Wirtschaftliche Grundlagen

im Sommersemester 2022

Investitionsrechnung

Prof. Tom Brown
Fachgebiet Digitaler Wandel in Energiesystemen / TU Berlin

Investition: Fragen

- Unter welchen Bedingungen lohnt es sich, Investitionen zu tätigen?
- Wie vergleichen wir Investitionskosten gegenüber regelmäßige Zahlungsflüsse (Cashflows)?
- Sollte Tesla eine neue Fabrik in Berlin errichten? Wird der Cashflow von den verkauften Autos die Investitionskosten ausgleichen?
- Wie vergleichen wir eine Investition in Maschine A mit einer Investition in Maschine B?
- Wie vergleichen wir eine Investition mit anderen Anlagenmöglichkeiten (Aktien, Anleihen, usw.)?
- Wie ändert sich das Bild, wenn wir eine Investition um 5 Jahre verschieben?
- Wie ändert sich der Wert von Geld mit der Zeit?

Investitionen: Grundlagen

- **Allgemein**: Verfügbare Ressourcen (z. B. Zahlungsmittel) für einen bestimmten und auf die Zukunft gerichteten Zweck einzusetzen

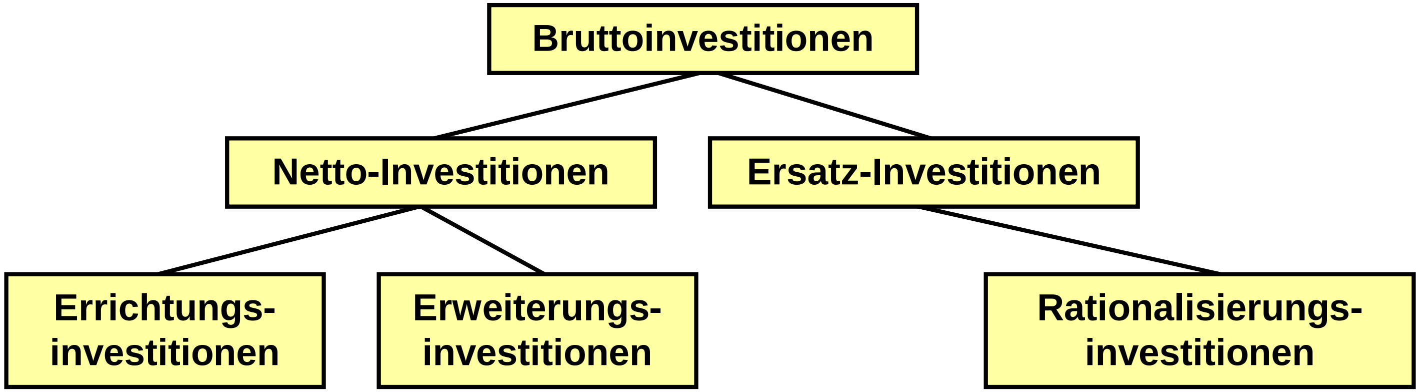
- **Vermögensorientierter Investitionsbegriff**: Investitionen bedeuten eine langfristige Festlegung finanzieller Mittel (Aktivierung von Ausgaben in der Bilanz)

- **Zahlungsstromorientierter Investitionsbegriff**: Zeitreihe von *Cash-Flows*, die mit negativen Werten (Auszahlungen) beginnt

- Merkmal von Investitionen: (teilweise) **Irreversibilität**

Arten von Investitionen

- Netto-Investitionen: Neugründungen (Errichtungsinvestition) und bei Erweiterung der Geschäftsmöglichkeiten (Erweiterungsinvestition)
- Ersatzinvestitionen: Ersetzung einer älteren Maschine ohne die Kapazität zu ändern. Dies sind meist Rationalisierungsinvestitionen (z.B. Erhöhung von Produktivität durch Ersatz von noch nutzbaren Maschinen), da neue Maschine besser funktioniert als Alte
- Summe aus Netto- und Ersatzinvestitionen ergibt Bruttoinvestitionen



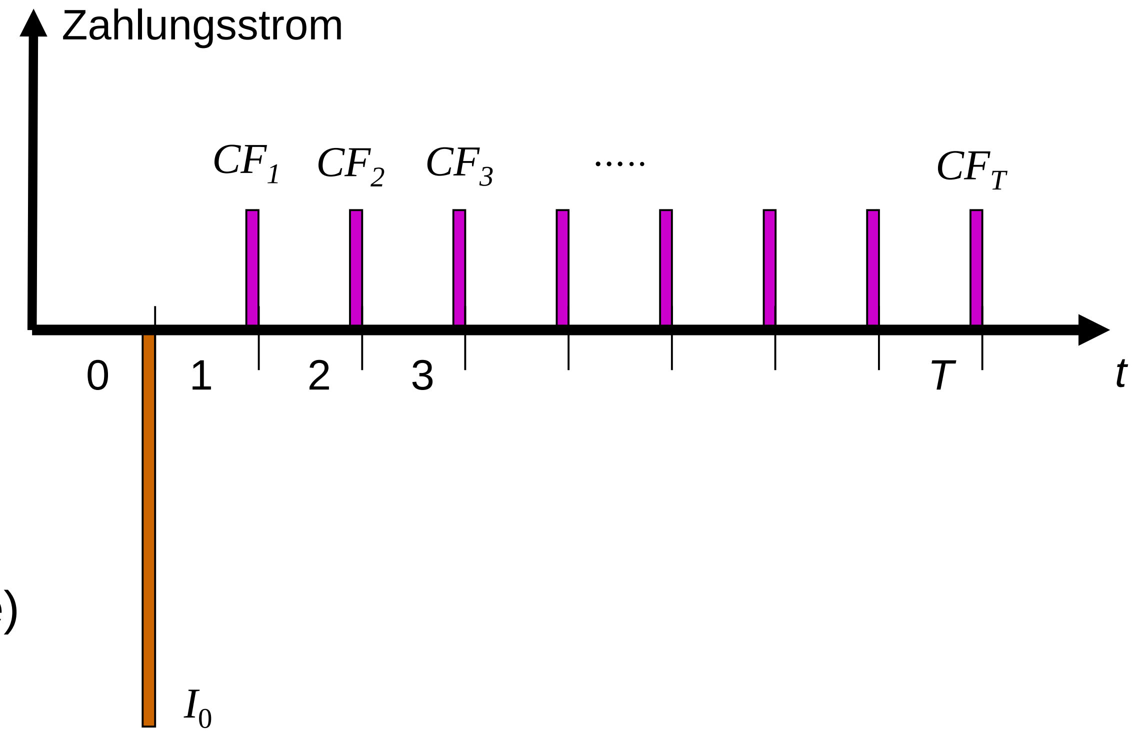
Investitionen: Zahlungsströme

Wir möchten eine Investition am Ende der 0. Periode I_0 mit den resultierenden Cashflows CF_t (z.B. Erlös minus Kosten) in den folgenden Jahren vergleichen.

t = Zeit (z.B. Jahre)
T = Lebensdauer
I_0 = Investition am Anfang
CF_t = Cashflow am Ende jeder Periode

$$CF_t = pQ_t - V_t - B_t - Z_t$$

p = Preis
Q_t = verkaufte Menge
V_t = Verbrauchskosten (variable)
B_t = Betriebskosten (oft fix)
Z_t = Zinszahlungen



Verfahren der Investitionsrechnung

Statische Verfahren

- …bildet Durchschnittswerte für jährliche Ausgaben und Einnahmen
- …ignoriert den Zeitwert des Geldes
- Vorteil: einfach, geringer Datenbeschaffungs- und Berechnungsaufwand
- Nachteil: berücksichtigt weder die jährlichen Geldströme noch dem Zeitwert des Geldes

Dynamische Verfahren

- …stellt die Geldströme über alle Jahre gegenüber
- …berücksichtigt den Zeitwert des Geldes
- Vorteil: sehr genau
- Nachteil: aufwändiger, Datenintensiv

Verfahren der Investitionsrechnung

Statische Verfahren

- **Kostenvergleichsrechnung**
  + Betriebskosten p.a.
  + durchschnittl. Kapitalkosten p.a.
  + kalkulatorische Abschreibungen p.a.
  Jahreskosten
- **Gewinnvergleichsrechnung**
  Umsatzerlöse ./. Jahreskosten
- **Rentabilitätsrechnung**
  EBIT = Gewinn vor Steuern + Fremdkapital-Zinsen
  ROI = *EBIT* / Ø-Kapital
- **Amortisationsrechnung**
  Break even = Investition / *Ø-CashFlow*

Dynamische Verfahren

(*time value of money*)

- **Kapitalwertmethode**
  PV = Summe der diskontierten *CF*
  NPV = *PV* - Investition > 0?
- **Annuitätenmethode**
  Transformation einer Zahlungsreihe in eine Annuität
- **Methode des internen Zinsfusses**
  IRR = Kalkulationszins bei [*NPV*=0]

Statische Verfahren: Kostenvergleichsrechnung

- Berücksichtigt die zeitliche Änderung des Geldwertes nicht
- Berechnung der durchschnittlichen Jahreskosten für verschiedene Optionen

Jährliche Abschreibung:

$$A_t = \frac{I_0 - R_T}{T}$$

Beispiel: Elektroauto gegenüber Benziner. Beide haben eine Lebensdauer *T* von 10 Jahren, einen Restwert R_T von Null, Zins 4%.

