

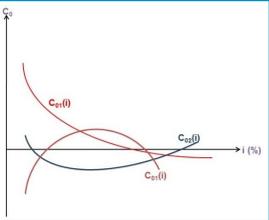
Master-Studiengang
Pflichtmodul BI-P06
„Baubetrieb und Management“

Übung

**Grundlagen der Investitionsrechnung
für Bauingenieure**

WS 2023/2024

1. Bauwirtschaftslehre
2. Investitionstheorie
3. Investitionsrechnung
4. Lebenszykluskostenrechnung



Adden, 2023

Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb
Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes



Lehrstuhl für Tunnelbau Leitungsbau und Baubetrieb
© Dipl. Ök. Hans Adden

Ü WS23/24

2

Gesamtstruktur der Veranstaltung



RUB

Bauwirtschaftslehre 

1. **Bauwirtschaftslehre**
2. Investitionstheorie
3. Investitionsrechnung
4. Lebenszykluskostenrechnung

- Bauwirtschaftslehre im wissenschaftlichen Kontext
- Gegenstand/Erkenntnisobjekt der Betriebswirtschaftslehre
- Entscheidungsorientierte Baubetriebswirtschaftslehre
- Grundbegriffe des Rechnungswesen
- Investitionsrechnung – Teil des Rechnungswesens

- BWL für Bauwirtschaft zählt zu den *speziellen Betriebswirtschaftslehren* (Industrie-, Handels-, Banken-BWL); aber nicht an Wiwi-Fakultäten etabliert
- Als Lehr- und Forschungsgebiete für *Bauwirtschaft, Baubetrieb, Bau-management und Bauverfahrenstechnik* an den technischen Universitäten angesiedelt; Lehrende meist Ingenieure mit ökonom. Zusatzausbildung
- Hintergrund:
 - Besonderheiten der Bauwirtschaft
 - Einzelfertigung von Unikaten
 - Von Baustelle zu Baustelle wandernde Werkstätten
 - Absatz durch Ausschreibung und Zuschlagserteilung vor der eigentlichen Produktion
 - Starke Verflechtung zwischen technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Einflussfaktoren
- Aber: Konzepte, Methoden, Instrumente der stationären Industrie finden zunehmend Eingang in die BauBWL (Lean-Konzepte, stationäre Fertigung)

- anwendungsorientierte BauBWL will *Handlungsempfehlungen* geben
- im Zentrum steht die Untersuchung unternehmerischen Handelns, d.h. der Entscheidungsprozess innerhalb des Bauunternehmens und seine Positionierung im (marktwirtschaftlichen) Wettbewerb
- Der Betrieb wird in all seinen Komponenten (Erfahrungsobjekt) durch die Brille der Wirtschaftlichkeit betrachtet.
- Das **Rationalprinzip** ist die übergeordnete Entscheidungsmaxime für menschliches Handeln. Ein Teilaspekt ist der Umgang mit knappen Gütern.
- Die rationale Disposition über knappe Güter bezeichnet man als **ökonomisches Prinzip** (Wirtschaftlichkeitsprinzip).

- Das ökonomische Prinzip fordert das Verhältnis von Produktionsergebnis (Output, Ertrag) und Produktionseinsatz (Input, Aufwand) zu optimieren; es bestehen drei Ausprägungen:
 - **Maximumprinzip:** Bei gegebenem Faktoreinsatz ist eine größtmögliche Gütermenge zu erwirtschaften.
 - **Minimumprinzip:** Eine gegebene Gütermenge ist mit einem geringstmöglichen Faktoreinsatz zu erwirtschaften.
 - **Optimumprinzip:** ein möglichst günstiges Verhältnis zwischen Gütermenge und Faktoreinsatz ist zu erwirtschaften; danach ist die Differenz zwischen Ertrag und Aufwand zu maximieren (=> Gewinnmaximierungsziel).
 - Die *langfristige Gewinnmaximierung* ist das oberste Formalziel der trad. BWL, an dem alle betrieblichen Entscheidungen auszurichten sind.
 - Die Ökonomie fordert, dass alle betrieblichen Entscheidungen nach dem ökonomischen Prinzip erfolgen. Erst dann wird das Bauunternehmen zu einer *planvoll organisierten Wirtschaftseinheit*.

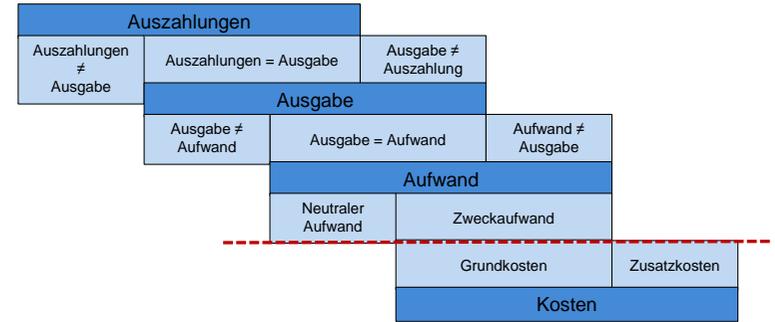
Erfolgsmaßstab

Erfolgsdefinition

▪ Produktivität	⇒	$\frac{\text{mengenmäßiger Output}}{\text{mengenmäßiger Input}}$	
▪ Wirtschaftlichkeit	⇒	$\frac{\text{wertmäßiger Output}}{\text{wertmäßiger Input}} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Aufwand}}$	
▪ Gewinn	⇒	Ertrag - Aufwand	
▪ Rentabilität	⇒	$\frac{\text{Erfolgsgröße}}{\text{Basisgröße}}$ z.B. $\frac{\text{Gewinn}}{\text{Eigenkapital}}$	

Erfolgsmaßstäbe unternehmerischen Handelns

Strömungsgrößen		Bestandsgröße	Ebene
Abfluss bzw. Verzehr von Mitteln / Gütern	Zufluss bzw. Entstehung von Mitteln / Gütern		
Auszahlung	Einzahlung	„Kasse“ bzw. liquide Mittel	Finanzbuchhaltung (pagatorische Rechnung)
Ausgabe	Einnahme	Geldvermögen	
Aufwand	Ertrag	Gesamtvermögen	
Kosten	Leistung	betriebsnotwendiges Kapital	Kostenrechnung (kalkulatorische Rechnung)



Zeile	Begriff	Beispiel
1	Auszahlungen, die keine Ausgaben sind	Zahlung einer Rechnung über in der Vorperiode gekaufte Rohstoffe
2	Auszahlungen, die gleichzeitig Ausgaben sind	Barkauf von Rohstoffen
3	Ausgaben, die keine Auszahlungen sind	Zielkauf von Rohstoffen
4	Ausgaben, die keine Aufwendungen sind	Kauf von Rohstoffen auf Lager (Verbrauch Nachfolgeperioden)
5	Ausgaben, die gleichzeitig Aufwendungen sind	Kauf von Rohstoffen zum sofortigen Verbrauch
6	Aufwendungen, die keine Ausgaben sind	Materialverbrauch aus Lagerbeständen
7	Neutraler Aufwand Aufwendungen, die keine Kosten sind	<ul style="list-style-type: none"> Betriebsfremder Aufwand (Spenden) Außerordentlicher Aufwand (Verlust aus dem Verkauf einer Maschine, Brandschaden) Periodenfremder Aufwand (Steuernachzahlung aus früheren Jahren)
8	Zweckaufwand oder Grundkosten Aufwendungen, die gleichzeitig Kosten sind	Rohstoffeinsatz, Energieaufwendungen, Versicherungsaufwendungen
9	Zusatzkosten Kosten, denen kein Aufwand gegenübersteht	Kalkulatorische Miete, kalkulatorischer Unternehmerlohn

