Die Neue Investitionstheorie

Dipl.-Volksw. Thomas Beißinger und Prof. Dr. Joachim Möller, Regensburg

Das traditionelle Nettogegenwartswert-Kriterium ist als Investitionsregel irreführend, da es den Options-Charakter von Investitionsprojekten außer acht läßt. Die Neue Investitionstheorie analysiert den optimalen Investitionszeitpunkt bei Unsicherheit über die Ertragsentwicklung. Dies führt zu einer verbesserten Einsicht in das tatsächliche Verhalten von Investoren und ist deshalb auch von großer wirtschaftspolitischer Bedeutung.

Dr. Joachim Möller ist Professor für Volkswirtschaftslehre an der Universität Regensburg; Dipl.-Volksw. Thomas Beißinger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Regensburg. Bevorzugte Arbeitsgebiete der Autoren: Theoretische und empirische Makroökonomik, Arbeitsmarktforschung und Regionalökonomik.

1. Problemstellung

In diesem Beitrag soll das Investitionsverhalten von Unternehmen unter Unsicherheit eingehender untersucht werden. Ein wichtiger Aspekt dieser Analyse wird dabei die Frage sein, wie hoch die Erträge relativ zu den mit einer Investition verbundenen Kosten sein müssen, damit die Investition von einer Unternehmung getätigt wird. Entsprechend der **Nettogegenwartswert-Regel** sollte eine Investition durchgeführt werden, wenn der Gegenwartswert der aus dem Projekt entstehenden Nettoertragszuflüsse die Installationskosten der Investition übersteigt. In neueren theoretischen Ansätzen wird jedoch gezeigt, daß diese Empfehlung zu Fehlentscheidungen führen kann. Gründe für die Unzulänglichkeit der Nettogegenwartswert-Regel sind darin zu sehen, daß drei wesentliche Aspekte realer Investitionsentscheidungen nicht ausreichend berücksichtigt werden:

(1) Bei Investitionsentscheidungen handelt es sich um **Entscheidungen unter Unsicherheit.**

(2) Investitionen sind im Regelfall irreversibel. Die Investitionsausgaben stellen daher **verlorene Kosten** (sunk costs) dar.

(3) Die Durchführung eines Investitionsprojekts ist in der Regel nicht an einen festen Zeitpunkt gebunden. Ein **Aufschub der Investitionsentscheidung** kann dazu dienen, weitere Informationen über die zu erwartende Ertrags- und Kostenentwicklung zu erhalten.

Die angesprochene zeitliche Flexibilität besitzt für den Investor einen gewissen Wert, da im Falle einer ungünstigen Ertragsentwicklung auf die Investition verzichtet werden kann, ohne daß bereits verlorene Kosten angefallen sind. Der **Wert der Flexibilität** muß natürlich gegen die Ertragseinbuße aufgerechnet werden, die dadurch entsteht, daß die Investition nicht sofort vorgenommen wird.

2. Die Entscheidung zwischen zwei Investitionszeitpunkten

Die Vorteile, die aus einem Aufschub von Investitionsprojekten resultieren können, sollen zunächst an einem einfachen Beispiel verdeutlicht werden. Eine risikoneutrale Firma stehe in Periode $t = 0$ vor der Entscheidung, ob sie eine Fabrik zur Erzeugung des Gutes X errichten soll, wobei eine Investition (verlorene) Kosten in Höhe von I verursachen würde. Zur Vereinfachung wird angenommen, daß nach dem Bau der Fabrik pro Periode genau eine Mengeneinheit des Gutes produziert und verkauft werden kann, wobei laufende Kosten zu vernachlässigen sind. Der mit p_0 bezeichnete Preis von X in der Ausgangsperiode ist bekannt. Die Firma verfügt über die Information, daß der Preis in der Folgeperiode mit Wahrscheinlichkeit q einen Wert p_1^+ erreicht und mit der Gegenwahrscheinlichkeit $1-q$ einen niedrigeren Wert p_1^-. Für alle weiteren Perioden wird erwartet, daß der Preis auf dem Stand der Periode $t = 1$ verharrt.

Die Frage ist nun, in welchen Fällen die Investition trotz der bestehenden Unsicherheit bereits in Periode $t = 0$ durchgeführt werden sollte, und in welchen Fällen sich ein Hinausschieben der Investitionsentscheidung auf die Folgeperiode als vorteilhafter erweist. Dabei empfiehlt es sich, die Analyse des skizzierten Entscheidungsproblems mit den Handlungsmöglichkeiten der Firma in Periode $t = 1$ zu beginnen. Ein über die Periode $t = 1$ hinausgehendes Abwarten ist aufgrund der getroffenen Annahmen nicht sinnvoll, weil hierdurch keine zusätzliche Information mehr gewonnen werden kann. Einem rational agierenden Investor stehen somit in Periode $t = 1$ nur zwei Alternativen offen, die Investition in dieser Periode oder der endgültige Verzicht auf das Projekt. In einer solchen „Jetzt-oder-nie"-Lage (und nur dann!) kann die Entscheidung nach der herkömmlichen Nettogegenwartswert-Regel getroffen werden. Da nach Ablauf der Periode $t = 1$ keine Preisänderung mehr zu erwarten ist, hängt der auf die Periode t = 1 bezogene **Gegenwartswert der Investitionserträge** V_1 nur vom Preis des Gutes p_1 und vom Zinssatz r ab

