



**Die Bewertung  
von Umweltschutztechnologien  
aus Sicht der Investitionsrechnung**

*Indre Pohl*

Dezember 1998

Nr. 84

**Diskussionspapiere**  
*Discussion Papers*

Abteilung: Strukturwandel

*Indre Pohl (ipl@iwh.uni-halle.de)*

Telefon: (0345) 77 53 709

Diskussionspapiere stehen in der alleinigen Verantwortung der jeweiligen Autoren. Die darin vertretenen Auffassungen stellen keine Meinungsäußerung des IWH dar.

INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG HALLE (IWH)

Hausanschrift: Delitzscher Straße 118, 06116 Halle

Postanschrift: Postfach 16 02 07, 06038 Halle

Telefon: (0345) 77 53-60

Fax: (0345) 77 53-8 25

Internet: <http://www.iwh.uni-halle.de>

## Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung	4
2. Das Unternehmen und seine Umwelt	5
2.1 Das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung	5
2.2 Ökologische Anspruchsgruppen	6
3. Umweltschutztechnologien	7
3.1 Integrierte versus additive Umweltschutztechnologien	7
3.2 Ökonomische Effekte von Umweltschutztechnologien	8
3.3 Ökologische Effekte von Umweltschutztechnologien	9
3.4 Sonstige Effekte von Umweltschutztechnologien	9
4. Analyse der Investitionsentscheidung	10
4.1 Bei integrierten Umweltschutztechnologien	10
4.1.1 Ausgangssituation	10
4.1.2 Berücksichtigung zukünftiger Umweltschutzinnovationen	14
4.1.3 Berücksichtigung zahlungswirksamer Parameter	16
4.1.4 Berücksichtigung von Umweltschutzauflagen	19
4.2 Bei additiven Umweltschutztechnologien	20
4.2.1 Ausgangssituation	20
4.2.2 Berücksichtigung zukünftiger Umweltschutzinnovationen	21
4.2.3 Berücksichtigung zahlungswirksamer Parameter	21
4.2.4 Berücksichtigung von Umweltschutzauflagen	22
4.3 Vergleich der Wirkung bei integrierten und additiven Umweltschutztechnologien	23
5. Schlußbemerkung	26
Literaturverzeichnis	27

## 1. Problemstellung

Unternehmen werden zunehmend mit der Umweltschutzproblematik konfrontiert. Dies gilt besonders seitdem das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung intensiv diskutiert wird. Begleitet von einem langfristig orientierten gesellschaftlichen Wertewandel<sup>1</sup> werden die Unternehmen daher vor die Aufgabe gestellt, den Umweltaspekt in die unternehmerischen Aktivitäten zu integrieren. Da sich Umweltschutz als Querschnittsfunktion erwiesen hat, findet er Eingang in die verschiedenen Funktionsbereiche der Unternehmen. Während in einzelnen Bereichen (z.B. Marketing, Kostenrechnung) schon umfangreiche Forschung bezüglich der Integration von Umweltaspekten stattgefunden hat, wurde die Investitionsplanung bisher größtenteils vernachlässigt. Deshalb soll in dieser Abhandlung eine genauere Betrachtung der Investitionsrechnung als Teilbereich der Investitionsplanung vorgenommen werden.

Bei der Lösung von Umweltproblemen durch eine nachhaltige Wirtschaftsweise spielt vor allem die Umgestaltung des Produktionsprozesses auf umweltfreundliche Verfahren und die Änderung der Produkte eine entscheidende Rolle, da hierdurch eine direkt meßbare Umweltentlastung eintritt. Deshalb werden Umweltschutzinvestitionen im Produktionsbereich analysiert. Hierbei wird oft der Vergleich zwischen additiven und integrierten Umweltschutztechnologien vorgenommen, wobei den integrierten Umweltschutztechnologien häufig nicht nur eine ökologische, sondern auch eine ökonomische Vorteilhaftigkeit zugesprochen wird. Da sich diese These meist nur auf einige wenige Kriterien stützt, erscheint eine umfassendere Analyse aus Sicht der Investitionsrechnung sinnvoll. Hierbei steht die Berücksichtigung der Einflußfaktoren, die von ökologischen Anspruchsgruppen ausgehen, im Vordergrund, da die Investitionsentscheidung wesentlich von den Entwicklungen im Unternehmensumfeld abhängt. Bei den betrachteten Faktoren handelt es sich um die Einflüsse des Staates durch seine umweltpolitischen Maßnahmen (förderpolitische Maßnahmen, Abgaben, Auflagen), die Einflüsse der Nachfrager durch die Absatzmenge und die Einflüsse der Konkurrenten durch ihre Innovationstätigkeit.