Kriterium	Kostenrechnung	Investitionsrechnung
Bezugszeitraum	Ein-Perioden Betrachtung	Mehr-Perioden Betrachtung
Bezugsobjekt	Gesamtes Unternehmen / Teilbetrieb	Einzelnes Investitionsobjekt / Investitionsprogramme
Intervalle	Regelmäßig	Fallweise / Diskontinuierlich
Rechnungselemente	Kosten / Leistungen	i.d.R. Ein- und Auszahlungen
Rechnungszweck	<ul style="list-style-type: none"> Kalkulation von Kosten- und Leistungsträgern Kurzfristige Erfolgsrechnung Planung, Steuerung und Kontrolle von Kosten und Leistungen Entscheidungsunterstützung 	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmung der absoluten und relativen Vorteilhaftigkeit Bestimmung der optimalen Nutzungsdauer Bestimmung des optimalen Investitions- und Finanzierungsprogramms Entscheidungsunterstützung

1. Bauwirtschaftslehre
2. Investitionstheorie
3. Investitionsrechnung
4. Lebenszykluskostenrechnung

1. Bauwirtschaftslehre
2. **Investitionstheorie**
3. Investitionsrechnung
4. Lebenszykluskostenrechnung

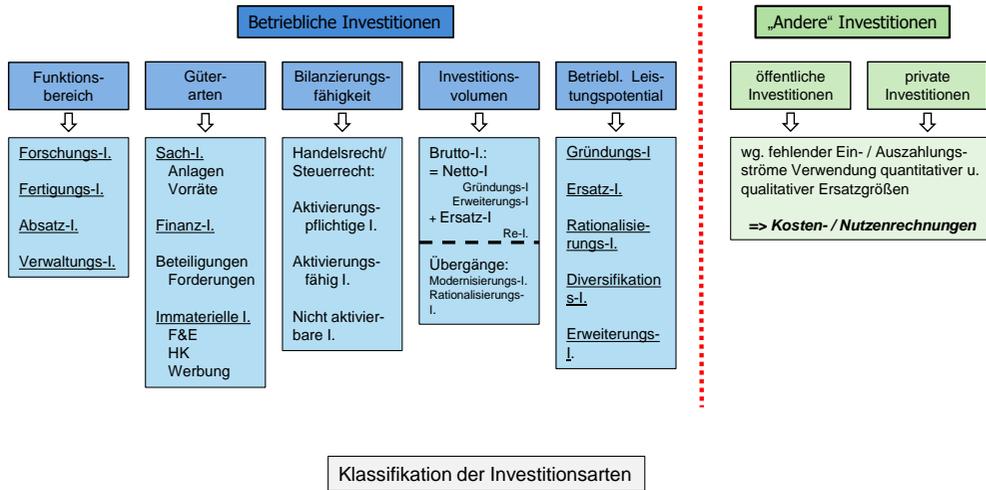
- **Grundlagen der Investitionstheorie**

- Investition
 - Investition und Finanzierung
 - Investitionsarten
 - Investitionskalkül
- Investitionsplanung
 - Investor
 - Zahlungsreihe einer Investition
 - Berücksichtigung der Ungewissheit
 - Investitionsentscheidungsprozess
 - Typen von Investitionsentscheidungen

- **Investition ⇔ Finanzierung**

- Unter einer **Investition** (einem Investitionsvorhaben) werden
 - die *autonomen Auszahlungen* für die Anschaffung eines Gutes / Güterverbundes (= Investitionsobjekt) verstanden,
 - durch dessen Nutzung *Einzahlungen* oder *Auszahlungsminderungen* für vorhandene Investitionsobjekte erzielt werden.
 - Die Investition wird i.d.R. durch die Gesamtheit der Zahlungen beschrieben.
- Investition ist die Verwendung und Wiedergewinnung finanzieller Mittel, **Finanzierung** die Beschaffung und Rückzahlung finanzieller Mittel.
- Investition und Finanzierung unterscheiden sich in ihren Zahlungsreihen lediglich durch die Abfolge der zeitlichen Schwerpunkte von Ein- und Auszahlungen und im Vorzeichen der ersten Zahlung.
- Ziel: Auswahl der günstigsten Alternative oder Bestimmung eines simultanen Investitions- und Finanzierungsvorhabens

• **Investitionsarten**



• **Investitionskalkül**

- Ist ein Verfahren zur Beurteilung, Entscheidungsvorbereitung (wirtschaftlicher Vorteilsvergleich) und Auswahl (Vergleichsrechnung) von einzelnen (autonomen) Investitionsobjekten bzw. Investitionsprogrammen
- enthält als *Eingangsdaten*
 - alle mit dem Objekt verbundenen *Ein- und Auszahlungen*,
 - die *Zahlungszeitpunkte* und
 - den *Ungewissheitsgrad* für die Zahlungen.

• **Investor**

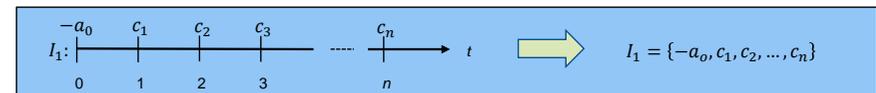
- natürliche oder private juristische Person (Personengruppe)
- öffentliche Körperschaft
- => Unternehmer, Unternehmung, Entscheidungsträger

• **Determinanten einer Investitions-(Vergleichs)rechnung**

- das *Zielsystem* des Investors
- das *Entscheidungsfeld* (Alternativen, Nebenbedingungen) des Investors
- die *Risikoneigung* des Investors
- die *Rechtsform* des Investors (Auswirkung auf Besteuerung und Haftung)

• **Zahlungsreihe einer Investition**

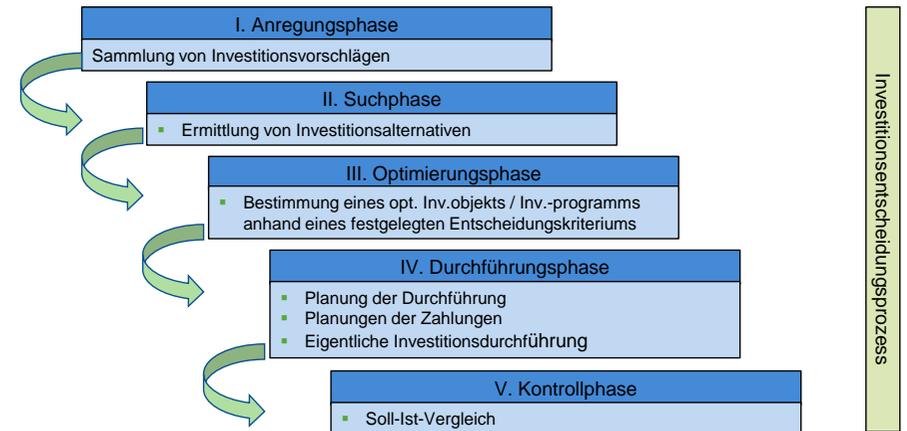
- Darstellung als diskrete (möglich auch kontinuierliche) Zahlungsreihe
- Zahlungsreihe wird auf einer Zeitskala mit gleichlangen Abschnitten (Perioden, meist 1Jahr) abgebildet. Zahlungen, die innerhalb einer Periode anfallen, werden dem Periodenende zugerechnet.
- Die Zeitskala beginnt mit der ersten Anschaffungsauszahlung im Zeitpunkt 0.