$$V_1(p_1) = \sum_{s=0}^{\infty} \frac{p_1}{(1+r)^s}. \tag{1}$$

Mit Hilfe der bekannten Summenformel für unendliche geometrische Reihen läßt sich schreiben

$$V_1(p_1) = \frac{p_1}{1-(1+r)^{-1}} = \frac{1+r}{r} p_1. \tag{2}$$

Offensichtlich ist der Gegenwartswert der Investitionserträge um so größer, je höher der Preis p_1 und je niedriger der Zinssatz ist. Eine Investition rentiert sich, wenn $V_1(p_1)$ die Kosten der Investition übersteigt oder, anders ausgedrückt, wenn der **Nettogegenwartswert eines durchgeführten Projekts** $V_1(p_1) - I$ positiv ist. Es empfiehlt sich, zwischen dieser Größe und dem mit F_1 bezeichneten **Wert der Investitionsgelegenheit** in Periode t = 1 zu unterscheiden. Da ein Investor normalerweise nicht zu einer Investitionsentscheidung gezwungen werden kann, unterbleibt die Investition im Fall $V_1(p_1) - I < 0$. Der Wert der Investitionsgelegenheit entspricht dem Nettogegenwartswert eines durchgeführten Projekts also nur, wenn letzterer nicht negativ ist, und nimmt sonst den Wert Null an:

$$F_1(p_1) = \max[V_1(p_1) - I, 0]. \tag{3}$$

Es seien nun definiert $V_1^+ := V_1(p_1^+)$ sowie $V_1^- := V_1(p_1^-)$ und F_1^+ sowie F_1^- entsprechend. Wir nehmen an, daß sich die Investition bei einem Preis von p_1^+ rentiere, zum Preis von p_1^- hingegen nicht. Tritt die günstige Situation ein, so beträgt der Wert der Investitionsgelegenheit $F_1^+ = V_1^+ - I > 0$. Bei dem Preis p_1^- gilt hingegen $V_1^- - I < 0$ und somit für den Wert der Investitionsgelegenheit $F_1^- = 0$.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen für die Periode t = 1 sei nun das Entscheidungsproblem in Periode t = 0 analysiert. In Periode t = 0 steht der Investor vor der Wahl, das Investitionsprojekt entweder sofort in Angriff zu nehmen oder die Entscheidung auf die Folgeperiode zu vertagen. Diese Entscheidung ist unter Unsicherheit bezüglich der Preisentwicklung in Periode t = 1 zu treffen. In Betracht zu ziehen ist einerseits der erwartete Gegenwartswert einer in Periode t = 0 durchgeführten Investition $V_0^e - I$ und andererseits der erwartete Wert der Investitionsgelegenheit F_1^e, wobei letzterer um eine Periode abgezinst werden muß, um Vergleichbarkeit herzustellen. Der **erwartete Wert der Investitionsgelegenheit** in Periode t = 0 ist der Wert der günstigsten Alternative

$$F_0^e = \max\left[V_0^e - I, \frac{F_1^e}{1+r}\right]. \tag{4}$$

Die beiden Ausdrücke in der eckigen Klammer in Gleichung (4) sind nun noch näher zu bestimmen. Hierzu sei der Erwartungswert für den Preis in der Periode t = 1 definiert als $p_1^e := q\,p_1^+ + (1-q)\,p_1^-$ sowie V_1^e und F_1^e analog. Somit läßt sich $V_0^e - I$ schreiben als

$$V_0^e - I = p_0 + \frac{V_1^e}{1+r} - I = p_0 + \frac{p_1^e}{r} - I. \tag{5}$$

Der Ausdruck auf der rechten Seite resultiert dabei unter Zuhilfenahme von Gleichung (2).

Wegen $F_1^- = 0$ ergibt sich für den erwarteten Wert der Investitionsgelegenheit in Periode t = 1 der Ausdruck $F_1^e = q(V_1^+ - I)$. Man erhält dann