	Benziner	Elektroauto
Anschaffungskosten I_0	30.000	60.000
Jährliche Abschreibung A_t	3.000	6.000
Kapitalkosten (Zins) Z_t	1.200	2.400
Betriebskosten B_t	2.000	200
Verbrauchskosten V_t	4.000	1.000
Summe Jahreskosten	**10.200**	**9.600**

Schlussfolgerung: Elektroauto kaufen!

Statische Verfahren: Gewinnvergleichsrechnung

- Neben Berücksichtigung der Kosten werden auch erzielte Umsätze berücksichtigt:

Gewinn = Umsatzerlös - Kosten

Beispiel: Taxifahrer*in kauft Elektroauto oder Benziner. Beide haben eine Lebensdauer T von 10 Jahren, einen Restwert von Null.

	Benziner	Elektroauto
Jährliche Erlöse	12.000	14.000
Jährliche Abschreibung A_t	-3.000	-6.000
Kapitalkosten (Zins) Z_t	-1.200	-2.400
Betriebskosten B_t	-2.000	-200
Verbrauchskosten V_t	-4.000	-1.000
Jahresgewinn	**1.800**	**4.400**

Statische Verfahren: Rentabilitätsrechnung

- Gewinn nicht absolut, sondern im Verhältnis zum eingesetzten Kapital betrachten.

Rentabilität = ROI

= EBIT / durchschnittlich gebundenes Kapital

ROI = Return on Investment

EBIT = Earnings Before Interest and Taxes

Rentabilität kann mit anderen Anlagemöglichkeiten verglichen.

	Benziner	Elektroauto
EBIT ($pQ_t - A_t - V_t - B_t$)	3.000	6.800
Ø-Kapital ($\frac{I_0 + R_T}{2}$)	15.000	30.000
ROI (EBIT/Ø-Kapital)	20%	22,7%

Statische Verfahren: Amortisationsrechnung

- Bestimmung der Amortisationsdauer, in der das investierte Kapital für die Investition wieder zurückerwirtschaftet ist. Es wird der Zeitpunkt berechnet, bei dem die Anfangsinvestition durch die jährlichen Rückflüsse (Cash-Flow) gedeckt ist. ($CF_t = pQ_t - V_t - B_t - Z_t$)

$$T_A = min\{t_A;\ \sum_{t=1}^{t_A} CF_t = I_0\};\ \text{wenn } CF_t \text{ konstant, } T_A = \frac{I_0}{CF}.$$

	Benziner	Elektroauto
Jährliche Erlöse	12.000	14.000
Kapitalkosten (Zins) Z_t	-1.200	-2.400
Betriebskosten B_t	-2.000	-200
Verbrauchskosten V_t	-4.000	-1.000
Cash-Flow CF_t	**4.800**	**10.400**
Amortisationsdauer T_A	**6,25**	**5,77**

NB: Nur zahlungswirksame Beiträge zählen zum Cash-Flow; Abschreibungen zählen nicht, weil die nur einen Buchungsvorgang darstellen.

Dynamisches Verfahren: Zeitwert des Geldes

- Was wäre Ihnen lieber: €1000 heute, oder €1000 in 3 Jahren?

€1000 heute kann man mit einem Zinssatz von 5% bei der Bank anlegen.

Nach 3 Jahren hätte man

$$€1000 \cdot (1 + 0{,}05)^3 = €1158$$

Richtige Antwort: Lieber das Geld heute nehmen und die Opportunität nutzen, anzulegen!

„Künftiges Geld ist weniger wert als heutiges."

Dynamisches Verfahren: Zeitwert des Geldes

- Was wäre Ihnen lieber: €1000 heute, oder €1300 in 5 Jahren?

Mit €1000 heute hätte man nach 5 Jahren nur

$$€1000 \cdot (1 + 0{,}05)^5 = €1276$$

Richtige Antwort: Lieber auf's €1300 in 5 Jahren warten!

Dynamisches Verfahren: Barwert und Diskontierung

Um Vergleichbarkeit zwischen Ausgaben und Einnahmen in verschiedenen Jahren zu schaffen, einigen wir uns auf einen bestimmten Zeitpunkt, um die Geldströme auszuwerten.

Am einfachsten: der heutige Wert, der **„Present Value“** oder **Barwert**.

Unter Berücksichtigung des **Kalkulationszinssatzes** *i* multiplizieren wir die Ausgaben oder Einnahmen im Jahr *t* mit dem **Barwertfaktor** (auch **Diskontierungsfaktor** genannt)

$$\frac{1}{(1+i)^t}$$

um den Barwert zu berechnen. Wir haben damit den künftigen Geldfluss **diskontiert**.

Spätere Ausgaben und Einnahmen sind aus heutiger Sicht **weniger wert**.

„Künftiges Geld ist weniger wert als heutiges.“

Dynamisches Verfahren: Barwert und Diskontierung

Für unser Beispiel mit Kalkulationszinssatz 5% ($i = 0{,}05$) können wir jetzt die Optionen einordnen:

Einnahme (€)	Jahr	Barwert (€)
1000	3	$\frac{1000}{(1+0{,}05)^3} = 863$
1000	0	$\frac{1000}{(1+0{,}05)^0} = 1000$
1300	5	$\frac{1300}{(1+0{,}05)^5} = 1019$

Dynamisches Verfahren: Zinsrechnung und Zinseszins

- Berücksichtigung des **Zeitwerts des Geldes** durch Zinsrechnung
- Bestimmung des Wertes einer einmaligen Zahlung K_0 nach T Perioden der Verzinsung bei einem Zinssatz von i
- **Zinseszins**: Verzinsung von Zins aus vorherigem Jahr
- **Aufzinsung**: Bestimmung von K_T durch K_0, T und i
- **Abzinsung/Diskontierung**: Bestimmung von K_0 bei bekanntem K_T

$$K_0 = K_0$$

$$K_1 = K_0 + i \cdot K_0 = K_0 \cdot (1+i) = K_0 \cdot (1+i)^1$$

$$K_2 = K_1 + i \cdot K_1 = K_1 \cdot (1+i) = K_0 \cdot (1+i)^2$$

$$\dots$$

$$K_T = K_0 \cdot (1+i)^T$$

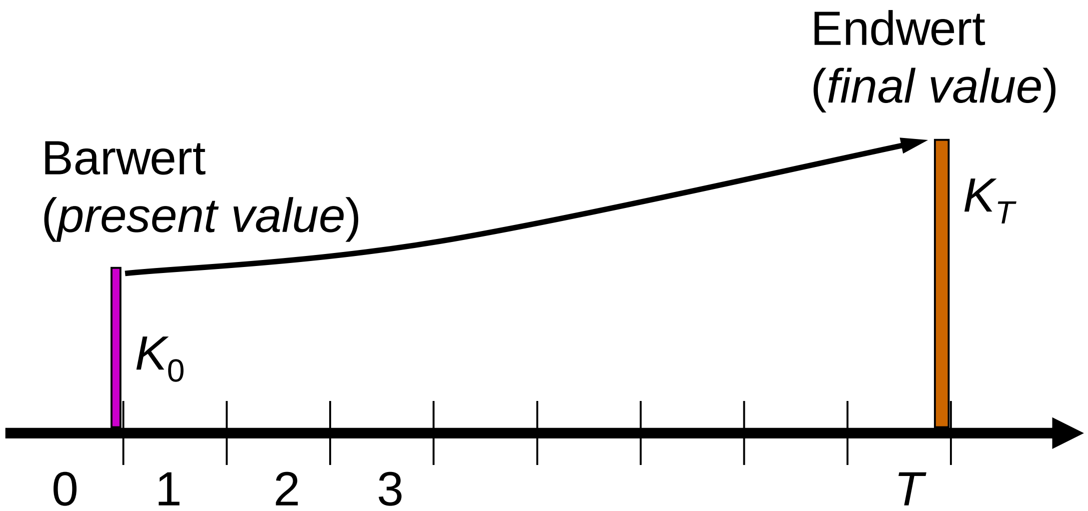
$$K_0 = \frac{K_T}{(1+i)^T}$$

Zins- und zinseszinsrechnung

K = Kapital
i = Zinssatz
T = Endzeitpunkt

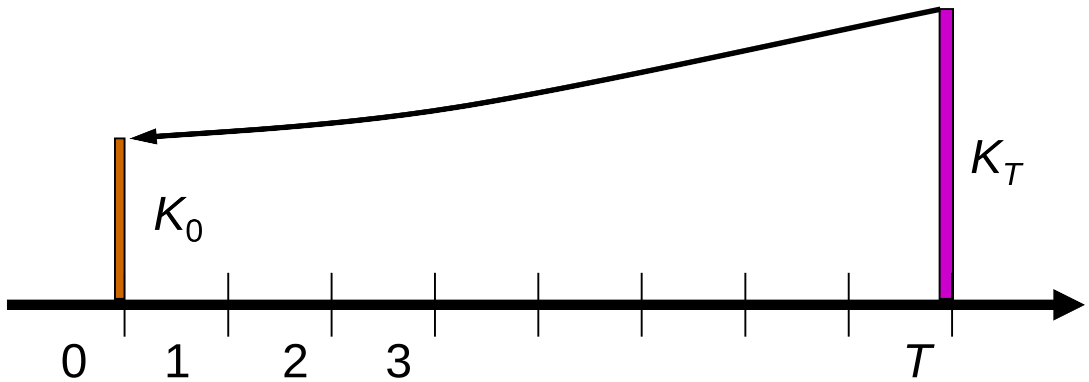
Aufzinsung:

$$K_T = K_0 \cdot (1+i)^T$$

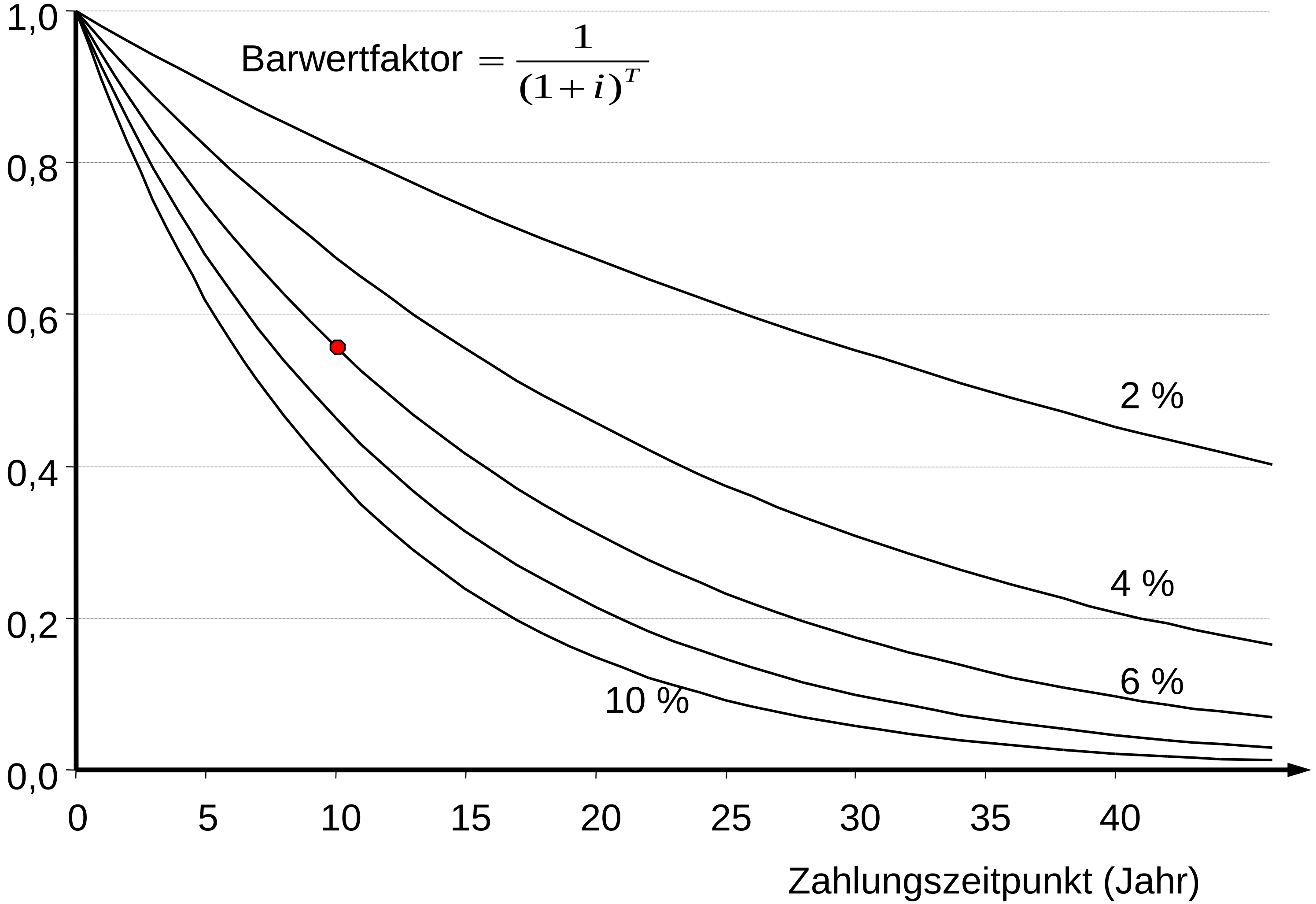


Abzinsung:

$$K_0 = K_T \cdot \frac{1}{(1+i)^T}$$

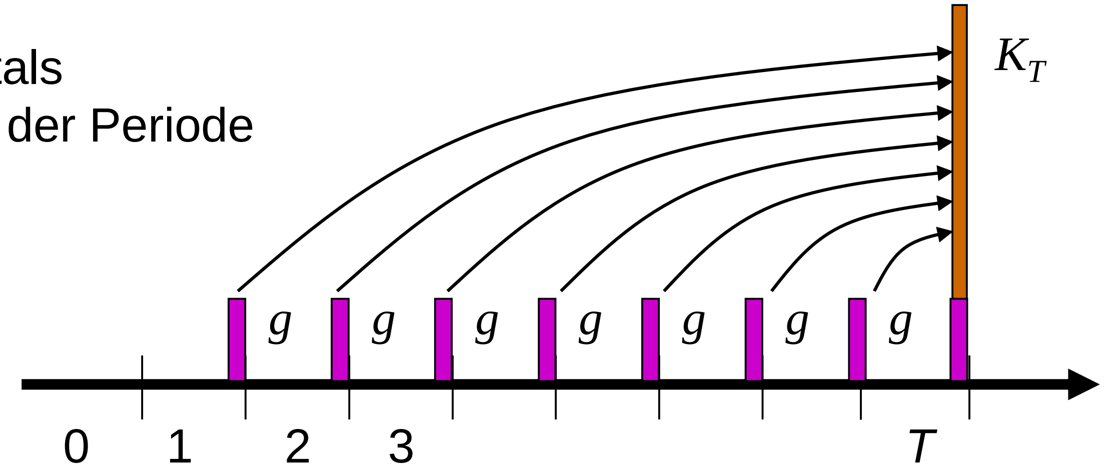


Barwert einer künftigen Zahlung



Aufzinsung von *T* periodengleicher Zahlungen

K_T = Endwert des Kapitals
g = Zahlung am Ende der Periode
i = Kalkulationszins
q = $(1+i)$ Zinsfaktor
T = Endzeitpunkt



Wert am Ende der 1. Periode $K_1 = g$

Wert am Ende der 2. Periode $K_2 = g + g \cdot (1+i) = g + g \cdot q$

Wert am Ende der 3. Periode $K_3 = g + g \cdot q + g \cdot q^2$

Wert am Ende von Periode *T* $K_T = g \cdot (1 + q + q^2 + q^3 + \cdots + q^{T-1})$