• **Berücksichtigung der Unsicherheit**

- Da die Investitionsrechnung eine Planungsrechnung ist, kann das forecasting auch zu *mehrwertigen Größen* der künftigen Einzahlungen und Auszahlungen führen.
 - Beispiel: Zinsen, Laufzeit und Rückzahlungsbetrag bei einer öffentlichen Anleihe sind leichter zu schätzen als künftige Betriebs- und Instandhaltungsausgaben oder die künftige Nutzungsdauer eines Bauelements oder einer technischen Einrichtungseinheit.
- Ansätze zur Berücksichtigung der Ungewissheit
 - Sicherheitsäquivalente: Die ungewisse Zahlungsgröße wird durch den Betrag ersetzt, den der Entscheider für subjektiv als gleichwertig ansieht.
 - Wahrscheinlichkeitsverteilung: Die einzelnen Zahlungen werden durch Verteilungen repräsentiert, die Eintrittswahrscheinlichkeiten werden subjektiv geschätzt. Im weiteren Kalkulationsverlauf wird die Wahrscheinlichkeitsverteilung durch den *Erwartungswert* repräsentiert, ggf. ergänzt um ein *Streuungsmaß*.

• **Investitionsplanung**



Investitionsentscheidungsprozess

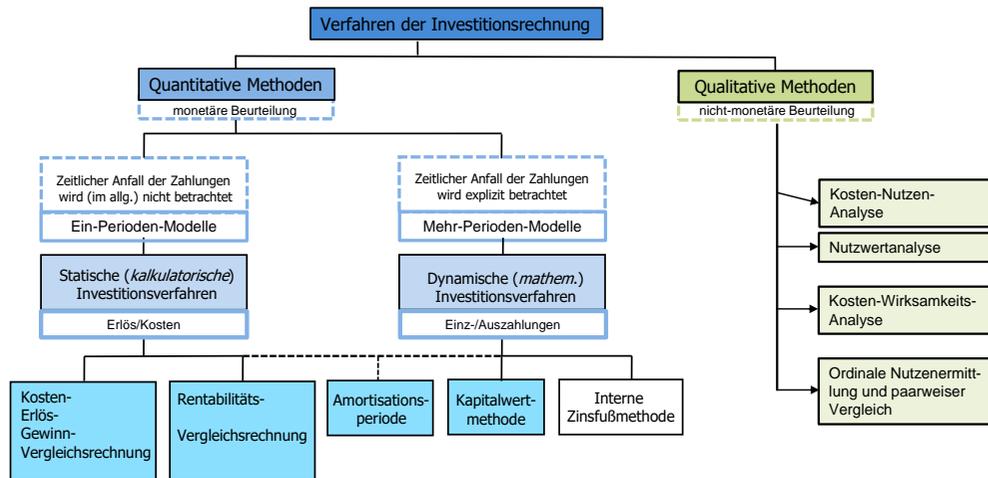
• **Entscheidungsarten**

- **Durchführung oder Unterlassung einer Investition** ohne Berücksichtigung von Alternativinvestitionen
 - Notwendig: Festlegung eines Akzeptanzkriteriums
- **Auswahl eines optimalen Investitionsobjektes** aus einer definierten Menge isolierter, sich gegenseitig ausschließender Alternativen
 - Prüfung der Investitionsvorschläge hinsichtlich des Akzeptanzkriteriums
 - Erstellung einer Präferenzfolge
 - Auswahlentscheidung
- **Ermittlung der optimalen Nutzungsdauer** bzw. des optimalen Ersatzzeitpunktes
 - Abweichen der wirtschaftlichen Nutzungsdauer von der technischen Nutzungsdauer
- **Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms** (Umfang und Zusammensetzung), welches aus mehreren, sich nicht gegenseitig ausschließenden Investitionsobjekten besteht.
 - Bestimmung eines optimalen Portefeuilles

1. Einführung
2. Investitionstheorie
3. **Investitionsrechnung**
4. Lebenszykluskostenrechnung

- Investitionskalkül
- Verfahren der Investitionsrechnung
 - Statische Verfahren
 - Dynamische Verfahren (Kapitalwertmethode)

- Ein Investitionskalkül (= Investitionsrechnung) umfasst alle Rechenverfahren, die im Rahmen der Entscheidungsprozesse zur Ermittlung der Vorteilhaftigkeit von Investitionsalternativen herangezogen werden.
 - Kontrollrechnungen als Soll-Ist-Vergleich zählen i.d.R. nicht dazu.
 - Anforderungen an eine Investitions-(Vergleichs)rechnung:
 - gleiches Zielsystem (= Zieldefinition und Entscheidungsregel)
Bsp: Ziel A: Höhe der Nettoerträge ≠ Ziel B: Frist der zeitlichen Rückgewinnung der Investitionsauszahlung
 - gleiche Umweltlagen
Bspw.: gleiche demografische Entwicklung bei alternativen Bauprojekten
 - gleicher Planungszeitraum
Bsp: falls ungleiche Zeiträume, Annahmen bzgl. Ergänzungs- / Differenzinvestitionen
 - gleicher Kapitaleinsatz
Bsp: falls ungleiche Kapitaleinsätze, Annahmen bzgl. Ergänzungs- / Differenzinvestitionen



- Kalkulatorische, einperiodische Verfahren
- auf Erlösen und Kosten basierend
- „Praktikerverfahren“, geringer mathematischer Aufwand
- Anwender: vorwiegend kleine und mittlere Unternehmen
- Notwendige Daten (Wertgrößen, Kosten, Leistungen) werden für durchgeführte Investitionsobjekte zur Verfügung gestellt.
 - => Basis für geplante Investitionsobjekte
 - => Basis für Investitionskontrolle

• Kostenvergleichsrechnung

- Anwendungsbereich
 - alternative Investitionsobjekte für die gleiche Aufgabe, Wahl beeinflusst nicht die Erlösstruktur
 - Geringsten Gesamtkosten je Periode => Entscheidungskriterium (wirtschaftlichste Alternative)
 - Bei Alternativen mit unterschiedlicher Kapazität: Stückkostenvergleich
- Beurteilung
 - Entscheidungsbasis ist ein einperiodisches Erfolgsziel, zukünftige Entwicklung wird nur mit Durchschnittswert berücksichtigt
 - Vernachlässigung der zeitlichen Verteilung der Kosten
 $\{101, 202, 303\} \equiv \{301, 202, 101\}$
 - Kalkulatorische Zinsen können die Mängel beheben, doch sind diese exakt nur aus der Höhe und Zeitpunkten der Zahlungen ableitzuleiten. Dann ist es einfacher, direkt auf den Zahlungsreihen aufzubauen.

• Erlösvergleichsrechnung

- Anwendungsbereich
 - alternative Investitionsobjekte für die gleiche Aufgabe, Wahl beeinflusst nicht die Kostenstruktur
 - Höchsten Erlöse je Periode => Entscheidungskriterium (wirtschaftlichste Alternative)
 - Bei Alternativen mit unterschiedlicher Kapazität: Stückerlösvergleich
- Beurteilung
 - Entscheidungsbasis ist ein einperiodisches Erfolgsziel, zukünftige Entwicklung wird nur mit Durchschnittswert berücksichtigt
 - Vernachlässigung der zeitlichen Verteilung der Erlöse
 $\{101, 202, 303\} \equiv \{301, 202, 101\}$
 - Kalkulatorische Zinsen können die Mängel beheben, doch sind diese exakt nur aus der Höhe und Zeitpunkten der Zahlungen ableitzuleiten. Dann ist es einfacher, direkt auf den Zahlungsreihen aufzubauen.