---

<sup>1</sup> In der Literatur wird überwiegend die Meinung vertreten, daß es sich bei der heutigen ökologischen Werthaltung um einen Wertewandel handelt. Vgl. Strasser (1996), S. 40 f.

In Kapitel 2 erfolgen kurze Begriffserläuterungen der nachhaltigen Entwicklung bzw. der ökologischen Anspruchsgruppen. Anschließend werden in Kapitel 3 die wichtigsten Merkmale der additiven und integrierten Umweltschutztechnologien dargestellt, bevor in Kapitel 4 die Bewertung dieser beiden Investitionsarten anhand der Investitionsrechnung analysiert wird. Abschließend werden in Kapitel 5 die Grenzen dieser Bewertungsmethode aufgezeigt.

## **2. Das Unternehmen und seine Umwelt**

### **2.1 Das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung**

Das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung bestimmt wesentlich die gesellschaftliche und politische Diskussion. Hierzu haben vor allem der Abschlußbericht der Brundtland-Kommission der Vereinten Nationen im Jahr 1987 und die Konferenz der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro im Jahr 1992 beigetragen. Seither haben immer mehr Unternehmen dieses Leitbild in Leitlinien auf Unternehmens- oder Branchenebene übernommen.<sup>2</sup> Eine nachhaltige Entwicklung ist dadurch gekennzeichnet, daß durch sie die heutigen Bedürfnisse befriedigt werden, ohne dadurch die Bedürfnisse künftiger Generationen zu schmälern.<sup>3</sup> Was aus dem Leitbild für die Unternehmensführung resultiert, läßt sich durch drei Prinzipien charakterisieren: das Kreislauf-, das Verantwortungs- und das Kooperationsprinzip. Während das Kreislaufprinzip darauf ausgerichtet ist, daß die komplexen Beziehungen zwischen ökonomischen und ökologischen Systemen berücksichtigt werden, bezieht sich das Verantwortungsprinzip auf die Beachtung einer intra- und intergenerativen Gerechtigkeit. Das Kooperationsprinzip verdeutlicht die Notwendigkeit, gemeinsam mit allen Beteiligten Lösungen zu erarbeiten.<sup>4</sup> Elementar für eine nachhaltige Wirtschaftsweise ist, daß durch sie die ökonomische, die ökologische und die soziale Dimension integrativ behandelt wird.<sup>5</sup> Das ökologische Ziel ist vor allem darauf ausgerichtet, daß die natürlichen Ressourcen erhalten werden, damit sie

---

<sup>2</sup> Vgl. z.B. Gerling; Schmidheiny (1996), S. 87 ff.

<sup>3</sup> Vgl. WCED (1987), S. 47.

<sup>4</sup> Vgl. Meffert; Kirchgeorg (1993), S. 34 f.

<sup>5</sup> Deutscher Bundestag (1998), S. 32.

langfristig zur Nutzung und Bewirtschaftung zur Verfügung stehen.<sup>6</sup> Um dieses Ziel zu erreichen, bedarf es im Sinne des Kreislaufprinzips eines umfassenden technischen Fortschritts.<sup>7</sup> Der technische Wandel muß sich dabei an Effizienz- und Konsistenzstrategien ausrichten.<sup>8</sup> Durch die Effizienzstrategie soll eine Einschränkung des Ressourcenverbrauchs bzw. eine Verringerung der Umweltbelastung bewirkt werden. Das Ziel der Konsistenzstrategie ist es, die ökologische Qualität der Stoffströme zu verbessern. Umweltschutzinvestitionen spielen also eine entscheidende Rolle zur Umsetzung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise.<sup>9</sup> Sie sollten die Kriterien der Effizienz- und Konsistenzstrategie miteinander verknüpfen.<sup>10</sup>

