***Westfälische Wilhelms-
Universität Münster***

Institut für Kreditwesen
Direktor: Prof. Dr. Andreas PfiDI

*Institut für
Kreditwesen*

Diskussionsbeitrag 04-01

Das "Gesetz" der Ersatzinvestition bei nicht-flachen Zinsstrukturen

Prof. Dr. Andreas Pfingsten

Dipl.-Kfm. Markus Ricke

ISSN 0949-6610

Nov.2004

Zusammenfassung

In der Investitionstheorie wird zumeist das Vorliegen einer flachen Zinsstruktur unterstellt. Empirische Studien haben jedoch gezeigt, dass diese eher einen relativ seltenen Spezialfall darstellt. Unser Beitrag untersucht daher die Auswirkungen des Aufhebens der Annahme einer flachen Zinsstruktur auf den optimalen Startzeitpunkt einer Investition sowie die optimalen Nutzungsdauern einer Kette aus mehreren identischen Investitionsprojekten. Es zeigt sich, dass es sowohl bei inverser als auch bei normaler Zinsstruktur möglich ist, dass durch eine Verzögerung des Startzeitpunktes der Kapitalwert eines vorteilhaften Investitionsprojektes gesteigert wird. Mit Hilfe dieses Ergebnisses demonstrieren wir anschließend, dass das Gesetz der Ersatzinvestition von Preinreich (1940, 1953) alleine für den Spezialfall einer flachen Zinsstruktur gilt, da in den anderen Fällen die optimalen Nutzungsdauern in einer Kette von Investitionsprojekten abnehmen können.

Schlagwörter: Investition, Kapitalwert, Zinsstruktur, Gesetz der Ersatzinvestition

JEL-Klassifikation: D92, G31

Für hilfreiche Kommentare und Anregungen zu einer früheren Version dieses Aufsatzes danken wir Teilnehmern der Jahrestagungen der Gesellschaft für Operations Research (September 2002, Klagenfurt), des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft (Mai 2003, Zürich) und der Eastern Finance Association (April 2004, Mystic, CT). Die Teilnahme an der letztgenannten Tagung wurde von der DFG finanziell unterstützt. Alle verbleibenden Fehler und Unzulänglichkeiten gehen selbstverständlich zu unseren Lasten.

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Institut für Kreditwesen
Universitätsstraße 14-16
D-48143 Münster
Telefon: +49 251 83-22881
Telefax: +49 251 83-22882
E-Mail: 21anpf@wiwi.uni-muenster.de

1 Einleitung

Preinreich formulierte 1940 die Gesetzmäßigkeit, dass in einer endlichen Kette identischer Ersatzinvestitionen die Nutzungsdauer jedes Kettengliedes länger als die seiner Vorgängerinvestition und kürzer als die seiner Nachfolgerinvestition ist,[1] der er 1953 den Titel „Gesetz der Ersatzinvestition“ verlieh.[2]

Diese Gesetzmäßigkeit hat auch unter dem Begriff des „Ketteneffekts“ Einzug in die Literatur zur Investitionstheorie gehalten und ist ebenfalls in deutschen Standardlehrbüchern zu finden.[3] Eine umfangreiche Diskussion über die praktische Bedeutung des Gesetzes fand erstmals von 1980 bis 1982 auf der Grundlage der Aussagen von Lutz[4] und Schneider[5] statt, dass diese gering sei, da das Gesetz bei wachsenden Unternehmen nicht gelte. Buchner und Zechner untersuchten in ihren Beiträgen die Gültigkeit des Gesetzes bei verschiedenen Modellierungen von Unternehmenswachstum und kamen dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen.[6]

Ein weiterer wichtiger, aber bisher wenig beachteter Aspekt bezüglich der praktischen Relevanz dieser Gesetzmäßigkeit ist die bei ihrer Herleitung unter Verwendung des Kapitalwertkriteriums implizit unterstellte, aber meist verschwiegene flache Zinsstruktur. Wie sich empirisch feststellen lässt, ist diese keineswegs der Normalfall.[7] Eine erste Untersuchung des Einflusses der Annahme einer nicht-flachen Zinsstruktur auf die Gültigkeit des Gesetzes der Ersatzinvestition findet sich bei Rolfes,[8] dem hierbei allerdings ein elementarer Fehler unterläuft, den Johannwille[9] korrigiert.

Ziel unseres Beitrags ist eine systematische Untersuchung, welchen Einfluss die realistische Annahme einer nicht-flachen Zinsstruktur auf die Gültigkeit des Gesetzes der Ersatzinvestition hat. Dabei gehen wir wie folgt vor: Nach einer kurzen Darstellung der Struktur des zugrunde liegenden Entscheidungsproblems in Abschnitt 2 gehen wir in Abschnitt 3 zunächst der Frage nach, ob es stets optimal ist, ein Investitionsprojekt so früh wie möglich zu starten, oder ob eine Verzögerung des Startzeitpunktes kapitalwertsteigernd wirken kann. Aufbauend auf diesen Überlegungen überprüfen wir in Abschnitt 4 schließlich die Gültigkeit des Gesetzes der Ersatzinvestition bei nicht-flacher Zinsstruktur. In Abschnitt 5 fassen wir die gewonnenen Ergebnisse abschließend zusammen.

---

[1] Vgl. Preinreich (1940), S. 17.

[2] Vgl. Preinreich (1953), S. 76.

[3] Vgl. hierzu z.B. Adam (2000), S. 208 ff., Kruschwitz (2000), S. 168 ff., oder Schneider (1992), S. 103 ff.

[4] Vgl. Lutz (1951), S. 32-34 und S. 108-109.

[5] Vgl. Schneider (1975), S. 286-289.

[6] Vgl. Buchner (1980), S. 33-46, Zechner (1981), S. 559-572, Buchner (1982), S. 501-502, und Zechner (1982), S. 503-504.

[7] Vgl. hierzu z.B. Wilhelm/Brüning (1992), S. 288 ff.

[8] Vgl. Rolfes (1992), S. 238 ff.

[9] Vgl. Johannwille (2000), S. 108 ff.

2 Struktur des Entscheidungsproblems

Unser Ziel ist allein, die Gültigkeit des „Gesetzes der Ersatzinvestition“ bei der Veränderung einer (unrealistischen) Annahme zu untersuchen. Daher ist es zweckmäßig, mit dem bei der Herleitung dieses Gesetzes verwendeten, z.T. impliziten, Annahmenkatalog zu arbeiten und nur die Annahme der flachen Zinsstruktur aufzuheben. Eine Kritik an der Realtiätsferne der anderen Annahmen besteht damit fort, ist jedoch für unser Vorhaben unerheblich.

Bei der Herleitung des „Ketteneffekts“ wird Sicherheit bezüglich der Cash Flows der betrachteten Investition unterstellt. Ein Investitionsprojekt kann somit vollständig durch seine Cash Flows cf_0, cf_1, ..., cf_E beschrieben werden. Das Projekt generiert also eine Reihe von Cash Flows, die nach einem bestimmten Zeitpunkt E Null betragen. Weitere Aspekte, wie z.B. mit einer Investition möglicherweise verbundene Realoptionen, werden aus der Betrachtung ausgeklammert. Wird ein Investitionsprojekt (z.B. die Nutzung einer Maschine) zu einem Zeitpunkt $T \leq E$ beendet, betragen alle Cash Flows nach T Null. T steht also für die Nutzungs-, E für die Lebensdauer.

Eine meist nicht explizit formulierte Annahme ist, dass die Folge der Cash Flows unabhängig vom Startzeitpunkt t der Investition ist. Dies ist keineswegs der Regelfall in der Realität, findet sich aber z.B. bei Massenproduktion, bei der die gesamte Produktionsmenge zu zeitpunktunabhängigen Preisen verkauft wird und die Schwankung der Cash Flows hauptsächlich aus nicht konstanten Nutzungskosten (durch Reparaturen u.a.) resultiert.

Als Entscheidungskriterium wird bei der Herleitung der Gesetzmäßigkeit regelmäßig der Kapitalwert C verwendet, womit implizit Vollkommenheit der Kapitalmärkte unterstellt wird.[10] Diesem Kriterium folgend sollte ein Projekt genau dann durchgeführt werden, wenn C positiv (oder zumindest nicht negativ) ist. Von zwei sich gegenseitig ausschließenden Projekten ist jeweils das mit dem höheren C zu wählen.

Der Kapitalwert ergibt sich durch die Addition der auf den Entscheidungszeitpunkt diskontierten Cash Flows. Wir bezeichnen den Zinssatz in $t = 0$ für eine Laufzeit von $\tau > 0$ Jahren mit $r_\tau > 0$. In dem Spezialfall einer flachen Zinsstruktur ist r_τ für alle Laufzeiten gleich hoch, wohingegen bei Vorliegen einer inversen (normalen) Zinsstruktur für alle $\tau > 1$ gilt, dass $r_\tau < r_{\tau-1}$ ($r_\tau > r_{\tau-1}$).[11] Der Kapitalwert einer Investition mit einer Nutzungsdauer von T Perioden, die in t gestartet wird, beträgt dann:

[10] Die Zielgröße bei Nutzungsdauerentscheidungen ist allerdings keineswegs unumstritten, vgl. hierzu z.B. Buchner (1967), S. 244 ff.