(Geometrische Reihe) $= g \cdot \left(\frac{1}{1-q} - \frac{q^T}{1-q}\right) = g \cdot \frac{q^T - 1}{q-1}$

$$= g \cdot \frac{(1+i)^T - 1}{i}$$

Abzinsung von *T* periodengleicher Zahlungen

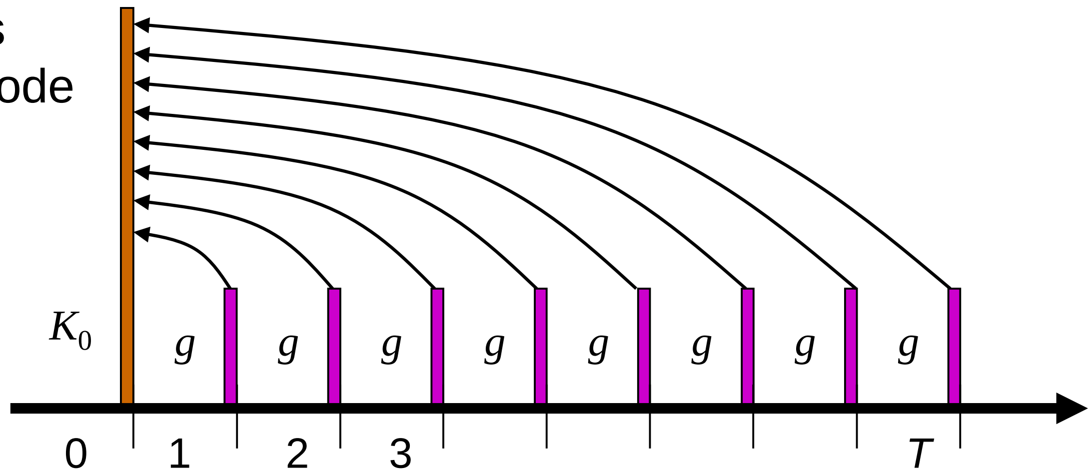
K_0 = Barwert des Kapitals am Ende der 0. Periode

g = Zahlung am Ende jeder Periode

i = Kalkulationszins

q = $(1+i)$ Zinsfaktor

T = Endzeitpunkt

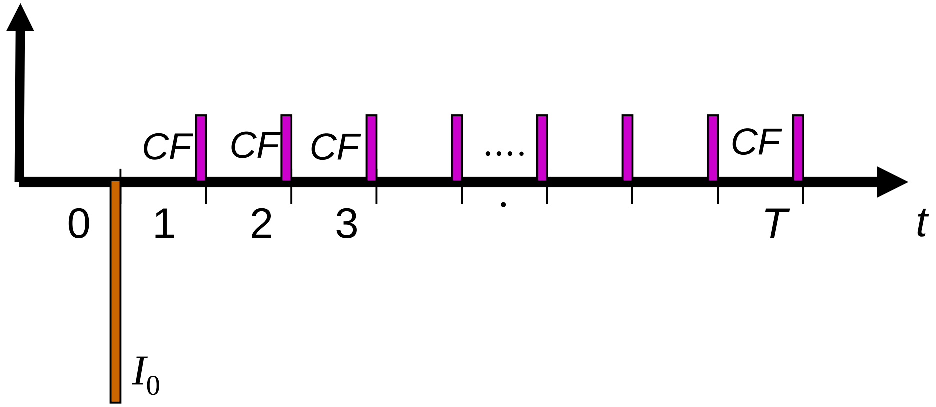


$$
\begin{aligned}
K_0 &= g \cdot (q^{-1} + q^{-2} + q^{-3} \ldots + q^{-T}) \\
&= g \cdot \left(\frac{q^{-1}}{1-q^{-1}} - \frac{q^{-T-1}}{1-q^{-1}} \right) \\
&= g \cdot \left(\frac{q^{-1} - q^{-T-1}}{1-q^{-1}} \right) = g \cdot \left(\frac{1 - q^{-T}}{q-1} \right) \\
&= \frac{g}{i} \cdot (1 - (1+i)^{-T}) = \frac{g}{i} \cdot \left(\frac{(1+i)^T - 1}{(1+i)^T} \right)
\end{aligned}
$$

Dynamisches Verfahren: Kapitalwertmethode als Grafik

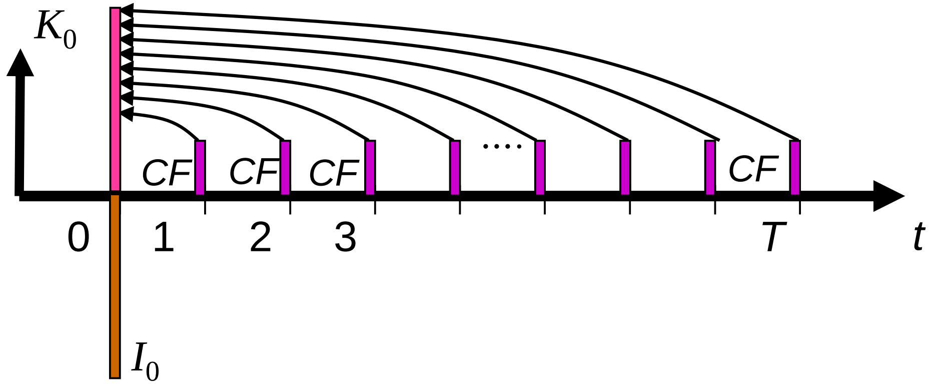
Ausgangssituation:

- Investition in Periode 0
- Positive Zahlungen in Perioden 1 bis *T*



Kapitalwertmethode:

- alle Zahlung auf Periode 0 diskontieren
- Summe ist **Kapitalwert**
- Wenn Kapitalwert > 0, lohnt sich die Investition



Dynamisches Verfahren: Kapitalwertmethode

Der **Kapitalwert** (auch **Nettobarwert** oder **„Net Present Value“**) eines Projekts bildet sich aus der Summe der diskontierten Cashflows aller betroffenen Periode ebenso die Anfangsinvestition:

$$NPV = \sum_{t=0}^{T} \frac{CF_t}{(1+i)^t} = -I_0 + \sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

NPV = Kapitalwert

CF_t = Erwarteter Cash-Flow in Periode t

i = Kalkulationszins

T = Kalkulatorische Projektlaufzeit

Ist der Kapitalwert positiv, so ist bei gegebenem Zinssatz *i* der Barwert der Einnahmen größer als der Barwert der Ausgaben.

Schlussfolgerung: Wenn $NPV > 0$, lohnt sich die Investition.

Wenn $NPV < 0$, lieber mit einer Rendite von *i* woanders investieren.

Für Vergleiche zwischen Investitionen, ein höherer NPV ist vorteilhafter.

Dynamisches Verfahren: Kapitalwertmethode

Investition ist absolut vorteilhaft, wenn Kapitalwert größer als null

- **Kapitalwert, NPV = 0**: Investor erhält sein eingesetztes Kapital zurück und eine Verzinsung der ausstehenden Beträge in Höhe des Kalkulationszinssatzes. Die Investition hat keinen Vorteil gegenüber der Anlage am Kapitalmarkt zum gleichen (risikoäquivalenten) Zinssatz = **interner Zinsfuß**

- **Kapitalwert, NPV > 0**: Investor erhält sein eingesetztes Kapital zurück und eine Verzinsung der ausstehenden Beträge, die den Kalkulationszinssatz übersteigen

- **Kapitalwert, NPV < 0**: Investition kann eine Verzinsung des eingesetzten Kapitals zum Kalkulationszinssatz nicht gewährleisten

- **Vergleich von Investitionsalternativen**: Größter Kapitalwert zeigt vorteilhafteste auf. Kapitalwerte verschiedener sich nicht gegenseitig ausschließender Investitionen mit unterschiedlichen Kalkulationszinssätzen können aufsummiert werden

Beispiel: Photovoltaikanlage

Ein Unternehmen überlegt sich, ob es in eine Photovoltaik-Anlage auf dem Dach investiert. Die Kennzahlen:

Größe	100 kW
Spezifische Investitionskosten	800 €/kW
Betriebskosten	20 €/kW/a
Einspeisetarif	0,1 €/kWh
Volllaststunden	1000 h/a
Dauer der Vergütung	20 Jahre

Das Unternehmen kann sein Geld mit ähnlichem Risiko mit einer Rendite von 5% woanders anlegen.

Lohnt es sich in die Photovoltaik-Anlage zu investieren?

Beispiel: Photovoltaikanlage

Alle Cash-Flows (Kosten und Erlöse) in €:

Jahr t	0	1	2	3	…	T = 20
Investitionskosten I_t	80.000	0	0	0		0
Betriebskosten B_t	0	2.000	2.000	2.000		2.000
Umsatzerlöse pQ_t	0	10.000	10.000	10.000		10.000
Cash-Flow CF_t	-80.000	8.000	8.000	8.000		8.000
Diskontierungsfaktor	$\frac{1}{(1+i)^0}$	$\frac{1}{(1+i)^1}$	$\frac{1}{(1+i)^2}$	$\frac{1}{(1+i)^3}$		$\frac{1}{(1+i)^{20}}$

$$NPV = -80.000 + \sum_{t=1}^{T} \frac{(10.000 - 2.000)}{(1+i)^t} = -80.000 + 8.000 \cdot \frac{(1+i)^T - 1}{i \cdot (1+i)^T}$$
$$= -80.000 + 8.000 \cdot 12{,}5 = 19.698$$

Schlussfolgerung: Es lohnt sich in die Photovoltaik-Anlage zu investieren!

Beispiel: Photovoltaikanlage

Vorsicht!

Die Rechnung ist gegenüber Änderung des Zinssatzes sehr sensibel, z.B. mit i = 0,08:

$$\mathrm{NPV} = -80.000 + 8.000 \cdot 9{,}8 \ = -1.454$$

Schlussfolgerung: Es lohnt sich nicht mehr in die Photovoltaik-Anlage zu investieren.