$$\frac{F_1^e}{1+r} = q\left(\frac{V_1^+ - I}{1+r}\right). \tag{6}$$

Damit ist der erwartete Wert der Investitionsgelegenheit in der Ausgangsperiode F_0^e entsprechend Gleichung (4) vollständig berechenbar. Es kann nun auch eine Regel für die optimale Investitionsentscheidung angegeben werden, die sich von der bekannten Nettogegenwartswert-Regel unterscheidet, derzufolge eine Investition durchgeführt werden sollte, wenn $V_0^e - I \geq 0$. Das Manko dieser herkömmlichen Regel liegt darin, daß sie nur die direkten Kosten der Investition betrachtet, die als Ausgaben für Investitionsgüter (Maschinen etc.) anfallen. Aufgrund der Tatsache, daß die Durchführung eines Projekts ein irreversibler Vorgang ist, werden jedoch auch indirekte Kosten verursacht. Mit dem Entschluß, die Investition vorzunehmen, vergibt der Investor die Möglichkeit, die Investitionsentscheidung später zu treffen und somit veränderten Daten in der Zukunft (z.B. veränderten Preisen) besser anpassen zu können. Die durch die Berücksichtigung eines solchen Flexibilitätsverlusts **modifizierte Regel für das optimale Investitionsverhalten** kann für dieses Beispiel wie folgt formuliert werden: Investiere in Periode t = 0, wenn der erwartete Nettogegenwartswert eines in der Ausgangsperiode durchgeführten Projekts $V_0^e - I$ den abdiskontierten erwarteten Wert der Investitionsgelegenheit in der Folgeperiode $F_1^e/(1 + r)$ übersteigt, und verschiebe andernfalls die Investitionsentscheidung auf die Periode t = 1. Sofern $0 < V_0^e - I < F_1^e/(1 + r)$ gilt, führt diese Regel zu einem anderen Investitionsverhalten als die traditionelle Nettogegenwartswert-Regel, die in diesem Fall eine offensichtlich suboptimale Empfehlung gibt.

Die Frage ist natürlich, unter welchen Umständen die letztgenannte Ertragskonstellation auftreten kann. Durch die einfache Erweiterung $I = qI + (1-q)I$, Einsetzen für den Erwartungswert V_1^e sowie eine Neuanordnung der Terme erhält man aus Gleichung (5) die Beziehung

$$V_0^e - I = q\left(\frac{V_1^+ - I}{1+r}\right) + \left(p_0 - \frac{rI}{1+r}\right) + (1-q)\left(\frac{V_1^- - I}{1+r}\right). \tag{7}$$

Der Vergleich von (6) mit (7) macht deutlich, daß der erste Term in beiden Gleichungen übereinstimmt. Die unterschiedlichen Konsequenzen einer sofortigen Investition im Gegensatz zu einem Investitionsaufschub zeigen sich deshalb im zweiten und dritten Term von Gleichung (7). Durch die sofortige Investition kann ein zusätzlicher Ertrag in Höhe p_0 erzielt werden, auf den bei einer Verlagerung der Investition auf t = 1 natürlich verzichtet wird.

Bei einer sofortigen Investition fallen aber auch die Installationskosten bereits in $t = 0$ an und sind daher gerade um den Ausdruck $r \cdot I/(1 + r)$ höher als bei einer Investition in $t = 1$. Der zweite Term in Gleichung (7) gibt somit den bei sofortiger Investition zusätzlich erzielbaren Nettoertrag an, auf den bei einem Investitionsaufschub verzichtet wird. Der dritte Term ist annahmegemäß negativ. Dieser Term gibt die Kosten an, die aus dem Flexibilitätsverlust bei sofortiger Investition resultieren. Worin besteht dieser Flexibilitätsverlust? Eine sofortige Investition birgt ein Verlustpotential für den Fall, daß in $t = 1$ die ungünstige Situation mit einem Nettogegen-wartswert $V_1^- - I$ eintritt. Dieser Verlust, der mit Wahrscheinlichkeit $(1 - q)$ eintritt, kann durch Abwarten vermieden werden. Solange diese Kosten höher anzusetzen sind als der Ertragsausfall aufgrund einer Verlagerung der Investitionsentscheidung, wird durch eine abwartende Haltung ein Gewinnzuwachs realisiert. Dieser **Wert des Wartens** beläuft sich auf

$$W = \frac{F_1^e}{1+r} - \left(V_0^e - I\right) = -(1-q)\left(\frac{V_1^- - I}{1+r}\right) - \left(p_0 - \frac{rI}{1+r}\right), \tag{8}$$

sofern dieser Ausdruck positiv ist. Im umgekehrten Fall beschreibt Gleichung (8) den Verlust, der aus einem Aufschub der Investition resultiert.

Nun sei der Fall betrachtet, in dem bei konstantem Erwartungswert p_1^e die Streuung der Preise um den Erwartungswert und damit die Unsicherheit über die Investitionserträge zunimmt. In diesem Fall bleibt $V_0^e - I$ unverändert, da der höhere Ertrag p_1^+ in der günstigen Situation annahmegemäß durch den niedrigeren Ertrag im anderen Fall aufgewogen wird. Der Ausdruck $F_1^e/(1 + r)$ hängt gemäß Gleichung (6) dagegen nur von V_1^+ und somit auch nur von p_1^+ ab. Erhöht sich die Streuung um p_1, so eröffnet sich bei der Investition in $t = 1$ in der günstigen Situation ein höheres Gewinnpotential, während man in der Situation p_1^- (nach wie vor) von der Investition absieht, so daß das höhere Verlustpotential nicht ins Gewicht fällt. Der Wert der Investitionsgelegenheit in $t = 1$ und somit auch der Wert des Wartens werden größer.