[11] Auch die Anwendung der Kapitalwertmethode bei nicht-flacher Zinsstruktur sowie die Verwendung impliziter Terminzinssätze war in der Vergangenheit unter dem Stichwort „Marktzinsmethode in der Investitionsrechnung“ Gegenstand lebhafter Diskussionen, vgl. Rolfes (1993), Adam/Schlüchtermann/Utzel (1993), Adam/Schlüchtermann/Hering (1994), Rolfes (1994a), Kruschwitz/Röhrs (1994) und Rolfes (1994b). Wir folgen hier Hartmann-Wendels/Gumm-Heußen (1994), von denen die gegen eine Verwendung laufzeitabhängiger Zinssätze vorgebrachten Argumente überzeugend entkräftet werden.

$$C_{t,T} = \sum_{\tau=t}^{t+T} cf_{\tau-t} \cdot \frac{1}{(1+r_\tau)^\tau}. \tag{1}$$

3 Optimaler Startzeitpunkt einer Investition

Allgemeiner Ansatz

Die Verzögerung des Starts einer vorteilhaften[12] Investition vermindert ihren Kapitalwert und ist daher nicht optimal. Diese Aussage erscheint auf den ersten Blick einleuchtend. Eine intuitive Erklärung wäre z.B., dass hierdurch der positive Kapitalwert erst später vereinnahmt werden kann und dieser dadurch im Normalfall, bei einem positiven Opportunitätszinssatz, gemindert wird. Wir wollen die obige Aussage gleichwohl formal überprüfen.

Damit die Verschiebung des Startzeitpunktes um v Perioden den Kapitalwert eines vorteilhaften Investitionsprojektes steigert, muss gelten, dass:

$$\sum_{\tau=t+v}^{t+v+T} cf_{\tau-t-v} \cdot \frac{1}{(1+r_\tau)^\tau} > \sum_{\tau=t}^{t+T} cf_{\tau-t} \cdot \frac{1}{(1+r_\tau)^\tau}. \tag{2}$$

Einfaches Investitionsprojekt

Wir betrachten nun zunächst ein **einfaches Investitionsprojekt** mit einer Laufzeit von einem Jahr und $cf_0 < 0 < cf_1$.

Bedingung dafür, dass die Verzögerung des Starts dieser Art von Projekt um z.B. eine Periode kapitalwertsteigernd wirkt, ist laut (2), dass

$$\frac{cf_0}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+2})^{t+2}} \quad > \quad \frac{cf_0}{(1+r_t)^t} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}}. \tag{3}$$

[12] Im Sinne von $C_{0,T} > 0$.

Unter Verwendung der impliziten Terminzinssätze[13] kann (3) folgendermaßen umformuliert werden:

$$cf_0 \cdot \frac{1}{(1+r_t)^t} \cdot \left(\frac{1}{(1+r_{t,t+1})} - 1\right) > cf_1 \cdot \frac{1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})}\right) \quad (4)$$

$$\Leftrightarrow \quad cf_0 \cdot (1+r_{t,t+1}) \cdot \left(\frac{1}{(1+r_{t,t+1})} - 1\right) > cf_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad cf_0 \cdot (-r_{t,t+1}) > cf_1 \cdot \frac{r_{t+1,t+2}}{(1+r_{t+1,t+2})}$$

$$\Leftrightarrow \quad r_{t,t+1} > \frac{cf_1}{-cf_0} \cdot \frac{r_{t+1,t+2}}{(1+r_{t+1,t+2})} \quad (5)$$

$$\Leftrightarrow \quad r_{t,t+1} + \frac{cf_1}{cf_0} \cdot \frac{r_{t+1,t+2}}{(1+r_{t+1,t+2})} > 0. \quad (6)$$

Bei Vorliegen einer **flachen** Zinsstruktur gilt $r_{t,t+1} = r_{t+1,t+2} = ... = r_{t+n-1,t+n} = r$. Die impliziten Terminzinssätze sind in diesem Fall also konstant und entsprechen dem Kalkulationszinssatz.

Da $cf_1/-cf_0 = 1 + IRR$, wobei IRR dem internen Zinsfuß der Investition entspricht, kann (5) zu

$$r > IRR \quad (7)$$

umgeformt werden.

Ist jedoch $r > IRR$, so ist der Kapitalwert des Projektes negativ und die Investition an sich nachteilig. Somit wird deutlich, dass für den Fall einer flachen Zinsstruktur die Verschiebung des Startzeitpunktes eines einfachen Investitionsprojektes um eine Periode nur Sinn macht, wenn dieses einen negativen Kapitalwert aufweist. Bei einer Investition mit einem positiven Kapitalwert wird dieser durch eine einperiodige Verzögerung des Projektstarts hingegen gemindert.

Ein näherer Blick auf (3) zeigt, dass dieses Ergebnis auf den allgemeinen Fall einer Verschiebung des Startzeitpunktes um v Perioden ausgeweitet werden kann, da

$$\frac{cf_0}{(1+r)^{t+v}} + \frac{cf_1}{(1+r)^{t+v+1}} > \frac{cf_0}{(1+r)^t} + \frac{cf_1}{(1+r)^{t+1}}$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{cf_0}{(1+r)^v} + \frac{cf_1}{(1+r)^{v+1}} > cf_0 + \frac{cf_1}{(1+r)}$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{1}{(1+r)^v} \cdot C_{0,1} > C_{0,1}. \quad (8)$$

[13] $r_{t,t+n}$ (für $t > 0$) ist der implizite Terminzinssatz für die Zeit von t bis $t+n$.

Als erstes Ergebnis lässt sich somit festhalten:

Ergebnis 1:
Bei Vorliegen einer flachen Zinsstruktur sollte ein vorteilhaftes einfaches Investitionsprojekt stets so früh wie möglich gestartet werden.

Ein anderes Ergebnis kann für den Fall einer nicht-flachen Zinsstruktur abgeleitet werden. Damit das Projekt bei einem Start in $t+1$ überhaupt vorteilhaft ist, muss gelten, dass $cf_1/-cf_0 > 1 + r_{t+1,t+2}$. Unter Verwendung von (5) lässt sich somit folgende notwendige Bedingung formulieren:

$$\begin{aligned} r_{t,t+1} &> (1 + r_{t+1,t+2}) \cdot \frac{r_{t+1,t+2}}{(1 + r_{t+1,t+2})} \\ \Leftrightarrow r_{t,t+1} &> r_{t+1,t+2}. \end{aligned} \tag{9}$$

Aus (9) wird deutlich, dass bei Vorliegen einer **normalen** Zinsstruktur, also $r_{0,1} < r_{1,2}$, die Verschiebung des Startzeitpunktes einer vorteilhaften einfachen Investition von $t = 0$ auf $t = 1$ immer kapitalwertmindernd wirkt.[14] Somit kann als weiteres Ergebnis festgehalten werden:

Ergebnis 2:
Es ist es einzig für den Fall einer inversen Zinsstruktur möglich, dass es vorteilhaft ist, eine einfache Investition anstatt in $t = 0$ erst in $t = 1$ zu starten.[15]

Für $t > 0$ ist es indes sowohl bei normaler als auch bei inverser Zinsstruktur möglich, dass (9), und damit die notwendige Bedingung dafür, dass eine einperiodige Verzögerung des Startzeitpunktes den Kapitalwert einer einfachen Investition steigern kann, erfüllt ist.[16]

Um zu analysieren, bei welchen Zahlungsreihe/Zinsstruktur-Konstellationen (5) erfüllt ist, kann die Ungleichung zu

$$\frac{r_{t,t+1}}{r_{t+1,t+2}} \cdot (1 + r_{t+1,t+2}) > \frac{cf_1}{-cf_0} \tag{10}$$

umgeformt werden.

[14] Bei Vorliegen einer normalen Zinsstruktur gilt, dass $r_\tau < r_{\tau+1} < ... < r_{\tau+n}$. Dies bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass die impliziten Terminzinssätze mit steigendem τ ebenfalls ansteigen. Für diese lässt sich einzig die Gesetzmäßigkeit $r_{0,1} < r_{1,2}$ formulieren.

[15] Wir betrachten hier und im folgenden jeweils nur Verzögerungen des Startzeitpunktes um eine Periode. Damit ist die Untersuchung zum optimalen Startzeitpunkt einer Investition keineswegs vollständig. Sie ist aber ausreichend, um die grundlegenden Ideen unserer Untersuchung zur Gültigkeit des General Law of Replacement in Abschnitt 4 zu vermitteln.