Rentenbarwertfaktor

- **Spezialfall:** Stets gleiche Zahlungen pro Periode und während der Nutzungsdauer $CF_t = CF$
- Kapitalwert kann mit Hilfe des **Rentenbarwertfaktors** $RBF_{i,T}$ ermittelt werden

$$NPV = \sum_{t=0}^{T} \frac{CF_t}{(1+i)^t} = -I_0 + \sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+i)^t} = -I_0 + CF \cdot \sum_{t=1}^{T} \frac{1}{(1+i)^t}$$

$$NPV = -I_0 + CF \cdot RBF_{i,T} \qquad RBF_{i,T} := \sum_{t=1}^{T} \frac{1}{(1+i)^t}$$

Für die Kapitalwertmethode, lohnt es sich zu investieren, wenn $NPV > 0$, oder anhand des Rentenbarwertfaktors, wenn

$$CF \cdot RBF_{i,T} > I_0$$

Rentenbarwertfaktor: Formel

Geometrische Reihe:

$$\sum_{t=0}^{\infty} x^t = \frac{1}{1-x} \quad \Rightarrow \quad \sum_{t=1}^{T} x^t = x\sum_{t=0}^{\infty} x^t - x^{T+1}\sum_{t=0}^{\infty} x^t$$

$$= \frac{x - x^{T+1}}{1-x}$$

$$x = \frac{1}{1+i} = (1+i)^{-1}$$

$$RBF_{i,T} := \sum_{t=1}^{T} \frac{1}{(1+i)^t} = \frac{(1+i)^{-1} - (1+i)^{-T-1}}{1-(1+i)^{-1}} = \frac{1-(1+i)^{-T}}{(1+i)-1}$$

$$= \frac{1}{i}\left(1-(1+i)^{-T}\right)$$

Prüfen: Im einfachsten Fall mit nur einer Periode, $T = 1$,

$$RBF_{i,T=1} = \frac{1}{i}\left(1-(1+i)^{-1}\right) = \frac{(1+i)-1}{i(1+i)} = \frac{1}{(1+i)}$$

$$RBF_{i,T} := \sum_{t=1}^{T} \frac{1}{(1+i)^t} = \frac{1}{i}\left(1 - (1+i)^{-T}\right)$$

Rentenbarwertfaktor: Tabelle

	Zins [Prozent]									
Jahre	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
1	0.971	0.966	0.962	0.957	0.952	0.943	0.935	0.926	0.917	0.909
2	1.913	1.900	1.886	1.873	1.859	1.833	1.808	1.783	1.759	1.736
3	2.829	2.802	2.775	2.749	2.723	2.673	2.624	2.577	2.531	2.487
4	3.717	3.673	3.630	3.588	3.546	3.465	3.387	3.312	3.240	3.170
5	4.580	4.515	4.452	4.390	4.329	4.212	4.100	3.993	3.890	3.791
6	5.417	5.329	5.242	5.158	5.076	4.917	4.767	4.623	4.486	4.355
7	6.230	6.115	6.002	5.893	5.786	5.582	5.389	5.206	5.033	4.868
8	7.020	6.874	6.733	6.596	6.463	6.210	5.971	5.747	5.535	5.335
9	7.786	7.608	7.435	7.269	7.108	6.802	6.515	6.247	5.995	5.759
10	8.530	8.317	8.111	7.913	7.722	7.360	7.024	6.710	6.418	6.145
11	9.253	9.002	8.760	8.529	8.306	7.887	7.499	7.139	6.805	6.495
12	9.954	9.663	9.385	9.119	8.863	8.384	7.943	7.536	7.161	6.814
13	10.635	10.303	9.986	9.683	9.394	8.853	8.358	7.904	7.487	7.103
14	11.296	10.921	10.563	10.223	9.899	9.295	8.745	8.244	7.786	7.367
15	11.938	11.517	11.118	10.740	10.380	9.712	9.108	8.559	8.061	7.606
20	14.877	14.212	13.590	13.008	12.462	11.470	10.594	9.818	9.129	8.514
25	17.413	16.482	15.622	14.828	14.094	12.783	11.654	10.675	9.823	9.077
30	19.600	18.392	17.292	16.289	15.372	13.765	12.409	11.258	10.274	9.427
35	21.487	20.001	18.665	17.461	16.374	14.498	12.948	11.655	10.567	9.644
40	23.115	21.355	19.793	18.402	17.159	15.046	13.332	11.925	10.757	9.779
45	24.519	22.495	20.720	19.156	17.774	15.456	13.606	12.108	10.881	9.863
50	25.730	23.456	21.482	19.762	18.256	15.762	13.801	12.233	10.962	9.915

Dynamisches Verfahren: Methode des internen Zinsfußes

Der interne Zinsfuß (IRR = „Internal Rate of Return“) ist derjenige Kalkulationszins *i*, bei dem $NPV = 0$ wird:

$$0 = NPV = \sum_{t=0}^{T} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = -I_0 + \sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t}$$

Wenn IRR > unser Kalkulationszins, lohnt sich die Investition.

Projektvergleich: das Projekt mit dem höheren IRR ist vorteilhafter.

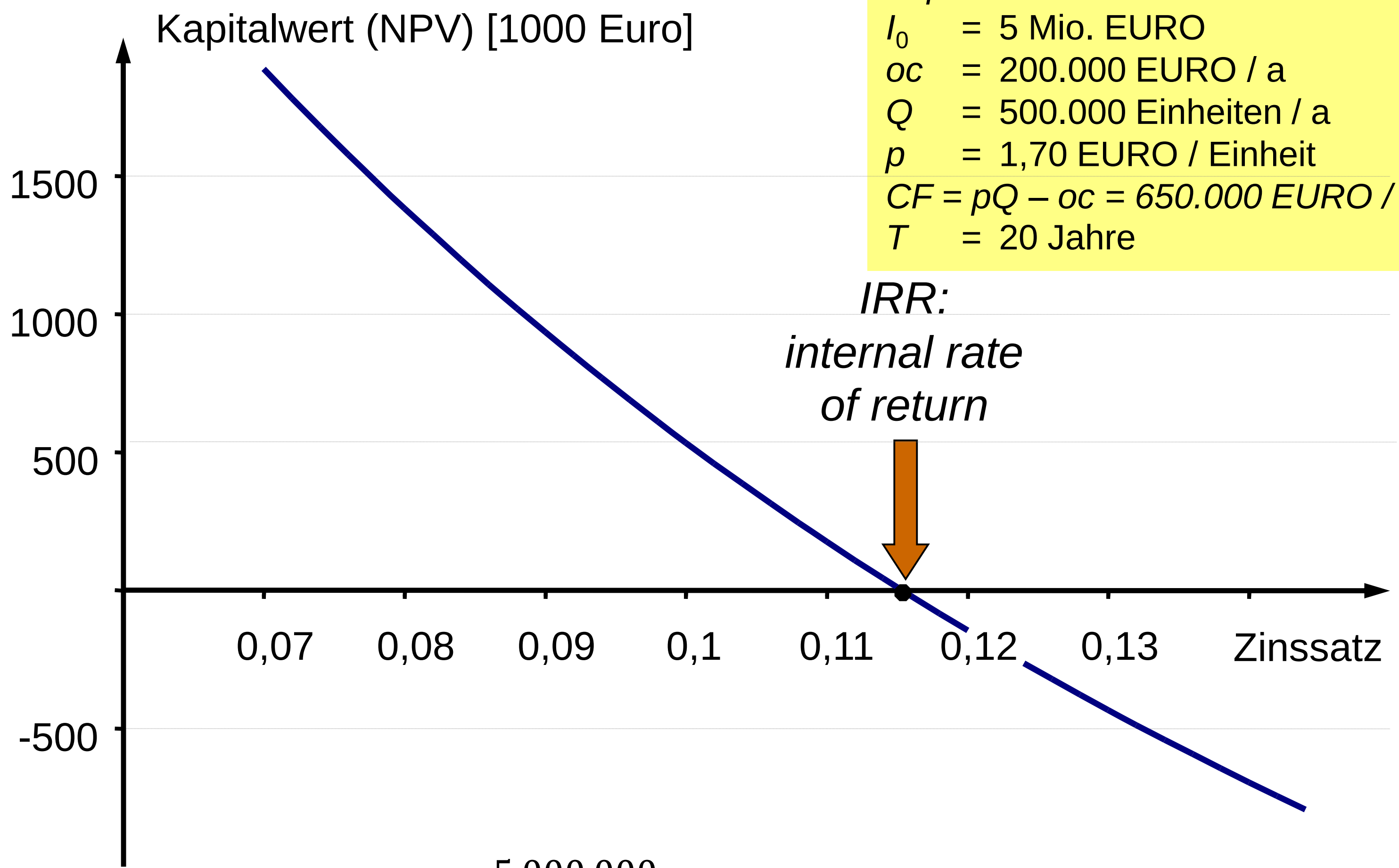
Beispiel Photovoltaik-Anlage: $I_0 = 80.000,\ CF = p \cdot Q - B = 8.000$.

$$0 = NPV = -I_0 + CF \cdot RBF_{IRR,T}$$

$$RBF_{IRR,T=20} = \frac{80.000}{8.000} = 10 \qquad \Longrightarrow \qquad IRR = 7{,}75\%$$

Dynamisches Verfahren: Methode des internen Zinsfusses

Bsp.:
I_0 = 5 Mio. EURO
oc = 200.000 EURO / a
Q = 500.000 Einheiten / a
p = 1,70 EURO / Einheit
CF = pQ – oc = 650.000 EURO / a
T = 20 Jahre



$$RBF_{IRR,T=20} = \frac{5.000.000}{650.000} = 7{,}7 \qquad \Longrightarrow \qquad IRR = 11{,}6\%$$

Dynamisches Verfahren: Annuitätsmethode

Vergleich von Investitionsprojekten anhand der **Annuität**

Annuität: Zahlung konstanter Höhe in gleichmäßigen zeitlichen Abstände

Kapitalwertmethode fragt: ist $NPV = -I_0 + CF \cdot RBF_{i,T} > 0$?