3. Investitionsentscheidung und Optionspreismethode

In der Literatur (siehe etwa *Pindyck*, 1991) ist auf die enge Verwandtschaft des Investitionsproblems unter Unsicherheit mit dem aus der Finanzmarkttheorie bekannten Problem der Optionsbewertung hingewiesen worden. Wenn die Installationskosten den Charakter von verlorenen Kosten tragen, besteht eine Analogie zwischen der Investitionsgelegenheit und dem Halten einer **amerikanischen Call-Option** auf Wertpapiere. Eine solche Option berechtigt ihren Inhaber während eines genau umrissenen Zeitraums, der **Optionsfrist**, eine bestimmte Anzahl von Wertpapieren zu einem vorab festgelegten Kurs, dem sogenannten **Ausübungspreis**, zu kaufen. Der Verkäufer der Option (**Stillhalter**) erhält eine Ausgleichszahlung in Form des Optionspreises. Im Rahmen der Optionspreistheorie wird gezeigt, wie der **Wert einer Option** und der **optimale Ausübungszeitpunkt** zu berechnen sind. Die Differenz zwischen dem Kurswert des Wertpapiers und dem Ausübungspreis bezeichnet man als **inneren Wert der Option**. Eine Regel, die besagt „übe die Option aus, wenn der innere Wert positiv ist", entspräche der herkömmlichen Nettogegenwartswert-Regel beim Investitionsproblem, wäre jedoch genausowenig korrekt. Wird nur der innere Wert einer Option berücksichtigt, so vernachlässigt man den sogenannten **Zeitwert der Option**, der positiv ist, wenn durch Abwarten im Mittel ein höherer Gewinn realisiert werden kann. Die Möglichkeit hierfür ist durch die für eine Option typische Asymmetrie gegeben: Falls das Wertpapier weitere Kurssteigerungen erfährt, kann durch spätere Optionsausübung ein entsprechender Gewinnzuwachs realisiert werden. Diesem Gewinnzuwachs steht im umgekehrten Fall kein entsprechendes Verlustpotential gegenüber, da man bei einem Kursverfall die Option nicht ausüben muß. Der Gesamtwert einer Option ist die Summe aus innerem Wert und Zeitwert. Da durch das Ausüben einer Option Opportunitätskosten in Höhe ihres Gesamtwertes zu kalkulieren sind (die Option geht ja durch Ausüben verloren), andererseits als Ertrag nur ihr innerer Wert realisiert werden kann, folgt unmittelbar, daß die Option erst dann ausgeübt werden sollte, wenn ihr Zeitwert auf Null gesunken ist. *Abb. 1* verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Neuen Investitionstheorie und der Optionspreistheorie durch eine Gegenüberstellung der jeweils verwendeten Begriffe.

Eine zu den Ausführungen im vorherigen Abschnitt äquivalente Formulierung der optimalen Investitionsregel ist somit: „Investiere erst dann, wenn der Zeitwert der Investitionsoption Null ist." Mit anderen Worten: Der erwartete Gegenwartswert der Erträge aus dem Projekt V_0^e muß die **Vollkosten der Investition** abdecken, die sich aus den direkten Kosten I und den **Opportunitätskosten durch den Verlust der Investitionsoption** in Höhe von F_0^e zusammensetzen. Im Fall $V_0^e < I + F_0^e$ werden die Vollkosten nicht erreicht, d.h. der optimale Investitionszeitpunkt ist noch nicht gekommen. Man beachte, daß diese Bedingung wegen Gleichung (4) impliziert, daß $F_0^e = F_1^e/(1 + r) > V_0^e - I$, so daß die hier angegebene Entscheidungsregel in der Tat mit der Regel aus Ab-

Neue Investitionstheorie	Optionspreistheorie
Wert der Investitionsgelegenheit (F)	Wert der Call-Option
Gegenwartswert eines durchgeführten Projekts ($V_0^e - I$)	Innerer Wert
Installationskosten (I)	Ausübungspreis
optimaler Investitionszeitpunkt	optimaler Ausübungszeitpunkt
Wert des Wartens (W)	Zeitwert

Abb. 1: Gegenüberstellung zentraler Begriffe aus der Neuen Investitionstheorie und der Optionspreistheorie

schnitt 2 übereinstimmt. Die Tatsache, daß sich die Investitionsentscheidung als Problem der optimalen Optionsausübung interpretieren läßt, bietet den großen Vorteil, daß die Investitionstheorie nicht neu entwickelt werden muß, sondern vertraute Methoden aus der Optionspreistheorie herangezogen werden können. Die Grundidee besteht für unser Zweiperioden-Beispiel darin, ein Portfolio zu konstruieren, dessen Wert für $t = 0$ bekannt ist und das in jedem Umweltzustand in $t = 1$ mit dem jeweiligen Optionswert F_1^+ bzw. F_1^- übereinstimmt. Da **keine risikolosen Arbitragemöglichkeiten** bestehen sollen, muß die Option in $t = 0$ den gleichen Wert wie das **äquivalente Portfolio** aufweisen.