[16] (9) ist bei Vorliegen einer normalen (inversen) Zinsstruktur z.B. für eine Verschiebung des Startzeitpunktes von $t = 1$ auf $t = 2$ bei den Zinssätzen $r_1 = 5\%$ (11%), $r_2 = 10\%$ und $r_3 = 11\%$ (9%) erfüllt, da $r_{1,2} = 15,24\%$ $(9,01\%) > r_{2,3} = 13,03\%$ (7,03%).

Damit (10) erfüllt ist, muss anscheinend die Differenz zwischen $r_{t,t+1}$ und $r_{t+1,t+2}$ möglichst groß sein. Gleichzeitig darf das Projekt nicht „zu lohnend“[17] sein. Diese Bedingungen lassen sich sehr gut ökonomisch interpretieren.

Die Änderung des Startzeitpunktes von t auf $t+1$ hat zwei gegensätzliche Effekte auf den Kapitalwert der Investition:

1. Der positive Effekt besteht darin, dass die negative Anfangsauszahlung cf_0 zusätzlich mit $r_{t,t+1}$ diskontiert und somit gemindert wird. Dieser positive Effekt ist umso stärker, je größer der Absolutbetrag des Cash-Flows $|cf_0|$ und der Zinssatz $r_{t,t+1}$ sind.

2. Gleichzeitig entsteht allerdings ein negativer Effekt dadurch, dass der positive Cash-Flow cf_1 zusätzlich mit $r_{t+1,t+2}$ diskontiert wird. Dieser Effekt ist umso schwächer, je kleiner cf_1 und $r_{t+1,t+2}$ sind.

Für einen positiven Gesamteffekt sollten die einjährigen impliziten Terminzinssätze von t nach $t+1$ also möglichst stark sinken. In Bezug auf die Cash-Flows muss für ein vorteilhaftes Investitionsprojekt stets $cf_1 > -cf_0$ gelten. Damit der Gesamteffekt der Verschiebung positiv ist, sollte unter dieser Nebenbedingung cf_0 (betragsmäßig) möglichst groß und cf_1 möglichst klein sein, was gleichbedeutend mit einer möglichst kleinen, aber positiven, IRR ist.[18] Wir können somit festhalten:

Ergebnis 3:
Es ist sowohl bei inverser als auch bei normaler Zinsstruktur möglich, dass durch eine Verzögerung des Starts von t >0 auf t+1 der Kapitalwert eines einfachen vorteilhaften Investitionsprojektes gesteigert wird. Ob es jeweils zu einer Verbesserung des Kapitalwertes kommt, hängt, neben den konkreten Cash-Flows, entscheidend von den impliziten Terminzinssätzen ab.

[17] Im Sinne einer nicht zu hohen IRR.

[18] Z.B. ergibt sich für ein Investitionsprojekt mit den Cash-Flows $cf_0 = -100$ und $cf_1 = 113$ bei Vorliegen einer inversen Zinsstruktur mit $r_1 = 11\%$ und r_2=9,5% ein Vorteil aus der Verschiebung des Startzeitpunktes von $t = 0$ auf $t = 1$ von 2,35135. Die impliziten Zinssätze lauten in diesem Fall $r_{0,1}$=11% und $r_{1,2}$=8,02%. Bei Zinssätzen von $r_1 = 11\%$ und r_2=10,90% und den entsprechenden impliziten Terminzinssätzen von $r_{0,1} = 11\%$ und $r_{1,2}$=10,80% ist eine Verschiebung des Starts von $t = 0$ auf $t = 1$ indes nicht sinnvoll, da der Kapitalwert hierdurch um 0,01308 gemindert wird.
Bei Vorliegen einer normalen Zinsstruktur steigert eine Verschiebung des Starts dieses Projektes von $t = 1$ auf $t = 2$ z.B. bei r_1=7,5%, $r_2 = 10\%$ und r_3=10,5% ($r_{1,2}$=12,56% und $r_{2,3}$=11,51%) den Kapitalwert, während er bei r_1=7,5%, $r_2 = 10\%$ und r_3=10,83% ($r_{1,2}$=12,56% und $r_{2,3}$=12,51%) sinkt.
Bei einer Erhöhung der IRR des Investitionsprojektes von 13% auf 50% durch einen cf_1 von +150 wird die Verschiebung sowohl bei $r_1 = 11\%$ und r_2=9,5% als auch bei r_1=7,5%, $r_2 = 10\%$ und r_3=10,5% negativ, da der Kapitalwert bei einer Verzögerung des Starts im ersten Fall von $t = 0$ auf $t = 1$ bzw. im zweiten Fall von $t = 1$ auf $t = 2$ sinkt.

Erweitertes Investitionsprojekt

Nachdem wir unsere Betrachtungen bisher auf ein einfaches Investitionsprojekt beschränkt haben, erweitern wir nun unseren Fokus und betrachten ein **erweitertes Investitionsprojekt**. Wir fügen zur Zahlungsreihe des einfachen Investitionsprojektes den Cash-Flow cf_2 hinzu und verlängern somit die Laufzeit der Investition auf zwei Jahre.

Zur Ableitung einer notwendigen und hinreichenden Bedingung für die Vorteilhaftigkeit der Verschiebung des Starts eines solchen Projektes um eine Periode kann (3) folgendermaßen erweitert werden:[19]

$$\frac{cf_0}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+2})^{t+2}} + \frac{cf_2}{(1+r_{t+3})^{t+3}} > \frac{cf_0}{(1+r_t)^t} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}} \tag{11}$$

$$\Leftrightarrow \left[r_{t,t+1} + \frac{cf_1}{cf_0} \cdot \frac{r_{t+1,t+2}}{(1+r_{t+1,t+2})}\right] \cdot (1+r_{t+1,t+2}) \cdot (1+r_{t+2,t+3}) + \frac{cf_2}{cf_0} \cdot r_{t+2,t+3} > 0. \tag{12}$$

Bei Vorliegen einer **flachen** Zinsstruktur lässt sich diese Bedingung wiederum erheblich vereinfachen und es ergibt sich

$$\begin{aligned}
& \left[r + \frac{cf_1}{cf_0} \cdot \frac{r}{(1+r)}\right] \cdot (1+r)^2 + \frac{cf_2}{cf_0} \cdot r > 0 \\
\Leftrightarrow \quad & 1 + \frac{cf_1}{cf_0} \cdot \frac{1}{(1+r)} + \frac{cf_2}{cf_0} \cdot \frac{1}{(1+r)^2} > 0 \\
\Leftrightarrow \quad & cf_0 + \frac{cf_1}{(1+r)} + \frac{cf_2}{(1+r)^2} < 0 \\
\Rightarrow \quad & C_{0,2} < 0.
\end{aligned}$$

Analog zu (8) kann unter Zuhilfenahme von (11) kann auch für ein (vorteilhaftes) erweitertes Projekt gezeigt werden, dass dieses bei Vorliegen einer flachen Zinsstruktur stets

[19] Die einzelnen Umformungen sind in Anhang 1 aufgeführt.

so früh wie möglich gestartet werden sollte, da

$$\frac{cf_0}{(1+r)^{t+v}} + \frac{cf_1}{(1+r)^{t+v+1}} + \frac{cf_2}{(1+r)^{t+v+2}} > \frac{cf_0}{(1+r)^{t}} + \frac{cf_1}{(1+r)^{t+1}} + \frac{cf_2}{(1+r)^{t+2}}$$

$$\Leftrightarrow \qquad \frac{cf_0}{(1+r)^{v}} + \frac{cf_1}{(1+r)^{v+1}} + \frac{cf_2}{(1+r)^{v+2}} > cf_0 + \frac{cf_1}{(1+r)} + \frac{cf_2}{(1+r)^{2}}$$

$$\Leftrightarrow \qquad \frac{1}{(1+r)^{v}} \cdot C_{0,2} > C_{0,2}.$$

Es zeigt sich somit, dass die Aussage, dass eine Verzögerung des Starts eines vorteilhaften Investitionsprojektes dessen Kapitalwert mindert, auch für komplexere Projekte gilt. Als weiteres Ergebnis lässt sich somit festhalten:

Ergebnis 4:
Eine Verzögerung des Starts einer Investition mit positivem Kapitalwert wirkt bei flacher Zinsstruktur stets kapitalwertmindernd und ist damit nachteilig.

Wie wir in Fußnote 20 exemplarisch zeigen werden, kann durch eine einperiodige Verzögerung des Starts eines vorteilhaften erweiterten Investitionsprojektes sowohl bei **inverser** als auch bei **normaler** Zinsstruktur dessen Kapitalwert gesteigert werden. Wir diskutieren im folgenden jedoch zunächst qualitativ, bei welchen Zahlungsreihe/Zinsstruktur-Konstellationen die Ungleichung (12) am ehesten erfüllt ist.