• Gewinnvergleichsrechnung

- Anwendungsbereich
 - Investitionsobjekte unterscheiden sich in der Kosten- und Erlösstruktur
Bsp.: Investitionsobjekte (Bagger) für den gleichen Leistungsprozess, aber mit unterschiedlichen Kapazitäten
 - Entscheidungskriterium: Alternative mit dem höchsten (durchschnittlichen) Periodengewinn
- Beurteilung:
 - Entscheidungsbasis ist ein einperiodisches Erfolgsziel, zukünftige Entwicklung wird nur mit Durchschnittswert berücksichtigt
 - Vernachlässigung der zeitlichen Verteilung der Gewinne
 $\{101, 202, 303\} \equiv \{301, 202, 101\}$
 - Kalkulatorische Zinsen können die Mängel beheben, doch sind diese exakt nur aus der Höhe und Zeitpunkten der Zahlungen ableitzuleiten. Dann ist es einfacher, direkt auf den Zahlungsreihen aufzubauen.

• Rentabilitätsvergleichsrechnung

ROI = Return on Investment

- Anwendungsbereich
 - Erweiterung der Gewinnvergleichsrechnung zum Renditevergleich
 - Entscheidungskriterium (wirtschaftlichste Alternative): -> höchste Kapitalrentabilität
- Beurteilung:
 - Sollte kein eigenständiges Entscheidungskriterium sein.
 - Keine Berücksichtigung einer unterschiedlichen Gewinnverteilung über die Nutzungsdauer
 - Ansatz des durchschnittlich gebundenen Kapitals lässt Kapitalknappheit im Anfangszeitpunkt außer Betracht.
 - Problem: Ermittlung des durchschnittlich gebundenen Kapitals
 - Rendite = relative Kennzahl, Rentabilitätsmaximierung entspricht dann nicht der Gewinnmaximierung, wenn unterschiedliche Kapitalbeträge betrachtet werden.

• **Rentabilitätsvergleichsrechnung**

– Berechnung

Kapitalrentabilität	$\bar{r} = \frac{\bar{G}}{\bar{B}W}$
Durchschnittlicher Periodengewinn	$\bar{G} = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n G_t$
Durchschnittlicher Buchwert	$\bar{B}W = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^{n-1} \frac{B W_t + B W_{t+1}}{2}$
Durchschnittlicher Buchwert bei uniformer Abschreibung	$\bar{B}W = \frac{B W_0 + B W_n}{2}$
Akzeptanzkriterium	$\bar{r}_j \geq \bar{r}_{min}$
Entscheidungsregel	$\max_j \{ \bar{r}_j \}$

• **Amortisationsvergleichsrechnung**

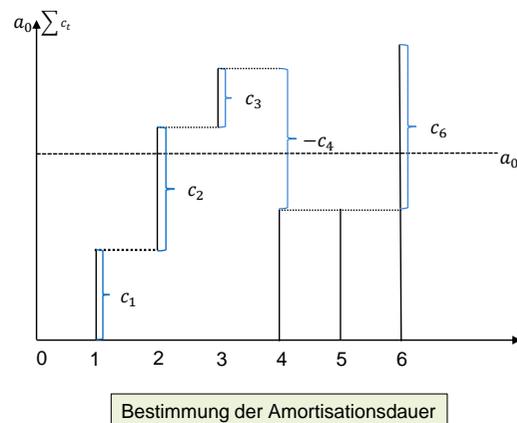
– Anwendungsbereich

- übliches Zusatzkriterium in der Praxis
- Amortisationsdauer = Payback-Periode, Kapitalrückflusszeit, Wiedergewinnungszeit: Zeitspanne, die bis zur Amortisation der gesamten Anschaffungsauszahlung durch Einzahlungsüberschüsse vergeht.

– Beurteilung

- Sollte kein eigenständiges Entscheidungskriterium sein
- Amortisationsperiode misst die Vorteilhaftigkeit einer Investition ohne Rücksicht auf die Rentabilität; Kriterien Gewissheit und Liquidität nehmen den höchsten Rang unter den Zielsetzungen ein.
- Nach der Amortisationsdauer (*Payoff-Kriterium*) anfallende Einzahlungsüberschüsse finden für den Vorteilsvergleich keine Berücksichtigung. Langfristige Investitionen erscheinen gemäß der Regel der minimalen Amortisationsdauer schlechter als kurzfristige Investitionen.
- Notwendig: Einteilung in Investitionsklassen

• **Amortisationsrechnung**



Akzeptanzkriterium	$\hat{n}_j \leq \hat{n}_{max}$
Entscheidungsregel	$\min \{ \hat{n}_j \}$
Amortisationszeitpunkt	$t_A = (\hat{n} - 1) + \frac{a_0 - \sum_{t=1}^{\hat{n}-1} c_t}{c_{\hat{n}}}$
Amortisationszeitpunkt bei uniformen. Einzahlungsüberschüssen	$t_A = \frac{a_0}{c}$

- (Einfache) Kapitalwertmethode
- Interne Zinsfuß-Methode

• Kapitalwert einer Investition

- Verwendete Bezeichnungen NPV (*Net Present Value*)
- Verfahren der Finanzmathematik
 - Aufzinsung / Abzinsung eines Kapitalbetrages, Barwert/Endwert einer Zahlungsreihe
- Definition
 - Die Summe aller auf einen Zeitpunkt $t=n$ ab- bzw. aufgezinsten Ein- und Auszahlungen, die mit der Investition verbunden sind.
 - Der Kapitalwert repräsentiert die gesamte Zahlungsreihe durch einen Betrag (Äquivalent).
 - Barwert aller Zahlungsdifferenzen
 - Verschiedene Investitionsobjekte lassen sich daher über ihre Kapitalwerte miteinander vergleichen (Vorteilsvergleich).

• Prämissen

- Zahlungsgrößen sind sichere Größen
- Finanzierungsseite des Investitionsobjekts wird nur *implizit* durch den Kalkulationszinsfuß berücksichtigt
- Annahme des vollkommenen Kapitalmarktes: *ein* Zinssatz für Kapitalaufnahme und –ausleihe
- Dem Investor stehen unbeschränkte Finanzierungsmittel zur Verfügung.
- Konstanz des Zinses über die Zeit

• Kritikpunkte:

- alleinige Orientierung an der einfachen Zielsetzung
Kapitalwertmaximierung
- Keine explizite Berücksichtigung von **Nebenbedingungen**
 - Liquiditätssicherung
 - Beschränkung des Beschaffungs-, Absatz-, Finanzbereichs
- **Sichere Voraussicht** der künftigen Zahlungen
 - aber: Modifikation durch Korrekturfaktoren, Wahrscheinlichkeitsverteilungen
- **Partialmodell**: jedes Investitionsvorhaben wird isoliert betrachtet
 - Keine Betrachtung eines Produktions- oder Absatzverbundes
 - keine Betrachtung eines Risikoausgleichs
 - keine interdependenten Investitionsvorhaben

• Definition des Kapitalwerts (C_0) einer Zahlungsreihe im Zeitpunkt 0:

$$C_0 = -a_0 + \sum_{t=1}^n c_t \cdot q^{-t}$$

a_0 : = Anschaffungsauszahlung im Zeitpunkt 0

(hier zgl. Bezugszeitpunkt, Referenzzeitpunkt)