Annuitätsmethode fragt: ist $-\frac{I_0}{RBF_{i,T}} + CF = -I_0 \cdot ANF_{i,T} + CF > 0$?

Wir haben unsere Investition in periodengleichen Zahlungen auf der Nutzungsdauer anhand des Kalkulationszins *i* verteilt (wie ein Immobilienkredit), um sie mit den Zahlungen *CF* zu vergleichen.

Der **Annuitätsfaktor** $ANF_{i,T}$ entspricht dem Kehrwert des Rentenbarwertfaktors

$$ANF_{i,T} = \frac{1}{RBF_{i,T}} = \frac{i \cdot (1+i)^T}{(1+i)^T - 1}$$

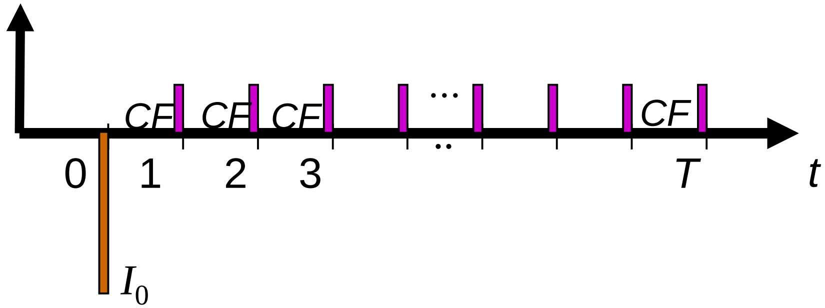
$$ANF_{i,T} = \frac{1}{RBF_{i,T}} = \frac{i \cdot (1+i)^T}{(1+i)^T - 1}$$

Annuitätsfaktoren

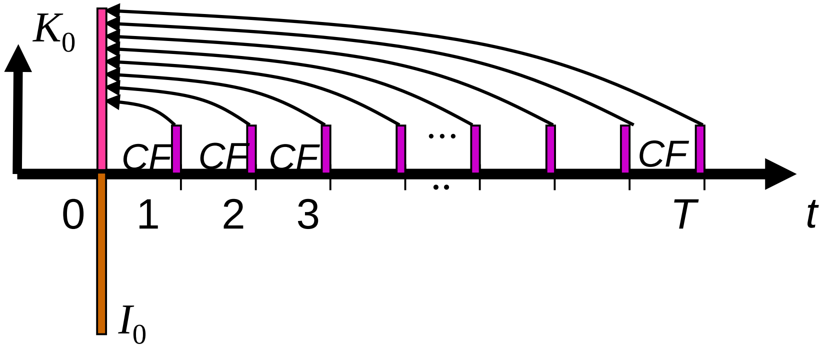
	Zins [Prozent]									
Jahre	**3.0**	**3.5**	**4.0**	**4.5**	**5.0**	**6.0**	**7.0**	**8.0**	**9.0**	**10.0**
1	1.030	1.035	1.040	1.045	1.050	1.060	1.070	1.080	1.090	1.100
2	0.523	0.526	0.530	0.534	0.538	0.545	0.553	0.561	0.568	0.576
3	0.354	0.357	0.360	0.364	0.367	0.374	0.381	0.388	0.395	0.402
4	0.269	0.272	0.275	0.279	0.282	0.289	0.295	0.302	0.309	0.315
5	0.218	0.221	0.225	0.228	0.231	0.237	0.244	0.250	0.257	0.264
6	0.185	0.188	0.191	0.194	0.197	0.203	0.210	0.216	0.223	0.230
7	0.161	0.164	0.167	0.170	0.173	0.179	0.186	0.192	0.199	0.205
8	0.142	0.145	0.149	0.152	0.155	0.161	0.167	0.174	0.181	0.187
9	0.128	0.131	0.134	0.138	0.141	0.147	0.153	0.160	0.167	0.174
10	0.117	0.120	0.123	0.126	0.130	0.136	0.142	0.149	0.156	0.163
11	0.108	0.111	0.114	0.117	0.120	0.127	0.133	0.140	0.147	0.154
12	0.100	0.103	0.107	0.110	0.113	0.119	0.126	0.133	0.140	0.147
13	0.094	0.097	0.100	0.103	0.106	0.113	0.120	0.127	0.134	0.141
14	0.089	0.092	0.095	0.098	0.101	0.108	0.114	0.121	0.128	0.136
15	0.084	0.087	0.090	0.093	0.096	0.103	0.110	0.117	0.124	0.131
20	0.067	0.070	0.074	0.077	0.080	0.087	0.094	0.102	0.110	0.117
25	0.057	0.061	0.064	0.067	0.071	0.078	0.086	0.094	0.102	0.110
30	0.051	0.054	0.058	0.061	0.065	0.073	0.081	0.089	0.097	0.106
35	0.047	0.050	0.054	0.057	0.061	0.069	0.077	0.086	0.095	0.104
40	0.043	0.047	0.051	0.054	0.058	0.066	0.075	0.084	0.093	0.102
45	0.041	0.044	0.048	0.052	0.056	0.065	0.073	0.083	0.092	0.101
50	0.039	0.043	0.047	0.051	0.055	0.063	0.072	0.082	0.091	0.101

Vergleich: Kapitalwertmethode / Annuitätsmethode

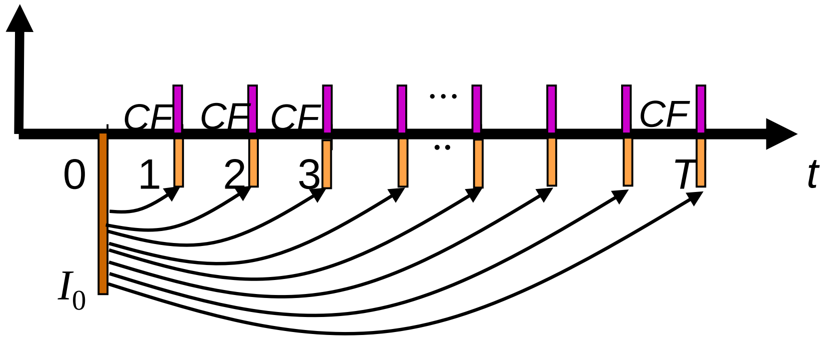
Investition in Periode 0, periodengleiche positive Zahlungen in Perioden 1 bis *T*



Kapitalwertmethode: alle Zahlung auf Periode 0 diskontieren und Nettobarwert bilden



Annuitätsmethode: Investition in eine periodengleiche Annuität umwandeln, dann mit anderen Zahlungen vergleichen



Annuitätsmethode: PV Beispiel

Beispiel Photovoltaik-Anlage: $I_0 = 80.000,\ CF = p \cdot Q - B = 8.000$

Annuitätsfaktor: $ANF_{i=0,05,T=20} = 0{,}08$

Annuität für Investition: $I_0 \cdot ANF_{i=0,05,T=20} = 6.400$

Vergleich: $-I_0 \cdot ANF_{i=0,05,T=20} + \ CF = -6.400 + 8.000 = 1.600 > 0$

Es lohnt sich, in die PV-Anlage zu investieren!

„Levelised Cost of Electricity“ (LCOE)

Mit der Annuität kann man die **„Levelised Cost of Electricity“ (LCOE)** bilden, d.h. die durchschnittlichen Kosten pro MWh gelieferten Stroms.