Eine nähere Betrachtung des ersten Summanden auf der linken Seite der Ungleichung offenbart, dass dieser die linke Seite der Vorteilhaftigkeitsbedingung für den Fall eines einfachen Projektes, (6), als Ausdruck in eckigen Klammern enthält. Es zeigt sich somit, dass der erste Summand positiv ist, wenn (6) bzw. (10) erfüllt ist. Somit muss (darf) für eine Steigerung des Kapitalwerts eines vorteilhaften erweiterten Projektes durch eine einperiodige Verzögerung des Starts die Differenz zwischen $r_{t,t+1}$ und $r_{t+1,t+2}$ (der Quotient aus cf_1 und $-cf_0$) möglichst groß (nicht zu groß) sein. Ökonomisch lässt sich bemerken, dass speziell bei Vorliegen einer inversen Zinsstruktur die Erfüllung der ersten Bedingung gegeben ist (vgl. auch Ergebnis 2). Die zweite Bedingung, das Investitionsprojekt (bzw. der erste Teil) darf nicht zu vorteilhaft sein, ist ebenfalls schon bekannt (vgl. die Interpretation von Bedingung (10)).

Durch das Hinzufügen des Cash-Flows cf_2 zur Zahlungsreihe des Projektes wird es jedoch zusätzlich möglich, dass für Fälle, in denen (6) bzw. (10) nicht erfüllt ist, die Verschiebung des Startzeitpunktes trotzdem vorteilhaft ist. Dies ist genau dann der Fall, wenn der erste Summand der linken Seite von (12) zwar negativ, jedoch absolut kleiner als der zweite Summand ist, der dann zwingend positiv sein muss, um die Ungleichung (12) zu erfüllen. Es ist somit im Unterschied zum einfachen Investitionsprojekt möglich, dass auch bei Vorliegen einer normalen Zinsstruktur eine Verschiebung des Startzeitpunktes von $t = 0$ auf $t = 1$ den Kapitalwert eines erweiterten vorteilhaften Investitionsprojektes erhöht.

Damit (12) erfüllt ist, falls (10) nicht erfüllt ist, muss $cf_2 < 0$ sein und $|cf_2|$ sollte möglichst groß sein. Dies ist dadurch zu erklären, dass sich beim erweiterten Investitionsprojekt für $cf_2 < 0$ ein weiterer positiver Effekt der Verschiebung um eine Periode dadurch ergibt, dass der negative cf_2 zusätzlich mit $r_{t+2,t+3}$ diskontiert wird. Dieser Effekt ist somit umso stärker, je größer $|cf_2|$ ist. Ob ein großer oder ein kleiner Wert für $r_{t+2,t+3}$ eher zur Erfüllung von Ungleichung (12) führt, hängt davon ab, ob ein negatives Produkt der ersten beiden Ausdrücke auf der linken Seite betragsmäßig kleiner oder größer als cf_2/cf_0 ist.[20]

Als Ergebnis unserer Betrachtung eines erweiterten Investitionsprojektes lässt sich somit festhalten:

Ergebnis 5:
Auch für ein (vorteilhaftes) erweitertes Investitionsprojekt gilt, dass sowohl bei inverser als auch bei normaler Zinsstruktur der Kapitalwert durch eine einperiodige Verzögerung des Starts unter Umständen gesteigert werden kann. Entscheidend dafür, ob die Verschiebung des Startzeitpunktes vorteilhaft ist, ist wiederum die Höhe der einzelnen Cash-Flows sowie der impliziten Terminzinssätze.

4 Optimale Nutzungsdauern in einer Kette identischer Ersatzinvestitionen

Laut Preinreichs „Gesetz der Ersatzinvestition“ nehmen in einer Kette identischer Ersatzinvestitionen die optimalen Nutzungsdauern der einzelnen Kettenglieder nach hinten hin immer weiter zu.[21] Diese Gesetzmäßigkeit wurde unter der Annahme einer flachen Zinsstruktur hergeleitet. Wir werden im folgenden unter Zuhilfenahme unserer Ergebnisse zum optimalen Startzeitpunkt einer einzelnen Investition zeigen, dass es im Fall einer nicht-flachen Zinsstruktur möglich ist, dass die optimale Nutzungsdauer eines Vorgängers länger ist als die seines Nachfolgers.

Erweiterung eines einfachen Investitionsprojektes um einen Cash-Flow

Wir verwenden hierzu zunächst wiederum ein einfaches Investitionsprojekt mit $cf_0 < 0$ und $cf_1 > 0$. Zusätzlich bestehe aber nun die Möglichkeit, die Laufzeit des Projektes

[20] So wirkt z.B. für ein Investitionsprojekt mit den Cash-Flows cf_0=-100, cf_1=+226 und cf_2=-122 die Verschiebung des Startzeitpunktes von $t = 0$ auf $t = 1$ bei Zinssätzen von r_1=9% (12%), r_2=10% sowie r_3=12% (9%) und einem entsprechenden $r_{2,3}$ von 16,11% (7,03%) kapitalwertsteigernd, während sie bei Zinssätzen von r_1=9% (12%), r_2=10% und r_3=11% (8%) mit $r_{2,3}$=13,03% (4,11%) nachteilig ist. Auch eine Verminderung des Absolutbetrages des cf_2 auf -102 (-75) lässt die Verschiebung bei den Zinssätzen r_1=9% (12%), r_2=10% und r_3=12% (9%) nachteilig werden.

[21] Vgl. Preinreich (1940), S. 17.

auf zwei Perioden zu verlängern, wobei ein Cash-Flow von $cf_2 < 0$ generiert wird. Bei einmaliger Durchführung sei daher eine Nutzungsdauer von einer Periode optimal.[22]

Nun betrachten wir den Fall einer einmaligen Wiederholung dieses Projektes, wobei die zweite Investition in der Periode startet, in der die erste endet.[23] Wir vergleichen den Kapitalwert der Investitionskette bei jeweils einperiodiger Nutzungsdauer der beiden Investitionen $C_K^{1,1}$ mit dem Kapitalwert bei einer Laufzeit von zwei (einer) Periode(n) des ersten (zweiten) Projektes $C_K^{2,1}$.[24]

Wir wollen zeigen, dass es möglich ist, dass $C_K^{2,1} > C_K^{1,1}$, also[25]

$$\begin{aligned}
&\frac{cf_0}{(1+r_t)^t} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}} + \frac{cf_0}{(1+r_{t+2})^{t+2}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+3})^{t+3}} \\
&\qquad > \\
&\frac{cf_0}{(1+r_t)^t} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_0}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+2})^{t+2}} \\
\Leftrightarrow \quad &\frac{cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}} + \frac{cf_0}{(1+r_{t+2})^{t+2}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+3})^{t+3}} > \frac{cf_0}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+2})^{t+2}}. \qquad (13)
\end{aligned}$$

Unter Verwendung der impliziten Terminzinssätze lässt sich (13) umformen zu

$$\begin{aligned}
\frac{-cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}} <& cf_0 \cdot \frac{1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} \cdot \left[\frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})} - 1\right] + \\
& cf_1 \cdot \frac{1}{(1+r_{t+2})^{t+2}} \cdot \left[\frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})} - 1\right] \qquad (14) \\
\Leftrightarrow \quad \frac{-cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}} <& cf_0 \cdot \frac{1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} \cdot \frac{-r_{t+1,t+2}}{(1+r_{t+1,t+2})} + \\
& cf_1 \cdot \frac{1}{(1+r_{t+1})^{t+1} \cdot (1+r_{t+1,t+2})} \cdot \frac{-r_{t+2,t+3}}{(1+r_{t+2,t+3})} \\
\Leftrightarrow \quad -cf_2 + cf_1 \cdot & \frac{r_{t+2,t+3}}{(1+r_{t+2,t+3})} < -cf_0 \cdot r_{t+1,t+2}. \qquad (15)
\end{aligned}$$

Anhand von (14) werden die beiden Effekte der Ausweitung der Nutzungsdauer des ersten Kettengliedes von einer Periode auf zwei Perioden deutlich. Durch die längere Nutzung fällt ein zusätzlicher Cash-Flow in Höhe von cf_2 in Periode $t+2$ an. Da dieser Cash-Flow

[22] Wir nehmen an, dass der Kapitalwert bei einer Nutzungsdauer von einer Periode positiv ist.

[23] Diese Annahme hat keinen bedeutenden Einfluss auf unsere Ergebnisse. Sie erscheint uns aber realistisch, da z.B. häufig der Bau bzw. die Installation einer neuen Maschine schon während der Nutzung der alten Maschine erfolgen muss.

[24] Für die zweite Investition ist einzig eine Nutzungsdauer von einer Periode sinnvoll, da $cf_2 < 0$.

[25] Wir unterstellen einen Start der Investitionskette in t.

negativ ist, mindert er den Kapitalwert der Investitionskette um $cf_2/(1+r_{t+2})^{t+2}$. Zugleich wird durch die Ausweitung der Nutzungsdauer der Start der zweiten Investition um eine Periode von $t+1$ auf $t+2$ verzögert, wodurch sich auf der rechten Seite der Ungleichung ein Ausdruck ergibt, dessen Struktur bereits aus Formel (4) bekannt ist. Damit eine längere Nutzung der ersten Investition optimal ist, muss somit ein eventueller Vorteil aus der Verschiebung des Startzeitpunktes des zweiten Kettengliedes um eine Periode den (diskontierten) Nachteil des zusätzlichen negativen Cash-Flows überkompensieren.