C_t : = Überschuss der Einzahlungen (b_t) über die Auszahlungen (a_t) in der Periode t (jeweils kumuliert am Ende der Periode t)

q : = $(1+i)$ mit i = Kalkulationszinsfuß

n : = Nutzungsdauer des Investitionsobjekts mit $t = 1, 2, \dots, n$

Finanzmathematisches Verfahren als Hintergrund

Berechnen Sie den Barwert der Aus-/Einzahlungsreihen für t_0

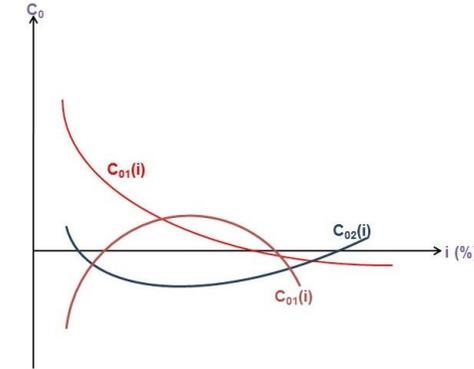
$$A_0 = \sum_{t=0}^n a_t \cdot q^{-t}$$

$$B_0 = \sum_{t=0}^n b_t \cdot q^{-t}$$

$$C_0 = B_0 - A_0$$

Kapitalwertfunktion

- Ist die mit einem Investitionsobjekt verbundene Zahlungsreihe gegeben, so ist der Kapitalwert lediglich eine vom Kalkulationsfuß abhängige Variable.
- Die Kapitalwertfunktion verläuft je nach Struktur der Zahlungsreihe verschieden.



Interner Zinsfuß

- Bei einem Kalkulationszinsfuß von 0% ist der Kapitalwert gleich der Summe der (ex definitione nicht diskontierten) zukünftigen Zahlungsbeiträge.
- Der Schnittpunkt, bei dem $C_0(i)=0$ wird als interner Zinsfuß bezeichnet.

Ermittlung des Kalkulationszinsfußes

Finanzierungskosten	Opportunitätskosten	Sonstige Ansätze
<ul style="list-style-type: none"> Fremdkapital: Kreditzins langfristiger Kredit Eigenkapital: Anleiherendite am Kapitalmarkt Gewichtetes Mittel aus Eigenkapital und Fremdkapital 	<ul style="list-style-type: none"> Bisheriger Kalkulationszinsfuß im Unternehmen Durchschnittliche Unternehmensrendite Branchenübliche Verzinsung 	<ul style="list-style-type: none"> Orientierung am Markt- und Unternehmerrisiko (CAPM = Capital Asset Pricing Model) Subjektive Erwartung des Investors Ausnahmezins: Berücksichtigung von <i>besonderen</i> Risiken durch einen Aufschlag
+		
(allgemeiner) Risikozuschlag		

Erweiterungen der Kapitalwertmethode:

- Berücksichtigung von Restwerterlösen
- Berücksichtigung unterjährlicher Verzinsung
- Berücksichtigung von Preisänderungen: Preisniveauänderungen, relative Preisänderungen
- Berücksichtigung der Finanzierung: Aufstellen der Finanzierungsinvestition
- (Einfluss der Abschreibungsmethode auf den Kapitalwert... **wird hier nicht behandelt**)
- (Einfluss steuerlicher Änderungen... **wird hier nicht behandelt**)
- Berücksichtigung der Ungewissheit
 - Korrekturverfahren (Kalkulationszinssatz, Zahlungsgrößen)
 - Sensitivitätsanalysen, Risikoanalyse (Erwartungswerte, Monte-Carlo Simulation) (Vgl. hierzu **die Vorlesung Risiko- & Projektmanagement**)

Berücksichtigung eines Restwerterlöses

- Definition des Kapitalwerts (C_0) einer Zahlungsreihe im Zeitpunkt 0 unter Berücksichtigung einer Einzahlung beim Verkauf im Zeitpunkt n

$$C_0 = -a_0 + \sum_{t=1}^n c_t \cdot q^{-t} + R_n \cdot q^{-n}$$

R_n : = Restwerterlös zum am Ende der Periode n

Berücksichtigung eines geänderten Referenzzeitpunktes

- Definition des Kapitalwerts (C_m), bezogen auf einem nach 0 liegenden Zeitpunkt ($t = m$) und unter Berücksichtigung einer Einzahlung im Zeitpunkt n

$$C_m = -a_0 \cdot q^m + \sum_{t=1}^n c_t \cdot q^{m-t} + R_n \cdot q^{m-n} = C_0 \cdot q^m$$

mit: $0 < m < n$

- oder Berechnung des Kapitalwerts im Zeitpunkt t_n , hier t_1

$$C_1 = C_0 \cdot q$$

Berücksichtigung der Annahme uniformer Zahlungsströme

- Definition des Kapitalwerts (C_0) einer Zahlungsreihe im Zeitpunkt 0 bei uniformen Einzahlungsüberschüssen

$$C_0 = -a_0 + c \cdot RBF_i^n$$

$$RBF_i^n = \left[\frac{q^n - 1}{iq^n} \right]$$

mit: RBF = Rentenbarwertfaktor

Berücksichtigung von Preisniveauänderungen

- Definition des Kapitalwerts (C_0) einer Zahlungsreihe im Zeitpunkt 0 unter Berücksichtigung gleichmäßiger Preisänderungen aller in das Modell eingehenden Größen

$$C_0 = -a_0 + \sum \frac{b_t(1+p)^t - a_t(1+p)^t}{(1+i)^t \cdot (1+p)^t}$$

$$C_0 = -a_0 + \sum_{t=1}^n \frac{b_t \cancel{(1+p)^t} - a_t \cancel{(1+p)^t}}{(1+i)^t * \cancel{(1+p)^t}} \Rightarrow C_0 = -a_0 + \sum_{t=1}^n \frac{b_t - a_t}{(1+i)^t}$$

mit: p = Inflationsrate / Deflationsrate

- **Berücksichtigung relativer Preisänderungen**

- Definition des Kapitalwerts (C_0) einer Zahlungsreihe im Zeitpunkt 0 unter Berücksichtigung relativer Preisänderungen der in das Modell eingehenden Größen

$$C_0 = -a_0 + \sum_{t=1}^n \frac{\prod_{\tau=1}^t b_{\tau} (1 + p_{b\tau}) - \prod_{\tau=1}^t a_{\tau} (1 + p_{a\tau})}{\prod_{\tau=1}^t (1 + p_{\tau})(1 + i_r)^{\tau}}$$

mit:

$p_{b\tau}$: relative Preisänderungen der jährlichen Einzahlungen

$p_{a\tau}$: relative Preisänderungen der jährlichen Auszahlungen

p_{τ} : Änderungen der Inflationsrate / Deflationsrate Kalkulationszinsfuß

i_r : realer Zinsfuß

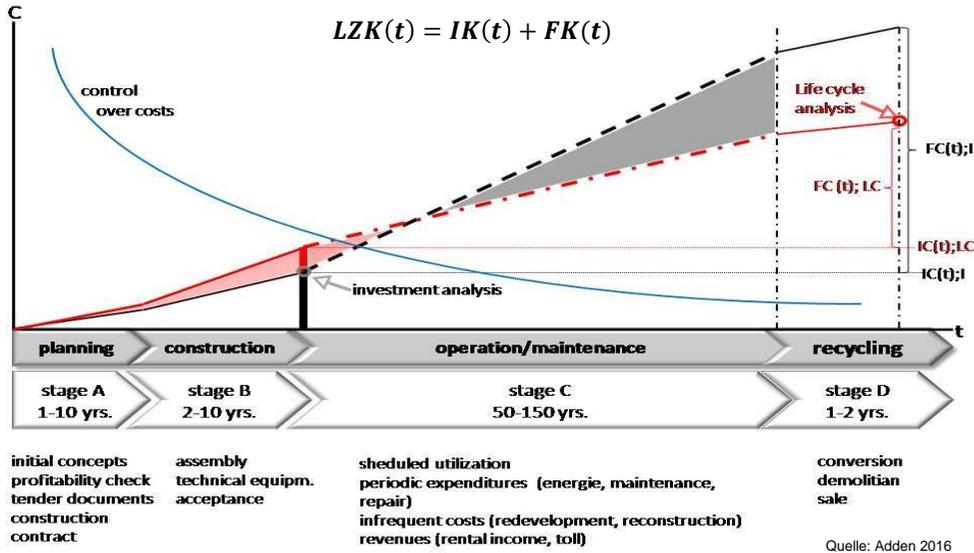
1. Einführung
2. Investitionstheorie
3. Investitionsrechnung
4. **Lebenszykluskostenrechnung**