4. Ein Investitionsmodell mit offenem Zeithorizont

Das bisher besprochene Beispiel ging von der Annahme aus, daß zwar aus Sicht der Periode $t = 0$ Unsicherheit über den Preis des erzeugten Gutes in $t = 1$ besteht, der Preis in allen Folgeperioden jedoch keinen weiteren Zufallseinflüssen unterliegt. Dadurch wurde der Entscheidungszeitraum auf zwei Perioden verengt, die Analyse somit erheblich vereinfacht, allerdings auf Kosten des Realitätsgehalts. In einem allgemeineren Ansatz, dem wir uns jetzt zuwenden wollen, ist von einem **offenen Zeithorizont** für die Inangriffnahme des Investitionsprojekts auszugehen. Weiterhin soll die einschränkende Annahme aufgehoben werden, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Preisvariable nur zwei Ausprägungen (p^+ und p^-) annehmen kann. Da laufende Kosten nach wie vor vernachlässigt werden, gibt p_t den in Periode t anfallenden Ertrag wieder.

Für eine nähere Analyse des allgemeineren Modells ist es unerläßlich, den Zufallsprozeß zu spezifizieren, der der Preis- bzw. Ertragsentwicklung zugrunde liegt. In der Literatur sind verschiedene Anforderungen diskutiert worden, die an einen solchen stochastischen Prozeß zu stellen sind. Es sollte

- die Unsicherheit mit der Länge des Prognosezeitraums zunehmen;
- die Realisation des Prozesses in der laufenden Periode die gesamte Vergangenheitsinformation enthalten;
- die Größe der Veränderungen sich relativ zu einem erreichten Niveau bemessen.

Diesen Anforderungen trägt ein spezieller stochastischer Prozeß Rechnung, die **geometrische Brownsche Bewegung**, mit der der Verlauf vieler ökonomischer Zeitreihen recht gut beschrieben werden kann.

Eine zentrale Eigenschaft der geometrischen *Brown*schen Bewegung ist, daß die Varianz und somit die Unsicherheit über zukünftige Erträge proportional mit der Zeit t wächst. Wird von einem Trend abgesehen, so läßt sich zeigen, daß der mit dem Informationsstand der Periode 0 gebildete Erwartungswert der Variablen für Periode $t > 0$

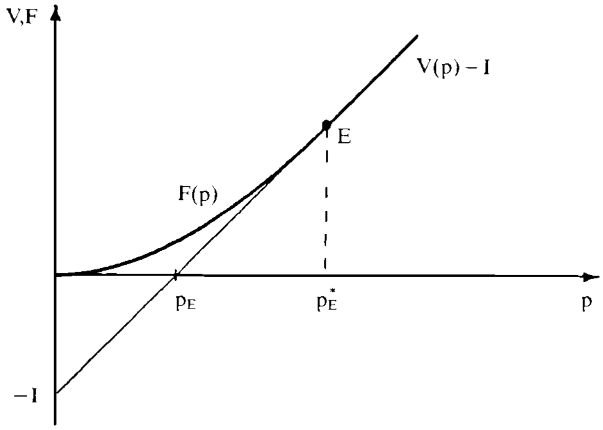

Abb. 2: Optimales Investitionsverhalten in Abhängigkeit vom Ertrag

gleich der Realisation der Variablen in der Ausgangsperiode ist, $E_0 p_t = p_0$, d.h. der Ausgangswert bietet auch die beste Prognose für die weitere Entwicklung der Zufallsvariablen. Ausgehend von einem gegebenen Stand ist ein Anstieg der Erträge genauso wahrscheinlich wie ihr Fallen.

Bei einer Diskontrate r und einem erwarteten Ertrag p_0 beträgt der Gegenwartswert eines Investitionsprojekts

$$V(p_0) = \int_0^\infty E_0 p_t e^{-rt} dt = \int_0^\infty p_0 e^{-rt} dt = \frac{p_0}{r}. \qquad (9)$$

Belaufen sich die Installationskosten auf I Geldeinheiten, so würde die traditionelle Investitionsregel empfehlen, das Investitionsprojekt durchzuführen, sobald $V_0 - I > 0$, bzw. $p_0 > r \cdot I := p_E$. Die Größe p_E gibt dabei die herkömmliche Ertragsschwelle an, d.h. den kritischen Ertragswert, bei dessen Überschreiten entsprechend der Nettogegenwartswert-Regel investiert werden sollte.