Da eine Verzögerung des Starts eines vorteilhaften Investitionsprojektes bei **flacher** Zinsstruktur immer nachteilig ist,[26] kann bei dieser Zinskonstellation und $cf_2 < 0$ eine längere Nutzung der ersten Investition niemals optimal sein, weil nur der kapitalwertmindernde Effekt des zusätzlichen negativen Cash-Flows auftritt. Formal lässt sich dies anhand der Ungleichung (15) zeigen, die sich bei flacher Zinsstruktur zu

$$-cf_2 + cf_1 \cdot \frac{r}{(1+r)} < -cf_0 \cdot r$$

$$\Leftrightarrow \qquad \underbrace{\frac{cf_2}{r}}_{<0} > \underbrace{cf_0 + \frac{cf_1}{(1+r)}}_{>0}$$

ergibt und damit nicht erfüllt ist.

Wie wir in Abschnitt 3 gezeigt haben, ist es jedoch bei Vorliegen einer **nicht-flachen** Zinsstruktur möglich, dass durch eine Verzögerung des Starts der zweiten Investition deren Kapitalwert erhöht wird.[27] Anhand von (15) lässt sich erkennen, wann die längere Nutzung der ersten Investition insgesamt kapitalwertsteigernd wirkt. Auf der linken Seite der Ungleichung stehen mit dem Betrag des zusätzlichen negativen Cash-Flow cf_2 sowie der zusätzlichen Diskontierung des positiven cf_1 des zweiten Kettengliedes die negativen Effekte der verlängerten Nutzungsdauer des ersten Kettengliedes, während auf der rechten Seite der positive Effekt der stärkeren Diskontierung des Betrags des negativen cf_0 des zweiten Kettengliedes zu finden ist.[28]
Damit die linke Seite der Ungleichung möglichst klein wird, müssen $|cf_2|$, cf_1 und $r_{t+2,t+3}$ möglichst klein sein. Für eine möglichst große rechte Seite müssen $|cf_0|$ und $r_{t+1,t+2}$ hingegen möglichst groß sein. Dies bedeutet, dass analog zu den Ergebnissen zur Vorteilhaftigkeit der Verschiebung des Startzeitpunktes eines einfachen Investitionsprojektes, das Projekt bei einem positiven Kapitalwert bei einperiodiger Nutzung nicht „zu lohnend“ sein

[26] Vgl. Ergebnis 1.

[27] Vgl. Ergebnis 3. Ergebnis 2 ist hier nicht relevant, da die zweite Investition frühestens in $t = 1$ gestartet werden kann.

[28] Die Effekte sind dabei jeweils auf $t + 2$ bezogen.

darf und die (einjährigen) impliziten Terminzinssätze von $t+1$ nach $t+2$ stark sinken müssen. Als Ergebnis lässt sich somit festhalten:[29]

Ergebnis 6:
Bei Vorliegen einer nicht-flachen Zinsstruktur ist es möglich, dass bei einer zweigliedrigen Kette identischer einfacher Investitionsprojekte, bei denen jeweils die Möglichkeit besteht, die Nutzung um eine Periode zu verlängern und hierdurch einen zusätzlichen Cash-Flow $cf_2 < 0$ *zu generieren, die optimale Nutzungsdauer der ersten Investition länger ist als die des zweiten Kettengliedes. Das Gesetz der Ersatzinvestition gilt somit für diesen Fall nicht.*

Erweiterung eines einfachen Investitionsprojektes um zwei Cash-Flows

Mancher Leser mag uns vielleicht vorwerfen, das obige Beispiel sei sehr künstlich, da wegen $cf_2 < 0$ die optimale Nutzungsdauer des zweiten Projektes zwingend, wenn es lohnend ist, eine Periode beträgt und deswegen gar nicht länger als die des ersten Projektes sein kann. Wir betrachten daher nun den Fall eines einfachen Investitionsprojektes, bei dem die Möglichkeit besteht, die Laufzeit um zwei Perioden zu verlängern, mit $cf_2 < 0$ und $cf_3 > 0$, und untersuchen wiederum den Fall einer einmaligen Wiederholung des Projektes mit einem Start der zweiten Investition in der letzten Nutzungsperiode des ersten Kettengliedes. Wir unterstellen, dass der Kapitalwert des Projektes bei einperiodiger Nutzung positiv ist und $cf_3 > |cf_2|$ gilt, so dass die Verlängerung lohnend sein kann.

Es existieren neun verschiedene mögliche Nutzungsdauerkombinationen. Da wir zeigen möchten, dass das General Law of Replacement bei nicht-flacher Zinsstruktur nicht gilt, betrachten wir im folgenden die Kapitalwerte $C_K^{1,1}$, $C_K^{3,1}$, $C_K^{1,3}$ sowie $C_K^{3,3}$ genauer und analysieren, unter welchen Bedingungen $C_K^{3,1}$ das Maximum dieser vier Kapitalwerte sein kann.[30]

Es gilt bei einem Start der Investitionskette in t, dass

$$C_K^{3,1} = \frac{cf_0}{(1+r_t)^t} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}} + \frac{cf_3}{(1+r_{t+3})^{t+3}} + \frac{cf_0}{(1+r_{t+3})^{t+3}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+4})^{t+4}}.$$

[29] Bildet man z.B. eine zweigliedrige Investitionskette aus unserer Beispielinvestition aus Fußnote 18 und fügt die Möglichkeit hinzu, die Laufzeit des Projektes jeweils um eine Periode zu verlängern mit cf_2=-1, so berechnen sich $C_K^{1,1}$ aus der Zahlungsreihe -100;+13;+113 und $C_K^{2,1}$ aus der Zahlungsreihe -100;+113; -101;+113.
Bei Vorliegen einer inversen (normalen) Zinsstruktur mit Zinssätzen von r_1=11% (5%), r_2=10% und r_3=8% (11%) sowie den entsprechenden impliziten Terminzinssätzen von $r_{1,2}$=9,01% (15,24%) und $r_{2,3}$=4,11% (13,03%) betragen die optimalen Nutzungsdauern bei einem Start der Investitionskette in $t=0$ zwei Jahre für das erste Kettenglied und ein Jahr für die zweite Investition, da $C_K^{2,1}$=8,0338> $C_K^{1,1}$=5,1001 ($C_K^{2,1}$=6,7726> $C_K^{1,1}$=5,7694).

[30] Eine Nutzungsdauer von zwei Perioden für das zweite Kettenglied kann bei $cf_2 < 0$ und $cf_3 > 0$ nicht optimal sein. Die Möglichkeit, die Laufzeit der ersten Investition um nur eine Periode zu verlängern mit $cf_2 < 0$ betrachten wir zunächst nicht näher, da sie keine neuen Erkenntnisse bietet. In unserem konkreten Beispiel in Fußnote 39 beziehen wir $C_K^{2,1}$ und $C_K^{2,3}$ dann aber wieder ein und zeigen, dass $C_K^{3,1}$ die optimale der neun möglichen Nutzungsdauerkombinationen sein kann.

Im folgenden betrachten wir $C_K^{3,1}$ als Ausgangsfall[31] und leiten jeweils einzeln für die drei anderen betrachteten Nutzungsdauerkombinationen Bedingungen dafür her, dass diese Nutzungsdauern nachteilig sind.

1. Bei einer Ausweitung der Nutzungsdauer der zweiten Investition auf drei Jahre ergibt sich der Kapitalwert der Investitionskette zu

$$\begin{aligned} C_K^{3,3} &= \frac{cf_0}{(1+r_t)^t} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}} + \frac{cf_3}{(1+r_{t+3})^{t+3}} \\ &+ \frac{cf_0}{(1+r_{t+3})^{t+3}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+4})^{t+4}} + \frac{cf_2}{(1+r_{t+5})^{t+5}} + \frac{cf_3}{(1+r_{t+6})^{t+6}}. \end{aligned}$$

   Es wird deutlich, dass die einzige Änderung in den beiden zusätzlichen Cash-Flows $cf_2 < 0$ in $t+5$ und $cf_3 > 0$ in $t+6$ besteht. Als notwendige Bedingung dafür, dass $C_K^{3,1}$ ein Maximum darstellt, können wir somit festhalten, dass

$$\frac{cf_3}{-cf_2} - 1 < r_{t+5,t+6}. \tag{16}$$

   Hiermit wird bereits deutlich, dass $C_K^{3,1}$ bei Vorliegen einer **flachen** Zinsstruktur, in Übereinstimmung mit dem General Law of Replacement, nicht optimal sein kann. Da die impliziten Terminzinssätze bei dieser Zinskonstellation konstant sind, würde $cf_3/(-cf_2) - 1 < r_{t+5,t+6}$ bedeuten, dass zugleich $cf_3/(-cf_2) - 1 < r_{t+2,t+3}$ gilt, so dass eine Nutzung des ersten Kettengliedes über drei Perioden nachteilig wäre.[32] Bei einer nicht-flachen Zinsstruktur impliziert Bedingung (16) hingegen *nicht*, dass eine dreiperiodige Nutzung des ersten Kettengliedes nachteilig ist: weder besteht ein zwingender Zusammenhang (oder gar Gleichheit) zwischen $r_{t+5,t+6}$ und $r_{t+2,t+3}$, noch ist ein späterer Start des zweiten Kettengliedes immer nachteilig.