- Grundgedanke
- State of the Art
- Methodische Umsetzung
- Praktische Beispiele

- Lebenszykluskostenrechnung: im Bauwesen ein Forschungs- und Handlungsansatz, der alle mit der Planung, Errichtung, Nutzung und ggf. Verwertung eines Bauwerks anfallenden Kosten berücksichtigt, die über den gesamten Lebenszyklus anfallen.
- Lebenszyklus
 - **DIN 31051**: Anzahl von Phasen, die ein Objekt durchläuft, beginnend mit der Konzeption und endend mit der Entsorgung



- Der Fokus liegt neben der Optimierung der Kosten der Planungs- und Bauphase, insbes. auf der Optimierung der Gesamtkosten des Bauwerks; er beinhaltet auch die Kosten, die während der Betriebs- und Rückbau (Verwertungs-)phase am Ende der Nutzungsdauer entstehen.
- Ansätze
 - Traditioneller Ansatz: Cradle to grave
 - Moderner Ansatz: Cradle to cradle (Nachhaltigkeitsdiskussion: Kreislaufwirtschaft, geschlossenes System)



Strategische Idee der Lebenszykluskostenrechnung

- **Ganzheitlicher Ansatz:** Berücksichtigung aller relevanten Kostenkategorien (Baukosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten, Rückbaukosten) über den gesamten Lebenszyklus eines Bauobjektes hinweg.
- **Building Information Modeling:** Die Verwendung von BIM in der Planung / Ausführung von Bauprojekten ermöglicht durch umfassende Datenverwaltung die Unterstützung des LZK-Ansatzes. BIM integriert Informationen über Gebäudekomponenten, Kosten und Wartungsanforderungen.
- **Nachhaltigkeitsaspekte:** Berücksichtigung von nachhaltigen Praktiken und grünen Technologien, die ggf. höhere Anfangsinvestitionen erfordern, aber über die Lebensdauer des Gebäudes zu Gesamt-Kosteneinsparungen führen können.
- **Energetische Effizienz:** Energieverbrauch und -effizienz des Bauwerks werden über den gesamten Lebenszyklus hinweg berücksichtigt. Investitionen in energieeffiziente Technologien können sich langfristig durch niedrigere Betriebskosten auszahlen.

- **Risikobewertung:** Die State-of-the-Art-Praxis umfasst i.d.R. eine detaillierte Analyse der Risiken, die mit verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Bauwerks verbunden sind, und integriert diese in die Kostenprognosen.
- **Life Cycle Costing Software:** Softwaretools für die Lebenszykluskostenrechnung können komplexe Analysen durchzuführen und fundierte Entscheidungen vorbereiten.
- **Lebenszyklusänderungen:** Die dynamische Anpassung der Kostenprognosen an Veränderungen während des Lebenszyklus des Bauwerks, wie z. B. Nutzungsänderungen oder technologische Fortschritte, ist möglich.
- **Volkswirtschaftliche Parameter:** Makroökonomische Variablen (nominelle und relative Preisänderungen, Zinsänderungen, Änderungen staatlich vorgegebener Rahmenbedingungen) können in den Kostenprognosen eingearbeitet werden.

• **Kapitalwertverfahren (NPV)**

(1) $NPV = -a_0 + \sum_{t=1}^n c_t \cdot q^{-t}$

mit:

NPV

Net Present Value, Kapitalwert der Auszahlungen zum Zeitpunkt 0 (Ende der Lebenszyklusphase 1 = Planung und Herstellung)

a_0

Planungs- und Herstellungsauszahlungen im Zeitpunkt 0, zugleich Diskontierungszeitpunkt t

c_t

$c_t = (b_t - a_t)$; Überschuss der Einzahlungen (b_t) über die Auszahlungen (a_t) in der Periode t

q:

Diskontierungsfaktor $(1 + i)$ mit i = Kalkulationszinsfuß

n:

Nutzungsdauer des Investitionsobjektes mit $t = 1, 2, n$ (in Jahren)

Bei uniformen Auszahlungen vereinfacht sich Formel (1) zu

(2) $NPV = -a_0 + c \cdot RBF_i^n$

mit:

$RBF_i^n = \frac{q^n - 1}{i \cdot q^n}$ (RBF = Rentenbarwertfaktor)

Auswahlkriterium:

$NPV \geq 0$ Bauvorhaben ist umso wirtschaftlicher, je größer NPV.

• **Beurteilung**

- Der Standardansatz ist als Partialmodell einfach zu handhaben; methodisch derzeit ohne praktikable Alternative
- Die Ergebnisqualität ist im konkreten Anwendungsfall davon abhängig, inwieweit Modifikationen der Grundgleichung zu einer realitätsnahen Abbildung des konkreten Bauvorhabens vorgenommen werden.
- Die Vorteilhaftigkeit autonomer Investitionsvorhaben ist die Zielgröße „Kapitalwertoptimierung“. Die Zieldimensionen - Liquidität, Beschaffungs- und/oder Finanzrestriktionen - werden nicht berücksichtigt.
- Die Charakterisierung des Investitionsobjektes durch die Zahlungsreihe vernachlässigt zunächst nichtmonetäre Größen; technologische, organisatorische und rechtliche sowie externe Effekte (Luftverschmutzung, Lärmbelästigung) können im Untersuchungsrahmen durch Monetarisierung berücksichtigt werden.
- Die Lebenszykluskostenrechnung ist der kalkulatorischen, internen Kosten- und Leistungsrechnung zuzuordnen; sie ist umsetzbar, wenn auf pagatorische Kosten abgestellt wird.