In der *Abb. 2* bezeichnet die Kurve $V(p) - I = p/r - I$ den Wert eines durchgeführten Investitionsprojekts. Wie läßt sich der Wert der Investitionsgelegenheit im herkömmlichen „Jetzt-oder-nie"-Ansatz bestimmen? Offenbar besitzt die „Option" keinen Wert, sofern p kleiner als p_E ist, und entspricht für $p > p_E$ dem Wert der durchgeführten Investition. Die „Optionswertkurve" (sofern man unter diesen einschränkenden Annahmen davon sprechen kann) fiele also bis zum Punkt p_E mit der Abszisse und dann mit dem Graph der Funktion $V(p) - I$ zusammen.

Welche konkrete Gestalt besitzt jedoch die **Optionswertkurve F(p) bei freier Wahl des Investitionszeitpunkts**? Man kann diese Kurve durch ein Optimierungskalkül des Investors bestimmen, wenn der Zufallsprozeß für die Erträge spezifiziert ist. Da die Berechnung mathematisch aufwendig ist, werden wir eine intuitive Lösung beschreiben. Je höher ein Investor die Eintrittsschwelle wählt, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein realisiertes Projekt aufgrund sich verschlechternder Ertragsentwicklung in die Verlustzone gerät. Eine zu hoch angesetzte Eintrittsschwelle hat aber eine niedrige Aussicht auf Realisierung und impliziert hohe Opportunitätskosten in Form entgangener Erträge. Ein rationaler Investor wird Kosten und Erträge weiteren Wartens abwägen und eine **optimale Eintrittsschwelle** $p_E^* > p_E$ festlegen. Wie bereits im Modell mit nur zwei Investitionszeitpunkten demonstriert wurde, erhöht sich durch eine derartige **optimale Investitionsstrategie** der erwartete Gegenwartswert des Investitionsprojekts. Selbst wenn der Ertrag noch unter der Eintrittsschwelle p_E^* liegt, antizipiert der rationale Investor, daß der Ertrag mit bestimmter Wahrscheinlichkeit in der Zukunft über p_E^* steigen wird. Da bei einem dann vorgenommenen Einstieg aufgrund der **Reduktion des Verlustrisikos** ein höherer Gegenwartswert realisiert werden kann, besitzt die Investitionsgelegenheit bereits im Zustand des Wartens einen höheren Wert, als sie nach der herkömmlichen Investitionsregel aufweisen würde. Die Optionswertkurve F(p) liegt daher für alle Erträge $0 < p < p_E^*$ über dem abgeknickten Linienzug, der den Wert der Investitionsgelegenheit im „Jetzt-oder-nie"-Ansatz beschreibt.

Bewegt sich der aktuelle Ertrag in der Nähe von Null, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß der Prozeß in absehbarer Zukunft die Eintrittsschwelle p_E^* übersteigt, sehr gering. Entsprechend ist der Optionswert klein. Mit steigendem p erhöht sich jedoch die Wahrscheinlichkeit einer baldigen Optionsausübung und somit auch der Optionswert. Interessant ist der Optionswert an der Stelle $p = p_E$, also an der herkömmlichen Investitionsschwelle. Bei diesem Ertrag ist der innere Wert der Investitionsgelegenheit Null; $F(p_E)$ gibt also den **Zeitwert der Option** an dieser Stelle an. Für hohe Erträge erscheint die Wahrscheinlichkeit gering, daß die Erträge wieder in die Verlustzone zurückfallen könnten. Der Zeitwert der Investitionsgelegenheit nimmt deshalb bei über p_E hinaus steigenden Erträgen kontinuierlich ab und wird an der Stelle $p = p_E^*$ schließlich Null. Da es rational ist, die Investition bei dieser Ertragslage zu realisieren, fällt die Optionswertkurve rechts von p_E^* mit dem Graphen für den Wert der durchgeführten Investition zusammen.

Eine besondere Eigenschaft der Optionswertkurve F(p) ist, daß sie an der Stelle $p = p_E^*$ die gleiche Steigung aufweist wie der Graph der Funktion V(p) − I. An dieser Stelle besitzt also eine kleine Ertragsänderung den gleichen Einfluß auf die Optionsbewertung wie auf die Bewertung eines laufenden Projekts. Diese für die Lösung des Investitionsproblems unter Unsicherheit entscheidende Tangentialbedingung wird in der englischsprachigen Literatur als **smooth pasting condition** bezeichnet (siehe z.B. *Dixit*, 1992). In der Optionspreistheorie kann diese mit dem Ausschluß von Arbitragemöglichkeiten begründet werden.