2. Eine Nutzung beider Investitionen über nur eine Periode führt zu einem Kapitalwert der Investitionskette von

$$C_K^{1,1} = \frac{cf_0}{(1+r_t)^t} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_0}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+2})^{t+2}}.$$

[31] Wir gehen im folgenden davon aus, dass $C_K^{3,1}$ bei einem Start der Investitionskette in t größer als Null ist.

[32] Eventuelle Vorteile aus einem späteren Start der zweiten Investition sind bei flacher Zinsstruktur nicht möglich.

$C_K^{3,1} > C_K^{1,1}$ gilt also, wenn[33]

$$
\begin{aligned}
& cf_2 + \frac{cf_3}{(1+r_{t+2,t+3})} \\
& > \\
& cf_0 \cdot (1+r_{t+1,t+2}) \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+1,t+3})^2}\right) \\
& +cf_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+2,t+4})^2}\right)
\end{aligned} \tag{17}
$$

$$
\begin{aligned}
\Leftrightarrow \quad & cf_2 + \frac{cf_3}{(1+r_{t+2,t+3})} \\
& > \\
& cf_0 \cdot (1+r_{t+1,t+2}) \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+1,t+2}) \cdot (1+r_{t+2,t+3})}\right) \\
& +cf_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+2,t+3}) \cdot (1+r_{t+3,t+4})}\right).
\end{aligned} \tag{18}
$$

Anhand von (17) und (18) lässt sich ablesen, unter welchen Bedingungen eine dreiperiodige Nutzung des ersten Kettengliedes einer Nutzungsdauer von einer Periode überlegen ist:

- Damit die *linke Seite* der beiden Ungleichungen möglichst groß wird, muss $cf_3/(1+r_{t+2,t+3})$ möglichst groß und $|cf_2|$ möglichst klein sein. Dies ist gleichbedeutend mit einer möglichst großen IRR aus cf_2 und cf_3 und einem möglichst kleinen Zinssatz $r_{t+2,t+3}$.[34] Hintergrund dieser Bedingungen ist, dass durch eine Verkürzung der Laufzeit des ersten Kettengliedes von drei Perioden auf eine Periode die Cash-Flows cf_2 in $t+2$ und cf_3 in $t+3$ wegfallen. Dies ist umso nachteiliger, je größer die Differenz zwischen der IRR aus diesen Cash-Flows und $r_{2,3}$ ist.
- Die *rechte Seite* der Ungleichung (17) wird umso kleiner, je größer $r_{t+1,t+3}$ und je kleiner $r_{t+2,t+4}$ sind.[35] Dies resultiert daraus, dass durch eine Laufzeit von drei Perioden für die erste Investition im Vergleich zu einer nur einperiodigen Nutzung die Cash-Flows cf_0 bzw. cf_1 des zweiten Projektes von $t+1$ auf $t+3$ bzw. von $t+2$ auf $t+4$ verschoben werden. Diese Verschiebung wirkt umso positiver, je stärker (schwächer) der negative (positive) cf_0 (cf_1) durch die Verschiebung zusätzlich diskontiert wird.
  Hierfür müssen $r_{t+1,t+2}$ ($r_{t+3,t+4}$) möglichst groß (klein) sein.[36]

[33] Die Herleitung dieser Bedingungen befindet sich in Anhang 2.

[34] Das betrachtete Investitionsprojekt ist nichts anderes als eine Folge von zwei aufeinanderfolgenden, einfachen Investitionsprojekten. Damit die linke Seite der Ungleichung positiv ist, muss die IRR des zweiten Teils des Projektes größer sein als $1+r_{t+2,t+3}$. Sie darf indes nicht zu groß sein, da (16) gelten muss, damit $C_K^{3,1} > C_K^{3,3}$.

[35] Beachte: $(1+r_{t+1,t+3})^2 = (1+r_{t+1,t+2})\cdot(1+r_{t+2,t+3})$ und $(1+r_{t+2,t+4})^2 = (1+r_{t+2,t+3})\cdot(1+r_{t+3,t+4})$.

[36] Da $r_{t+2,t+3}$ in beiden Summanden von Bedingung (18) vorkommt und sowohl $r_{t+1,t+3}$ als auch $r_{t+2,t+4}$ positiv beeinflusst, ist zu diesem Zinssatz keine eindeutige Aussage möglich.

3. Nutzungsdauern von einer Periode für das erste Kettenglied und drei Perioden für die zweite Investition führen zu einem Kapitalwert von

$$C_K^{1,3} = \frac{cf_0}{(1+r_t)^t} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_0}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+2})^{t+2}} + \frac{cf_2}{(1+r_{t+3})^{t+3}} + \frac{cf_3}{(1+r_{t+4})^{t+4}}.$$

Damit $C_K^{3,1} > C_K^{1,3}$ gilt, muss[37]

$$\begin{aligned} cf_2 \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})}\right) + cf_3 \cdot \frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})} \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+3,t+4})}\right) \\ > \\ cf_0 \cdot (1+r_{t+1,t+2}) \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+1,t+3})^2}\right) + cf_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+2,t+4})^2}\right) \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow \quad cf_2 \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})}\right) + cf_3 \cdot \frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})} \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+3,t+4})}\right) \\ > \\ cf_0 \cdot (1+r_{t+1,t+2}) \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+1,t+2}) \cdot (1+r_{t+2,t+3})}\right) \\ + cf_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r_{t+2,t+3}) \cdot (1+r_{t+3,t+4})}\right) \end{aligned} \tag{20}$$

erfüllt sein.

- Die *linke Seite* der Ungleichungen (19) und (20) ist umso größer, je kleiner $r_{t+2,t+3}$ und je größer $r_{t+3,t+4}$ sind. Dies hängt damit zusammen, dass bei Nutzungsdauern von einer Periode für die erste Investition und drei Perioden für die zweite Investition im Vergleich zum umgekehrten Fall die Cash-Flows cf_2 und cf_3 jeweils eine Periode später anfallen, nämlich in $t+3$ anstatt in $t+2$ bzw. in $t+4$ anstatt $t+3$. Dies mindert den Kapitalwert der Investitionskette umso mehr, wenn die zusätzliche Diskontierung des negativen (positiven) cf_2 (cf_3) möglichst klein (groß) ist.
- Für eine möglichst kleine *rechte Seite* der Ungleichung (19) gelten dieselben Bedingungen wie bei der rechten Seite von (17), nämlich ein möglichst hoher (niedriger) Zinssatz $r_{t+1,t+3}$ ($r_{t+2,t+4}$). Dies liegt daran, dass auch hier durch die kürzere Laufzeit des ersten Kettengliedes die Cash-Flows cf_0 und cf_1 der zweiten Investition zwei Perioden früher anfallen. Anhand von (20) wird analog zu (18) deutlich, dass dies gleichbedeutend mit einem möglichst großen (kleinen) Zinssatz $r_{t+1,t+2}$ ($r_{t+3,t+4}$) ist.

In Tabelle 1 ist für die einzelnen Bestandteile der Bedingungen (16), (18) und (20) detailliert dargestellt, ob die einzelnen impliziten Terminzinssätze eher hoch (↑) oder niedrig

[37] Die Herleitung der Bedingungen befindet sich in Anhang 3.

(↓) sein müssen, damit die jeweilige Bedingung erfüllt ist:

Bedingung		$r_{t+1,t+2}$	$r_{t+2,t+3}$	$r_{t+3,t+4}$	$r_{t+5,t+6}$
(16)					↑
(18)	linke Seite		↓		
	1. Summand rechte Seite	↑	↑		
	2. Summand rechte Seite		↓	↓	
(20)	1. Summand linke Seite		↓		
	2. Summand linke Seite		↓	↑	
	1. Summand rechte Seite	↑	↑		
	2. Summand rechte Seite		↓	↓	
	Gesamt	↑	?	?	↑

Tabelle 1: Ergebnisse bezüglich der impliziten Terminzinssätze.

Die Fälle 1. bis 3. zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass als eine notwendige Bedingung dafür, dass $C_K^{3,1}$ das Optimum bildet, (16) erfüllt sein muss. Die IRR aus $cf_2 < 0$ und $cf_3 > 0$ muss also kleiner als $r_{t+5,t+6}$, darf aber wegen (17) bzw. (18) nicht zu klein sein. Hinsichtlich der impliziten Terminzinssätze gilt, dass $r_{t+1,t+2}$ und $r_{t+5,t+6}$ möglichst groß sein müssen damit (16), (18) und (20) erfüllt sind.[38] Solche Zinskonstellationen sind sowohl bei **normaler** als auch bei **inverser** Zinsstruktur möglich.[39] Wir können somit folgendes Ergebnis formulieren:

Ergebnis 7:
Auch bei der Möglichkeit der Erweiterung eines einfachen Investitionsprojektes um zwei Cash-Flows $cf_2 < 0$ und $cf_3 > 0$ mit $cf_3 > |cf_2|$ ist es bei Vorliegen einer nicht-flachen Zinsstruktur möglich, dass die optimale Nutzungsdauer der ersten Investition länger ist als die des zweiten Kettengliedes.