• **Verfahrensablauf zur LKZ-Berechnung**



Umsetzen der Stufen 2 - 6 anhand des konkreten Untersuchungsobjekts

⇒ Verkehrs-Infrastrukturprojekt

- 2 Aufteilung des Bauwerks in einzelne Module
 - Bauliche Anlagen
 - Technische Anlagen
 - Betriebstechnische Anlagen
- 3 Für jedes Modul: Ermittlung der
 - Initialkosten
 - Folgekosten
 - Betriebskosten
 - Erneuerungskosten
- 4 Bestimmung der Kostenmatrix über
 - die Nutzungsdauer der Module
 - über die Lebensdauer des Bauwerks



5 } Umsetzung der Berechnungen gem. Investitionsrechnung für Bauingenieure“
6 } dieser Übung

• **1 Ausgangslage**

Analyse der unterirdischen Streckenabschnitte des Mustertunnels einer Stadtbahnanlage

(eingekürzte Fassung)



1 Ausgangslage

Unterirdischer Streckenabschnitt der Stadtbahnlinie

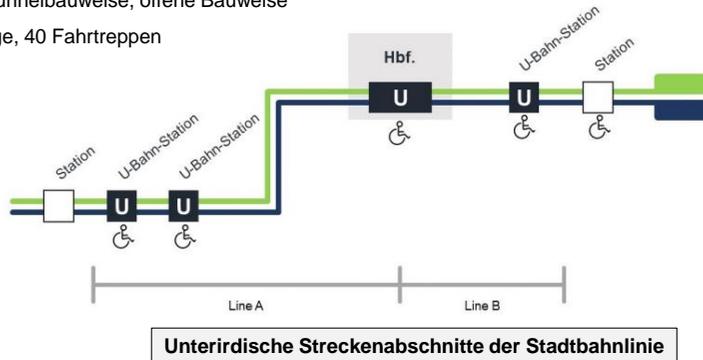
Baubeginn 1971

Inbetriebnahme Strecke A: 1979, Strecke B: 1981

Streckenlänge 3300m

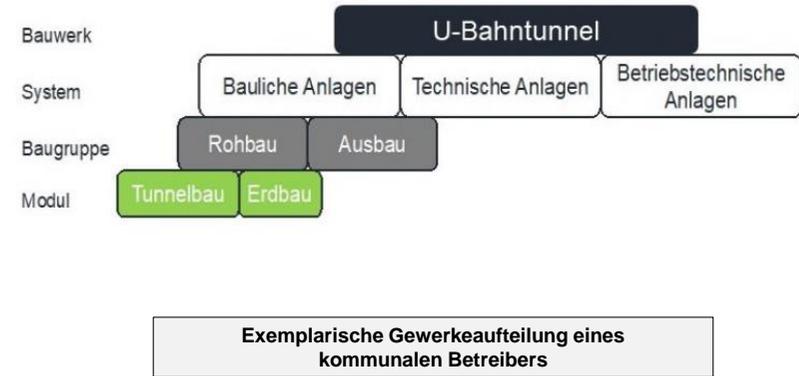
Bauweise Neue Österreichische Tunnelbauweise, offene Bauweise

Ausstattung 4 Bahnhöfe, 9 Aufzüge, 40 Fahrtreppen



Unterirdische Streckenabschnitte der Stadtbahnlinie

2 - 4 Strukturierung, Modulbildung und grundlegende Kosteninformationen



Exemplarische Gewerkeaufteilung eines kommunalen Betreibers

Bauwerk	81 Module
Bauliche Anlagen	39
Technische Anlagen	16
Betriebstechnische Anlagen	26

Basis der Kostenermittlung der Initial- und Folgekosten:

- für die Module
- Strecken A + B

mit unterschiedlichen jeweiligen Kosteninformationen:	
▪ Kostendaten	Keine, stabil, schwankend
▪ Keine Angaben	---
▪ stabil	Reinigung, Versicherung
▪ schwankend	Vandalismus, Graffiti-beseitigung
▪ Sondermodule	
▪ IK, keine FK	Baustelleneinrichtung
▪ FK, keine IK	Reinigung, Bewachung, Versicherung

Modularisierung des Bauwerks und Kosteninformationen

Lfd.Nr.	System	Baugruppe	Modul	Abkürzung / Synonym / Elemente
1	Bauliche Anlagen	Rohbau	Erdbau	Aushub
2			Stahlbetonbau	Bf., Rampe, Tunnel, Notausstiegs-Schacht, Betoninstandsetzung, Abdichtungsinjektion
3			Tunnelbau	Vortrieb, Innenschale
4			Stahlbau	
5			Gerüste, Baubehelfe	
6			Baugrubensicherung	Verbau
7			Spezialtiefbau	
8			Baustelleneinrichtung	BE
9			Wasserhaltung	
10			Abdichtung	Außenabdichtung, Fugenabdichtung
11			Kanalbau	
12			Leitungsbau	Versorgungsleitungen, Stadtwerke, Telekom, Unitymedia etc.
13			Straßenbau	Oberflächen Wiederherstellung
14			Lichtsignalanlagen	LSA im Zuge des Straßenbaus
15		Ausbau	Estrich	
16			Fliesen	
17			Natursteinarbeiten	
18			Trockenbau und Mauerwerk	Innenwände
19			Putzarbeiten	
20			Maler- und Beschichtungsarbeiten	
21			FH-Türen	
22			Türanlagen	Raum- und Gebäudetüren (nicht FH)
23			Metalbau	Wandverkleidung, Paneeldecken, Handläufe, Geländer, Gitterroste
24			Glasbau	
25			Stahlbau	Fluchtwege im Gleisbereich, Fluchttreppenhaus, Dachbau
26			Dachabdichtung	Dachdeckerarbeiten
27			Aufzugseinhausung	Aufzugseinhausung und Aufzugschächturen
28			Beschilderung	
29			Möblierung	Schlosserarbeiten Ausstattung
30			Vitrinen	
31			Landschaftsbau	Außenanlagen
32			Bauendreinigung	
33			Leitungs-Trassenausbau	Wandhalter, Kabeltröge, Kabelkanäle
34			Taubenvergrämung	
35			Reinigung	Reinigung der Bahnhöfe und Einrichtung
36			Graffiti-beseitigung	Graffitischutz und -beseitigung
37			Beseitigung Vandalismusschäden	
38			Bewachung	
39			Versicherung	

Module der Baulichen Anlagen

Lfd.Nr.	System	Modul	Abkürzung / Synonym / Elemente
40	Technische Anlagen	Elektrische Durchverbindung	Erdung
41		Hauptverteilung	
42		Unterverteilung	Elektroarbeiten
43		Beleuchtung/Elektrounterhaltung	öffentliche Beleuchtung im Bahnhof (Gleisebene, Verteilerebene)
44		Beleuchtung	Betriebsraumausstattung
45		Rolltore	
46		Lüftungsanlage	
47		Klimaanlage	
48		Heizungsanlage	
49		Sanitäranlage	Frischwasser, Abwasser, WCs, Bauwerksentwässerung
50		Pumpen- und Hebeanlagen	
51		Baulicher Brandschutz	Brandschotts, Brandschutzklappen, Rauchmelder, Brandmeldeanlage, BMZ
52		Rauchschürzen / Entrauchung	Rauchrückhaltung
53		Fluchtwegbeschilderung	
54		Trockenlöschleitung	TLL, Feuerlöschleitung
55		Feuerwehr-Schlüsseldepot	FSD, Schlüssel-Safe

Module der Technische Anlagen

Lfd.Nr.	System	Modul	Abkürzung / Synonym / Elemente
56	Betriebstechnische Anlagen	Gleisbau	Gleise, Weichen, Oberbau
57		Oberleitung	Fahrleitungssystem
58		Aufzüge	
59		Fahrtreppen	
60		Zugsicherung	Signalanlagen, Nothalt, Verkabelung
61		Energieversorgung	Unterwerke
62		Mittelspannungsanlage	
63		Trafos	
64		Unterbrechungsfreie Stromversorgung	USV, ESV
65		Batterien	
66		Netzersatzanlage	Notstromaggregat (Diesel)
67		Fernmeldeanlage	FM-Kabel, FM-Schränke
68		Telefon- und Notrufeinrichtung	
69		Automatische Betriebsführung	ABF
70		Fernwirktechnik	
71		Netzleittechnik	
72		Uhren-Anlage	
73		TV-Anlage mit Netzwerk	Videoanlage
74		Elektrische Lautsprecheranlage	ELA, Elektro-akustische Anlage
75		Dynamische Fahrgast-Information	DFI, Zugzielanzeiger
76		Fahrausweisautomaten	FAA, Fahrkartenausgaben
77		Fahrausweisentwerter	FAE, Entwerter
78		Rechnergesteuertes Betriebsleitsystem	RBL
79		Betriebsfunk	Digitalfunk
80		BOS-Funk	Funk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
81		WLAN / Mobilfunk	Kundenanbindung / Handy-Netze