Die Kosten pro Jahr: $I_0 \cdot ANF_{i=0{,}05,T=20} + B = 6.400 + 2.000 = 8.400$ €/a

Gelieferte Energie pro Jahr: 100 kW * 1000 h/a = 100.000 kWh/a

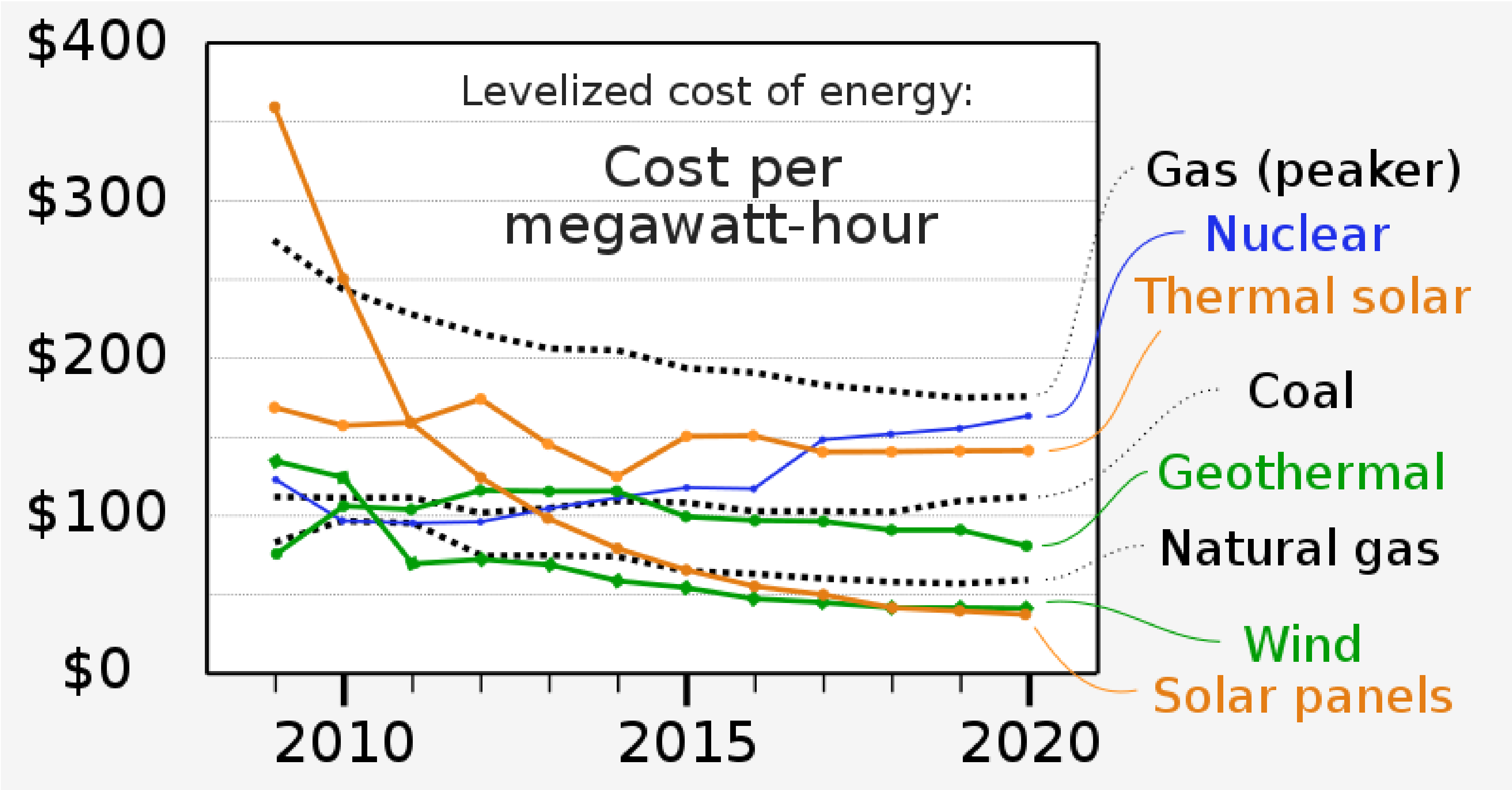
LCOE = Kosten pro Jahr / Energie pro Jahr = 0,084 €/kWh

Vergleich mit Einspeisetarif: 0,1 €/kWh – es lohnt sich zu investieren!

Mit LCOE kann man unterschiedliche Technologien (Kohle, Gas, Wind, PV) vergleichen.

Aber bitte aufpassen: LCOE berücksichtigt die Variabilität nicht!

„Levelised Cost of Electricity“ (LCOE)

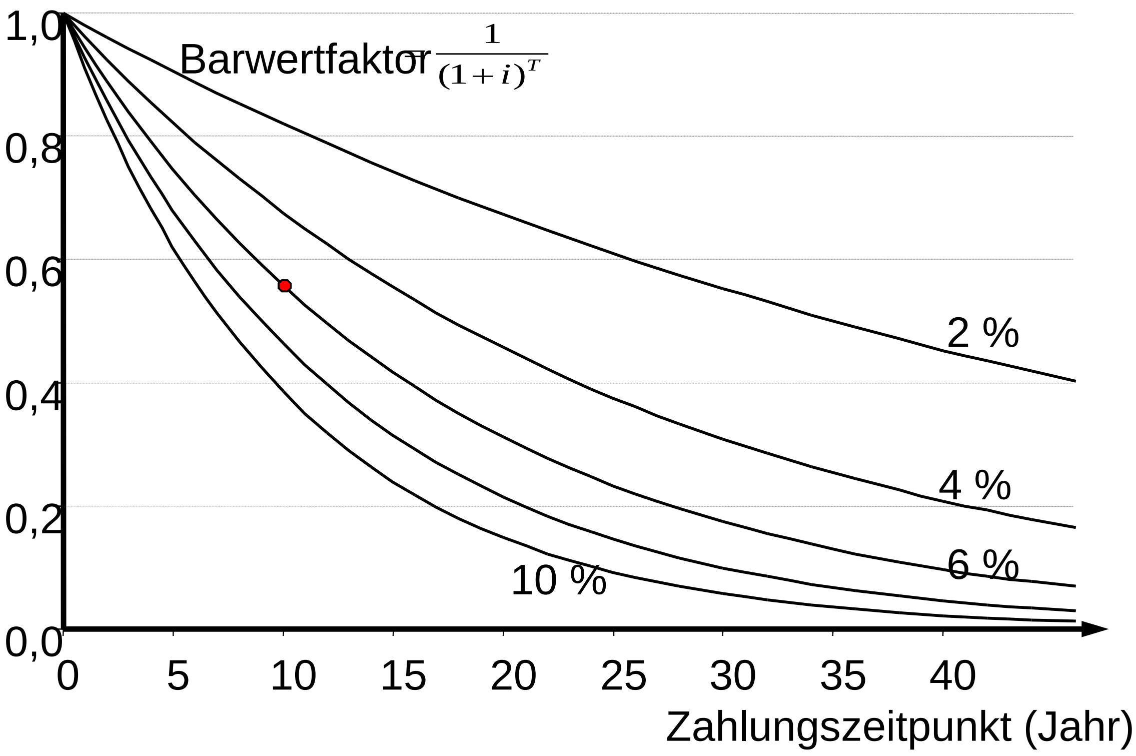


Fehlerquellen bei der Investitionsrechnung

- Vollständige *Cash-Flow*-Zahlungsreihe der zu betrachtenden Investition
- eventuell: Erfassung von Anschluss-Investitionen
- Es müssen alle Zahlungen ausgeklammert bleiben, die nicht von der Entscheidung tangiert werden
- Was ist der „richtige“ Kalkulationszins?
  (Opportunitätskosten; Berücksichtigung von Risiko)

Warnung: Diskontierung über lange Zeiten

Über lange Zeithorizonte kann die Diskontierung einen großen Effekt haben.



- Langfristige Vorteile werden nicht gesehen, z.B. Einnahmen von langlebigen Kraftwerken oder Effizienzmaßnahmen
- Langfristige Kosten werden auch verborgen, z.B. Rückbau, Entsorgung, Klimaschäden
- **Umstrittenes Thema!**

Klimaschäden: Was kostet der Gesellschaft eine ausgestoßene Tonne CO_2?

Hier kann der Diskontierungszinssatz eine große Rolle spielen!

1 Bewertung von Klimafolgeschäden

1.1 Kostensatz für Kohlendioxid- und andere Treibhausgasemissionen

Wir empfehlen die Verwendung eines Kostensatzes von 195 $€_{2020}$ / t $CO_{2\,äq}$ für das Jahr 2020 bei einer Höhergewichtung der Wohlfahrt heutiger gegenüber zukünftigen Generationen und eines Kostensatzes von 680 $€_{2020}$ / t $CO_{2\,äq}$ bei einer Gleichgewichtung der Wohlfahrt heutiger und zukünftiger Generationen.[1] Zusätzlich empfehlen wir eine Sensitivitätsanalyse mit dem jeweils anderen Wert.