[38] Bezüglich $r_{t+2,t+3}$ und $r_{t+3,t+4}$ lässt sich keine klare Aussage treffen.

[39] Als Beispiel sei ein Projekt mit cf_0=-100 und cf_1=110 angeführt, das um cf_2=-300 und cf_3=320 erweitert werden kann. Für eine in $t = 0$ zu startende, zweigliedrige Investitionskette aus dieser Investition ergibt sich bei einer normalen Zinsstruktur mit r_1=2%, r_2=4%, r_3=4,5%, r_4=5,5%, r_5=6% und r_6=6,5% ein maximaler Kapitalwert von 12,0554 bei dreiperiodiger Nutzung der ersten Investition und einperiodiger Nutzung des zweiten Kettengliedes ($C_K^{1,1}$=11,5051, $C_K^{1,3}$=6,9255, $C_K^{2,1}$=-265,5867, $C_K^{2,3}$=-268,6291 und $C_K^{3,3}$=7,1848). Die relevanten impliziten Terminzinssätze betragen in diesem Fall $r_{1,2}$=6,04%, $r_{2,3}$=5,51% und $r_{3,4}$=8,56%. Die IRR aus cf_2 und cf_3 beträgt 6,67% und ist damit kleiner als $r_{5,6}$=9,04%.
Bei einer inversen Zinsstruktur mit r_1=10,5%, r_2=10%, r_3=8,5%, r_4=8%, r_5=7,8% und r_6=7,7% bildet ebenfalls $C_K^{3,1}$ mit 4,7067 das Maximum ($C_K^{1,1}$=-0,0411, $C_K^{1,3}$=0,2960, $C_K^{2,1}$=-244,9111, $C_K^{2,3}$=-245,6056 und $C_K^{3,3}$=3,6788) bei $r_{1,2}$=9,5%, $r_{2,3}$=5,56%, $r_{3,4}$=6,51% und $r_{5,6}$=7,20%>6,67%.

5 Fazit und Ausblick

Unser Ziel war es, die Gültigkeit der Kernaussage des General Law of Replacement bei nicht-flacher Zinsstruktur zu überprüfen. Hierzu haben wir aus dem bei der Herleitung dieses Gesetzes verwendeten Annahmenkatalog die (implizite) Annahme einer flachen Zinsstruktur aufgehoben und zunächst die Auswirkungen auf den optimalen Startzeitpunkt einer Investition und anschließend auf die optimalen Nutzungsdauern in einer Investitionskette analysiert.

Die von uns dabei hergeleiteten Ergebnisse lassen sich zu zwei wesentlichen neuen Erkenntnissen zusammenfassen:

1. Es ist sowohl bei inverser als auch bei normaler Zinsstruktur möglich, dass durch eine Verzögerung des Startzeitpunktes der Kapitalwert eines vorteilhaften Investitionsprojektes gesteigert wird.
2. Das General Law of Replacement ist keineswegs allgemeingültig, sondern gilt alleine für den (Spezial-)Fall einer flachen Zinsstruktur.

Der von uns übernommene Annahmenkatalog enthält eine Vielzahl unrealistischer Annahmen, von denen viele jedoch relativ problemlos entschärft werden können.[40] Selbst bei einem Aufheben der wohl kritischsten Annahme, der einer *identischen* Ersatzinvestition, behalten unsere Aussagen zum Ketteneffekt ihre Gültigkeit.[41]

Die Bestimmung der optimalen Nutzungsdauern bei Investitionsketten gestaltet sich also im realistischen Fall einer nicht-flachen Zinsstruktur erheblich schwieriger als es zumeist dargestellt wird. Strenggenommen müssten der Startzeitpunkt der Investitionskette und die Nutzungsdauern der einzelnen Kettenglieder simultan optimiert werden, da die Entscheidungen interdependent sind. Eine Heuristik wie das General Law of Replacement, das, wie wir gezeigt haben, nur für den Fall einer flachen Zinsstruktur gilt, existiert bei nicht-flachen Zinskonstellationen offenbar nicht. Hier bietet sich ein Anknüpfungspunkt für weitere Untersuchungen.

[40] Z.B. die Integration von Abrisskosten bzw. Verkaufserlösen nach Ende der Investition.

[41] Z.B. ergibt sich für eine zweigliedrige Investitionskette aus einer Investition mit cf_0=-100 und cf_1=110, deren Laufzeit mit cf_2=-300 und cf_3=320 um maximal zwei Perioden verlängert werden kann, sowie einem Projekt mit cf_0=-100 und cf_1=113, dessen Laufzeit ebenfalls um maximal zwei Perioden verlängert werden kann mit cf_2=-280 und cf_3=300, bei Zinssätzen von r_1=2%, r_2=4%, r_3=4,5%, r_4=5,5%, r_5=6% und r_6=6,5% ein maximaler Kapitalwert von 14,4770 bei dreiperiodiger Nutzung der ersten Investition und einperiodiger Nutzung des zweiten Kettengliedes ($C_K^{1,1} = 14,2788$, $C_K^{1,3} = 11,0807$, $C_K^{2,1} = -262,9578$, $C_K^{2,3} = -264,8011$ und $C_K^{3,3} = 10,8450$).

Anhang

Anhang 1:

$$
\begin{aligned}
& \frac{cf_0}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+2})^{t+2}} + \frac{cf_2}{(1+r_{t+3})^{t+3}} \\
& > \\
& \frac{cf_0}{(1+r_t)^t} + \frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} + \frac{cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}} \\
\Leftrightarrow \quad & cf_0 \cdot \left[\frac{1}{(1+r_{t+1})^{t+1}} - \frac{1}{(1+r_t)^t}\right] + cf_2 \cdot \left[\frac{1}{(1+r_{t+3})^{t+3}} - \frac{1}{(1+r_{t+2})^{t+2}}\right] \\
& > \\
& - cf_1 \cdot \left[\frac{1}{(1+r_{t+2})^{t+2}} - \frac{1}{(1+r_{t+1})^{t+1}}\right] \\
\Leftrightarrow \quad & cf_0 \cdot [1 - (1+r_{t,t+1})] + cf_2 \cdot \left[\frac{1}{(1+r_{t+1,t+3})^2} - \frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})}\right] \\
& > \\
& - cf_1 \cdot \left[\frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})} - 1\right] \\
\Leftrightarrow \quad & cf_0 \cdot (-r_{t,t+1}) + cf_2 \cdot \left[\frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})} \cdot \left(\frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})} - 1\right)\right] \\
& > \\
& - cf_1 \cdot \left(-\frac{r_{t+1,t+2}}{(1+r_{t+1,t+2})}\right) \\
\Leftrightarrow \quad & cf_0 \cdot (-r_{t,t+1}) \cdot (1+r_{t+1,t+2}) \cdot (1+r_{t+2,t+3}) + cf_2 \cdot (-r_{t+2,t+3}) \\
& > \\
& - cf_1 \cdot (-r_{t+1,t+2}) \cdot (1+r_{t+2,t+3}) \\
\Leftrightarrow \quad & cf_0 \cdot (-r_{t,t+1}) \cdot (1+r_{t+1,t+2}) + cf_1 \cdot (-r_{t+1,t+2}) \\
& > \\
& [cf_0 \cdot r_{t,t+1} \cdot (1+r_{t+1,t+2}) + cf_1 \cdot r_{t+1,t+2} + cf_2] \cdot r_{t+2,t+3} \\
\Leftrightarrow \quad & cf_0 \cdot (-r_{t,t+1}) - (cf_0 \cdot r_{t,t+1} + cf_1) \cdot r_{t+1,t+2} \\
& > \\
& [cf_0 \cdot r_{t,t+1} \cdot (1+r_{t+1,t+2}) + cf_1 \cdot r_{t+1,t+2} + cf_2] \cdot r_{t+2,t+3} \\
\Leftrightarrow \quad & cf_0 \cdot r_{t,t+1} + (cf_0 \cdot r_{t,t+1} + cf_1) \cdot r_{t+1,t+2} \\
& < \\
& -[cf_0 \cdot r_{t,t+1} + (cf_0 \cdot r_{t,t+1} + cf_1) \cdot r_{t+1,t+2} + cf_2] \cdot r_{t+2,t+3} \\
\Leftrightarrow \quad & [cf_0 \cdot r_{t,t+1} + (cf_0 \cdot r_{t,t+1} + cf_1) \cdot r_{t+1,t+2}] \cdot (1+r_{t+2,t+3}) + cf_2 \cdot r_{t+2,t+3} < 0 \\
\Leftrightarrow \quad & [cf_0 \cdot r_{t,t+1} \cdot (1+r_{t+1,t+2}) + cf_1 \cdot r_{t+1,t+2}] \cdot (1+r_{t+2,t+3}) + cf_2 \cdot r_{t+2,t+3} < 0 \\
\Leftrightarrow \quad & \left[r_{t,t+1} + \frac{cf_1}{cf_0} \cdot \frac{r_{t+1,t+2}}{(1+r_{t+1,t+2})}\right] \cdot (1+r_{t+1,t+2}) \cdot (1+r_{t+2,t+3}) + \frac{cf_2}{cf_0} \cdot r_{t+2,t+3} > 0.
\end{aligned}
$$