Module der betriebstechnische Anlagen

System	Initialkosten	Folgekosten
Bauliche Anlagen (inklusive Sondermodule)	tatsächliche Kosten, ansonsten – kritische Zuordnung – Schätzung mittels Baulos einer vergleichbaren Stadtbahn – Expertenschätzung	Ohne Energiekosten 2015-2018 z.T. 1997-2018
Technische Anlagen	tatsächliche Kosten, ansonsten – kritische Zuordnung	Ohne Energiekosten 2015-2018 z.T. 1997-2018
Betriebstechnische Anlagen	Geschätzte Kosten aus den letzten Jahren (Technischen Fortschritt beachten!)	Durchschnittswerte 2017-2018

Kostendaten-/grundlage Mustertunnel ÖPNV

5 Überführung in eine Kostenmatrix / LZK -Berechnung

Modell-Grunddaten-Eingabe

Modelllegende

Eingabefaktor:

Berechnungsfaktor:

Varianteinstellung:

Betrachtungszeitraum

Planungsbeginn/Baubeginn:

Fertigstellung - Referenzzeitpunkt:

Prognosezeitraum (100 Jahre): Ende

Parameter U-Bahn

Tunnelänge [m]:

Anzahl Bahnhöfe:

Anzahl Röhren:

Kostensteigerung zwischen Planungsbeginn und Fertigstellung

Kann entweder für alle Einzelpreise automatisch mit einem konstanten Faktor oder benutzerdefiniert je Einheitspreis eingestellt werden

globale Kostensteigerung (jährlich):

globaler Steigerungsfaktor:

Geplante jährliche Kosten zum Referenzzeitpunkt [€]

Beseitigung:

Vandalismus Schäden/m:

Graffiti Beseitigung/m:

Reinigung/Bahnhof:

Bewachung/m:

Verstärkung/m:

Regelung Instandhaltung

allein über externen vergebenen Wartungsvertrag oder individualisierte Berechnung der Instandhaltungskosten

Liegt ein pauschaler Wartungsvertrag vor (ja):

gilt die Bauberechnungen basierendes Instandhaltungsfaktoren nicht:

Wartungsvertrag n. Gewährleistung jährlicher durchschnittl. Steigerungsfaktor:

Preissteigerung Strom

wird für alle Komponenten automatisch mit einem konstanten Faktor eingestellt

globale Kostensteigerung:

globaler Steigerungsfaktor:

Preissteigerung Instandhaltung

Kann für alle Komponenten automatisch mit einem konstanten Faktor oder benutzerdefiniert je Komponente eingestellt werden

globale Kostensteigerung (jährlich):

globaler Steigerungsfaktor:

Grunddaten-Eingabe

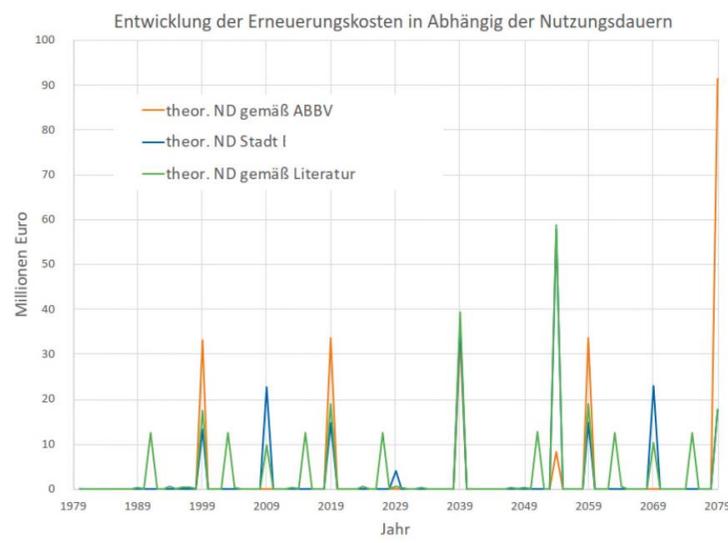
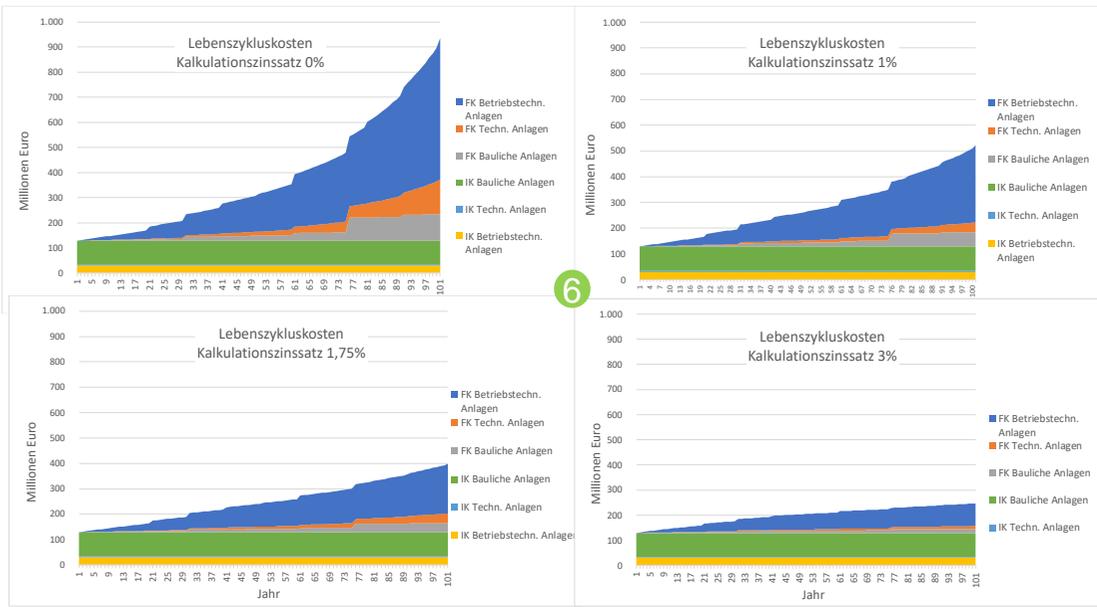
5 Kostenmatrix / LZK -Berechnung

Betriebskosten
 => für jedes Modul
 • Energie-
 • Instandhaltungs-
 •kosten
 Initialkostenbasiert
 • Sondermodule werden separat betrachtet

Erneuerungskosten
 => für jedes Modul
 => Initialkostenbasis unter Einbezug der alternativer theoretische Nutzungsdauern

Kapitalwertberechnung			NPV Betriebskosten	NPV Erneuerungskosten gemäß Variante A	NPV Erneuerungskosten gemäß Variante B	NPV Erneuerungskosten gemäß Variante C
Variante	Bemerkung	i (%)	0	0	0	0
Null-Variante	Referenzmaßstab	0,00%				
Untere Variante	Anwender	1,00%				
Mittlere Variante	BVWP 2030	1,75%				
Obere Variante	Anwender	3,00%				

Ergebnisübersichten
 • Visualisierungen
 • Sensitivitätsanalysen



Entwicklung der Erneuerungskosten in Abhängigkeit unterschiedlicher Nutzungsdauer-Ansätze