Tabelle 1: UBA-Empfehlung zu den Klimakosten in $€_{2020}$ / t $CO_{2\,äq}$

	Klimakosten in $€_{2020}$ / t $CO_{2\,äq}$		
	2020	**2030**	**2050**
1% reine Zeitpräferenzrate	195	215	250
0% reine Zeitpräferenzrate	680	700	765

Quelle: Eigene Darstellung.

Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonvention-umweltkosten

Ketten-NPV

Beim Investitionsvergleich müssen die betrachteten Zeiträume gleich lang sein.

Z.B. Projekt A hat eine Lebensdauer von 5 Jahren und einen Kapitalwert von NPV_A, Projekt B von 10 Jahren und NPV_B. Nicht direkt vergleichbar!

Der Vergleich mit der Kapitalwertmethode geht davon aus, dass die Projekte dieselbe Lebensdauer haben.

Lösung: **Kettenkapitalwert**: annehmen, dass nach dem Ende der geplanten Nutzungsdauer, das Projekt durch Nachfolgeprojekte ersetzt wird.

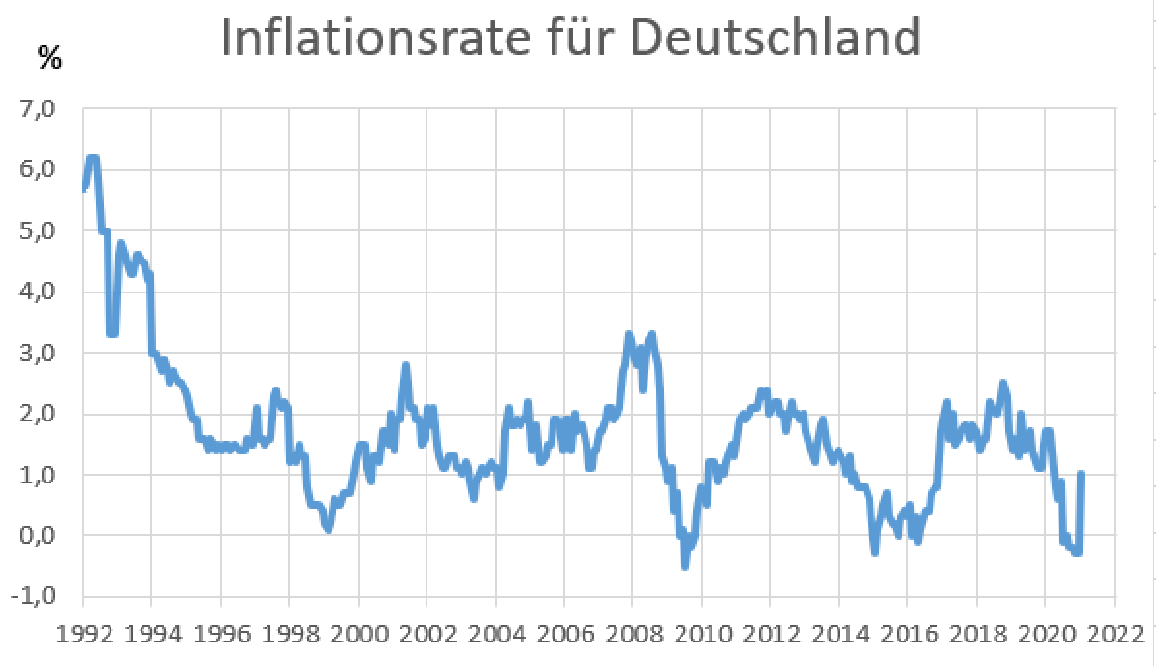
Z.B. eine einmalige identische Reinvestition zum Zeitpunkt *T:*

$$NPV_{0+1} = NPV_0 + NPV_1 = NPV_0 + \frac{NPV_0}{(1+i)^T}$$

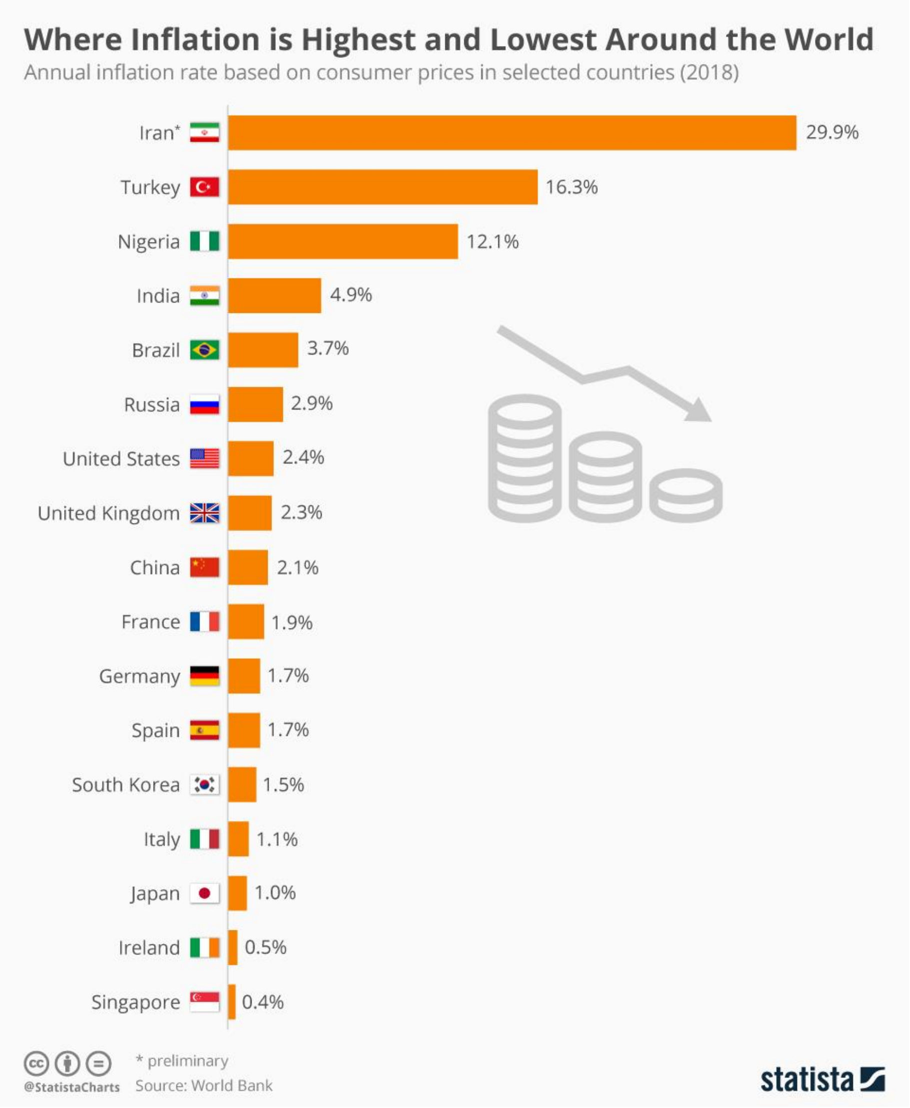
In unserem Beispiel: vergleichen Sie NPV_B (Lebensdauer 10 Jahre) mit $NPV_A + \frac{NPV_A}{(1+i)^5}$ (Lebensdauer 5 Jahre, Reinvestition nach 5 Jahren für die folgenden 5 Jahre).

Inflation und Kaufkraft

- **Inflation** oder **Teuerung** ist die Erhöhung von den Preisen von Gütern und Dienstleistungen, gemessen z.B. durch jährliche Preisänderungen von Gütern und Dienstleistungen bestimmter Warenkörbe.
- Inflation bedeutet eine **Minderung der Kaufkraft** des Geldes.
- Für Investitionen kann man um Inflation korrigieren (Inflationsbereinigung):
- **Realzins** ≈ Nominalzins – Inflationsrate
- Korrekte Beziehung: (1 + Nominalzins) = (1 + Realzins) · (1 + Inflationsrate)



Inflation weltweit



Inflation und Kaufkraft

Kaufkraft: Weniger Arbeit für den Konsum

So lange musste ein Beschäftigter im Schnitt für ... arbeiten

	Menge	1948 Preis in Euro	1948 Stunden/ Minuten	2007 Preis in Euro	2007 Stunden/ Minuten
Mischbrot	1 kg	0,20	0:22	2,36	0:10
Milch	1 l	0,18	0:21	0,77	0:03
Bier	1 l	0,59	1:05	1,32	0:06
Butter	250 g	0,65	1:13	1,10	0:05
Kartoffeln	2,5 kg	0,20	0:22	2,97	0:13
Kaffee	500 g	10,66	19:57	4,42	0:20
Herrenanzug	1 St.	62,09	116:12	233,74	17:15
Kleiderschrank	1 St.	110,90	207:34	498,85	36:49

Ursprungsdaten: Statistisches Bundesamt, Institut für Arbeits- und Berufsforschung

Institut der deutschen Wirtschaft Köln