Anhang 2:

$$\frac{cf_0}{(1+r_t)^t}+\frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}}+\frac{cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}}+\frac{cf_3}{(1+r_{t+3})^{t+3}}+\frac{cf_0}{(1+r_{t+3})^{t+3}}+\frac{cf_1}{(1+r_{t+4})^{t+4}}$$
$$>$$
$$\frac{cf_0}{(1+r_t)^t}+\frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}}+\frac{cf_0}{(1+r_{t+1})^{t+1}}+\frac{cf_1}{(1+r_{t+2})^{t+2}}$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}}+\frac{cf_3}{(1+r_{t+3})^{t+3}}$$
$$>$$
$$cf_0\cdot\left(\frac{1}{(1+r_{t+1})^{t+1}}-\frac{1}{(1+r_{t+3})^{t+3}}\right)+cf_1\cdot\left(\frac{1}{(1+r_{t+2})^{t+2}}-\frac{1}{(1+r_{t+4})^{t+4}}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})}\cdot\left(cf_2+\frac{cf_3}{(1+r_{t+2,t+3})}\right)$$
$$>$$
$$cf_0\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+1,t+3})^2}\right)+cf_1\cdot\frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})}\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+2,t+4})^2}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad cf_2+\frac{cf_3}{(1+r_{t+2,t+3})}$$
$$>$$
$$cf_0\cdot(1+r_{t+1,t+2})\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+1,t+3})^2}\right)+cf_1\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+2,t+4})^2}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad cf_2+\frac{cf_3}{(1+r_{t+2,t+3})}$$
$$>$$
$$cf_0\cdot(1+r_{t+1,t+2})\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})\cdot(1+r_{t+2,t+3})}\right)$$
$$+cf_1\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})\cdot(1+r_{t+3,t+4})}\right).$$

Anhang 3:

$$\frac{cf_0}{(1+r_t)^t}+\frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}}+\frac{cf_2}{(1+r_{t+2})^{t+2}}+\frac{cf_3}{(1+r_{t+3})^{t+3}}+\frac{cf_0}{(1+r_{t+3})^{t+3}}+\frac{cf_1}{(1+r_{t+4})^{t+4}}$$
$$>$$
$$\frac{cf_0}{(1+r_t)^t}+\frac{cf_1}{(1+r_{t+1})^{t+1}}+\frac{cf_0}{(1+r_{t+1})^{t+1}}+\frac{cf_1}{(1+r_{t+2})^{t+2}}+\frac{cf_2}{(1+r_{t+3})^{t+3}}+\frac{cf_3}{(1+r_{t+4})^{t+4}}$$

$$\Leftrightarrow \quad cf_2\cdot\left(\frac{1}{(1+r_{t+2})^{t+2}}-\frac{1}{(1+r_{t+3})^{t+3}}\right)+cf_3\cdot\left(\frac{1}{(1+r_{t+3})^{t+3}}-\frac{1}{(1+r_{t+4})^{t+4}}\right)$$
$$>$$
$$cf_0\cdot\left(\frac{1}{(1+r_{t+1})^{t+1}}-\frac{1}{(1+r_{t+3})^{t+3}}\right)+cf_1\cdot\left(\frac{1}{(1+r_{t+2})^{t+2}}-\frac{1}{(1+r_{t+4})^{t+4}}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad cf_2\cdot\frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})}\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})}\right)+cf_3\cdot\frac{1}{(1+r_{t+1,t+3})^2}\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+3,t+4})}\right)$$
$$>$$
$$cf_0\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+1,t+3})^2}\right)+cf_1\cdot\frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})}\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+2,t+4})^2}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad cf_2\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})}\right)+cf_3\cdot\frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})}\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+3,t+4})}\right)$$
$$>$$
$$cf_0\cdot(1+r_{t+1,t+2})\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+1,t+3})^2}\right)+cf_1\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+2,t+4})^2}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad cf_2\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})}\right)+cf_3\cdot\frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})}\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+3,t+4})}\right)$$
$$>$$
$$cf_0\cdot(1+r_{t+1,t+2})\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+1,t+2})\cdot(1+r_{t+2,t+3})}\right)$$
$$+cf_1\cdot\left(1-\frac{1}{(1+r_{t+2,t+3})\cdot(1+r_{t+3,t+4})}\right)$$

Literatur

ADAM, D./SCHLÜCHTERMANN, J./HERING, T. (1994): Zur Verwendung marktzinsorientierter Kalkulationszinsfüße in der Investitionsrechnung - Kritische Stellungnahme zum Beitrag „Marktzinsorientierte Investitionsrechnung“, von B. Rolfes *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 64, S. 115-119.

ADAM, D./SCHLÜCHTERMANN, J./UTZEL, C. (1993): Zur Eignung der Marktzinsmethode für Investitionsentscheidungen, *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Jg. 45, S. 3-18.

ADAM, D. (2000), Investitionscontrolling, 3. Auflage, München: Oldenbourg.

BUCHNER, R. (1967): Das Problem des zieladäquaten Entscheidungskriteriums bei Bestimmung der optimalen Nutzungsdauer, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 37, S. 244-267.

BUCHNER, R. (1980): Anmerkungen zur Darstellung des sogenannten „Ketteneffektes“ im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Investitionstheorie, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 50, S. 33-46.

BUCHNER, R. (1982): Zu „Der Ketteneffekt bei Investitionsentscheidungen in wachsenden und in schrumpfenden Unternehmen“ - Eine Erwiderung, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 52, S. 501-502.

HARTMANN-WENDELS, T./GUMM-HEUSSEN, M. (1994): Zur Diskussion um die Marktzinsmethode: Viel Lärm um Nichts?, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 64, S. 1285-1301.

HERING, T. (1995): Investitionstheorie aus der Sicht des Zinses, Wiesbaden: DUV.

JOHANNWILLE, U. (2000): Arbitragefreie Bewertung unternehmerischer Investitionsprojekte, Lohmar: Josef Eul Verlag.

KRUSCHWITZ, L. (2000): Investitionsrechnung, 8. Auflage, München: Oldenbourg.

KRUSCHWITZ, L./RÖHRS, M. (1994): Debreu, Arrow und die marktzinsorientierte Investitionsrechnung, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 64, S. 655-665.

LUTZ, F.A./LUTZ, V. (1951): The Theory of the Firm, Princeton: Princeton University Press.

PREINREICH, G. A. D. (1940): The Economic Life of Industrial Equipment, *Econometrica*, Jg. 8, S. 12-44.

PREINREICH, G. A. D. (1953): Replacement in the Theory of the Firm, *Metroeconomica*, Jg. 5, S. 68-86.

ROLFES, B. (1992): Moderne Investitionsrechnung, München: Oldenbourg.

ROLFES, B. (1993): Marktzinsorientierte Investitionsrechnung, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 63, S. 691-713.

ROLFES, B. (1994a): Marktzinsorientierte Investitionsrechnung - Replik zur Stellungnahme von Dietrich Adam, Jörg Schlüchtermann und Thomas Hering, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 64, S. 121-125.

ROLFES, B. (1994b): Die Marktzinsmethode in der Investitionsrechnung - Stellungnahme zu den Anmerkungen von Prof. Dr. Lutz Kruschwitz und Dr. Michael Röhrs, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 64, S. 667-671.

SCHNEIDER, D. (1975): Investition und Finanzierung, 4. Auflage, Köln: Westdeutscher Verlag.

SCHNEIDER, D. (1992): Investition, Finanzierung und Besteuerung, 7. Auflage, Wiesbaden: Gabler.

WILHELM, J./BRÜNING, L. (1992): Die Fristigkeit der Zinssätze: Theoretisches Konzept und empirische Evaluierung, *Kredit und Kapital*, Jg. 25, S. 259-294.

ZECHNER, J. (1981): Der Ketteneffekt bei Investitionsentscheidungen in wachsenden und in schrumpfenden Unternehmen, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 51, S. 559-572.

ZECHNER, J. (1982): Zu „Der Ketteneffekt bei Investitionsentscheidungen in wachsenden und in schrumpfenden Unternehmen"- Eine Stellungnahme zur Erwiderung, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Jg. 52, S. 503-504.