5. Einstieg und Ausstieg

Im bisherigen Modell wurde von laufenden Kosten abgesehen. Da die Nettoerträge in diesem Fall nicht negativ werden können, besteht für einen rationalen Investor kein Anreiz, ein bereits realisiertes Projekt jemals wieder aufzugeben. Dies ändert sich jedoch, wenn mit der Produktion auch laufende Kosten c verbunden sind, die zur Vereinfachung hier konstant gesetzt werden. Für eine aktive Unternehmung stellt sich bei einer schlechten Ertragsentwicklung dann die Frage, ob ein Ausstieg aus dem Projekt erfolgen soll oder nicht. Die herkömmliche Empfehlung besagt in dieser Situation: „Schließe die Produktionsstätte, wenn nicht einmal mehr die laufenden Kosten c gedeckt sind." Diese Regel wäre korrekt, wenn sich die Anlage kostenlos stillegen und wieder in Betrieb nehmen ließe oder wenn man die sichere Information besäße, daß die Anlage niemals wieder rentabel arbeiten wird. Plausibler erscheint jedoch die Annahme, daß „Einmotten" teuer ist bzw. daß die Anlage bei Nicht-Gebrauch einem erhöhten Verschleiß ausgesetzt ist („rostet"). Aus Einfachheitsgründen sei unterstellt, daß die Anlage bei Stillegung komplett abgeschrieben werden muß, bei späterer Wiederaufnahme der Produktion also erneut Installationskosten in Höhe von I anfallen würden. Wenn nun ein Unternehmen auch bei sehr schlechter Ertragslage mit einer positiven Wahrscheinlichkeit eine ausreichende Erholung erwartet, ist die herkömmliche Regel nicht mehr korrekt. Sofern Liquiditätsrestriktionen ausgeschlossen werden, könnte das Unternehmen durchaus geneigt sein, vorübergehend auch operative Verluste in Kauf zu nehmen, um den sonst drohenden Kapitalverlust abzuwenden. Eine zum optimalen Einstieg weitgehend analoge Argumentation führt dazu, daß der kritische Ertragswert p_A^*, bei dem sich das Unternehmen zu einer Schließung der Anlage durchringt, unter der herkömmlichen Ausstiegsschwelle $p_A = c$ liegt.

Hierbei ist jedoch auf eine **Asymmetrie zwischen Einstieg und Ausstieg** hinzuweisen, die bereits bei der herkömmlichen Investitionsregel eine Rolle spielt. Die Anschaffungskosten einer Anlage sind zwar bei der Einstiegsentscheidung von Bedeutung, nicht jedoch bei der Entscheidung über den Ausstieg aus dem Projekt. Dies hängt mit ihrem Charakter als verlorene Kosten zusammen: einmal getätigt, spielen sie für weitere Entscheidungen keine Rolle mehr. Deshalb stellt auch die herkömmliche Investitionsregel ausschließlich auf die Deckung der laufenden Kosten ab, während die Kapitalkosten, die ja in jedem Fall getragen werden müssen, für den Ausstieg unerheblich sind.

Eine nähere Überlegung zeigt nun, daß Einstiegs- und Ausstiegsentscheidungen nicht unabhängig voneinander sind. In einem allgemeinen Modell muß also bei der Kalkulation des optimalen Investitionszeitpunkts die **Ausstiegsoption** mit berücksichtigt werden und bei der Festlegung des optimalen Stillegungszeitpunktes die **Option eines Wiedereinstiegs**. Dies führt auf ein simultanes mathematisches Optimierungsproblem, das hier nicht näher dargestellt werden soll. Die wesentlichen Eigenschaften der Lösung sind jedoch graphisch einfach zu vermitteln.

Wird von der Möglichkeit des Ausstiegs abgesehen, so beträgt der Gegenwartswert eines bereits realisierten Pro-

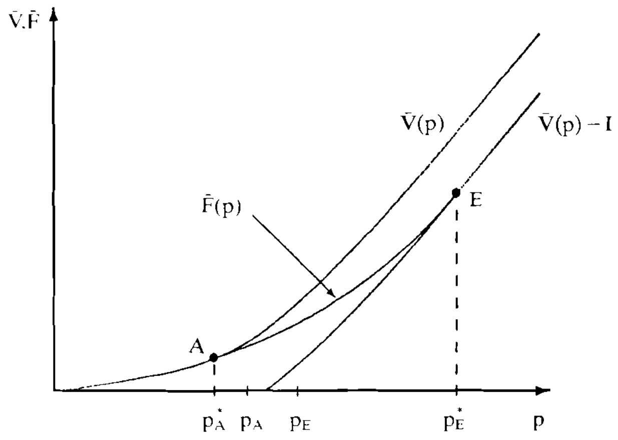

Abb. 3: Optimaler Ein- und Ausstieg

jekts V(p) = (p − c)/r. Ein rationaler Investor berücksichtigt aber, daß er bei ungünstiger Ertragsentwicklung über die Möglichkeit des Ausstiegs aus dem Projekt verfügt. Der **Wert eines aktiven Projekts** $\bar{V}(p)$ besteht für den rationalen Investor daher im **Gegenwartswert der Nettoerträge zuzüglich des Wertes der Ausstiegsoption**. Bei sehr hohen Erträgen kann die Ausstiegsoption als wertlos gelten, weil es unwahrscheinlich ist, daß die Erträge in absehbarer Zukunft in die Verlustzone sinken werden. Dies bedeutet, daß sich die Funktion $\bar{V}(p)$ für große p der Funktion V(p) annähert. Bei geringen Erträgen wird hingegen die Wahrscheinlichkeit groß, daß das Unternehmen von der Ausstiegsoption Gebrauch machen möchte. Ein hypothetischer Wegfall der Ausstiegsoption würde ja bedeuten, daß das Unternehmen im Fall sehr schlechter Ertragsentwicklung hohe Verluste machen müßte, ohne eine Vermeidungsmöglichkeit zu besitzen. Da die Ausstiegsoption also bei schlechter Ertragslage wertvoll wird, verläuft die Kurve $\bar{V}(p)$ in *Abb. 3* für geringe p zusehends flacher. Bei einem Einstieg in das Investitionsprojekt sind jedoch neben dem Wert des aktiven Projekts $\bar{V}(p)$ auch die Installationskosten I zu berücksichtigen. Für den Einstieg ist daher die Kurve $\bar{V}(p)$ − I die relevante „Ertragskurve".

Ein Einstieg in das Investitionsprojekt lohnt sich natürlich nur, wenn der Nettogegenwartswert des aktiven Projekts $\bar{V}(p)$ − I den Wert der Investitionsoption $\bar{F}(p)$ übersteigt. Zur Unterscheidung von F wird der Optionswert hier mit $\bar{F}$ bezeichnet, um deutlich zu machen, daß sich der Wert der Investitionsgelegenheit durch die explizite Berücksichtigung der Ausstiegsmöglichkeit verändert. Da $\bar{F}(p)$ den Wert der Investitionsgelegenheit angibt, wenn das Projekt nicht in Betrieb ist, kann diese Größe auch als Wert des ruhenden Projekts interpretiert werden.

Mit Hilfe dieser einführenden Erläuterungen können nun Ein- und Ausstiegsentscheidungen anhand von *Abb. 3* wie folgt charakterisiert werden: Ausgehend von einem inaktiven Zustand wird von einer Inbetriebnahme abgesehen, solange $p < p_E^*$ gilt. In diesem Bereich ist nämlich der Wert der Einstiegsoption, bzw. des ruhenden Projekts, $\bar{F}(p)$ höher als $\bar{V}(p)$ − I. Überschreitet p jedoch p_E^*, so tätigt das Unternehmen die Installationskosten und steigt in den Markt ein. Ist die Anlage erst einmal in Betrieb, so spielen die Kosten I für eine mögliche Ausstiegsentscheidung keine Rolle mehr, da sie verlorene Kosten darstellen. Für das aktive Unternehmen wird deshalb die Kurve $\bar{V}(p)$ relevant. Eine Revision der Markteintrittsentscheidung empfiehlt sich erst dann, wenn der Preis unter p_A^* sinkt. In diesem Bereich ist der Wert des ruhenden Projekts höher als der Wert des aktiven Projekts, so daß die Ausstiegsoption ausgeübt wird.

Zum Vergleich sind in *Abb. 3* zusätzlich die Ein- und Ausstiegsschwellen p_E und p_A der herkömmlichen Investitionsregel mit angegeben. Der Bereich, in dem inaktive und aktive Firmen jeweils im Status Quo verharren, ist nach der herkömmlichen Investitionstheorie somit deutlich kleiner als bei Berücksichtigung des Options-Charakters von Ein- und Ausstiegsentscheidungen.

Literatur

Einen Einstieg in die Thematik bietet *Dixit* (1992). Dieser Beitrag stellt besonders heraus, daß sich die Neue Investitionstheorie zur Erklärung von Hysteresis-Phänomenen im Konjunkturablauf eignet. Auch Auswirkungen auf die Analyse von Konkurrenzmarktgleichgewichten werden diskutiert. Für die formale Darstellung sollte man jedoch besser auf *Dixit* (1989, 1993) zurückgreifen, da der Appendix von *Dixit* (1992) nicht fehlerfrei ist. *Pindyck* (1991) gibt einen umfangreichen, formal allerdings anspruchsvollen Überblick über die Neue Investitionstheorie und arbeitet die Zusammenhänge zur Optionspreistheorie klar heraus. Eine Einführung in die Optionspreistheorie, die auch eine Erläuterung der geometrischen *Brown*schen Bewegung beinhaltet, findet sich z.B. bei *Hull* (1989).

Dixit, A., Entry and Exit Decisions under Uncertainty, in: Journal of Political Economy, Vol. 97 (1989), S. 620–638.

Dixit, A., Investment and Hysteresis, in: Journal of Economic Perspectives, Vol. 6 (1992), S. 107–132.

Dixit, A., The Art of Smooth Pasting, Chur 1993.

Hull, J.C., Options, Futures and Other Derivative Securities, Englewood Cliffs, N.J. 1989.

Pindyck, R.S., Irreversibility, Uncertainty, and Investment, in: Journal of Economic Literature, Vol. 29 (1991), S. 1110–1148.