## **2.2 Ökologische Anspruchsgruppen**

Während das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung eher als abstrakter Oberbegriff verstanden wird, beeinflussen ökologische Anspruchsgruppen konkret und situationspezifisch die unternehmerischen Tätigkeiten. Es gibt verschiedene Ansätze von Anspruchsgruppenkonzepten, die sich durch die Anzahl der zu berücksichtigenden Gruppen bzw. durch die Art der Berücksichtigung unterscheiden.<sup>11</sup> In dieser Abhandlung werden als Anspruchsgruppen Gruppen aus dem Unternehmensumfeld verstanden, die sowohl durch den Willen als auch durch die Fähigkeit zur Machtausübung Unternehmen in eine Abhängigkeitsposition bringen können.<sup>12</sup> Ökologische Anspruchsgruppen sind weiterhin diejenigen Anspruchsgruppen, die ein umweltfreundliches Verhalten von Unternehmen fordern. Die Berücksichtigung ökologischer Anspruchsgruppen bei unternehmerischen Entscheidungen stellt einen entscheidenden Schritt zur Umsetzung des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung dar, da hierdurch das

---

<sup>6</sup> Vgl. Matten; Wagner (1998), S. 54. Zur Operationalisierung dieses Ziel existieren Managementregeln. Vgl. Nutzinger; Radke (1995), S. 251 ff.

<sup>7</sup> Vgl. zur Diskussion der Notwendigkeit der Kreislaufwirtschaft Zabel (1997), S. 71 ff. und Zabel (1998), S. 125 ff.

<sup>8</sup> Die Suffizienzstrategie als dritte wichtige Strategie wird hier nicht näher betrachtet, da sie auf eine Veränderung der Lebens- und Produktionsstile abstellt und somit für die hier betrachteten Umweltschutzinvestitionen nicht von so großer Bedeutung ist.

<sup>9</sup> Vgl. Zabel (1995), S. 11.

<sup>10</sup> Vgl. Huber (1995), S. 123 ff.

<sup>11</sup> Zu einer Gegenüberstellung der verschiedenen Ansätze vgl. Spremann (1996), S. 481 ff.

<sup>12</sup> Vgl. Scherler (1996), S. 40.

Kooperationsprinzip operationalisiert wird.<sup>13</sup> Es werden nicht die allein kurzfristig vorteilhaften Erfolgchancen realisiert werden, sondern langfristige Chancen und Risiken antizipiert. Diese Strategie steht weiterhin im Einklang mit dem unternehmerischen Oberziel einer langfristigen, sinnvollen Überlebensfähigkeit. Es wächst die Erkenntnis, daß durch die Berücksichtigung ökologischer Anspruchsgruppen auf strategischer Ebene positive Effekte für das Unternehmen entstehen können.<sup>14</sup> Diese resultieren vor allem aus Wettbewerbs- und Imagevorteilen.

### **3. Umweltschutztechnologien**

#### **3.1 Integrierte versus additive Umweltschutztechnologien**

Für den Begriff „Umweltschutztechnologien“ bzw. „technische Umweltschutzinvestitionen“ gibt es eine Reihe von Definitionen, die sich durch ihren Konkretisierungsgrad unterscheiden. Die Betriebswirtschaftslehre begreift Umweltschutzinvestitionen<sup>15</sup> als eine langfristige qualitative Anpassung an ökologische Ansprüche.<sup>16</sup> Lange unterscheidet drei Arten von Umweltschutzinvestitionen:<sup>17</sup> der umweltschutzbedingte Standortwechsel in eine Region mit geringeren Umweltschutz-Regelungen und die Investition in integrierte oder additive Umweltschutzmaßnahmen ohne Standortwechsel. Da die erste Art der Umweltschutzinvestitionen nur einen sehr geringen Teil an den gesamten Investitionen ausmacht,<sup>18</sup> sollen hier nur die beiden letzteren Arten näher betrachtet werden.

Additive Umweltschutztechnologien<sup>19</sup> umfassen investive Maßnahmen im Bereich der Leistungserstellung, die von dem eigentlichen Produktionsprozeß unabhängig sind. Sie werden zu den bestehenden Anlagen hinzugefügt. Hierdurch kann unerwünschter Output nachträglich umgewandelt werden. Im Gegensatz

---

<sup>13</sup> Vgl. Meffert; Kirchgeorg (1993), S. 37.

<sup>14</sup> Vgl. Cornell; Shapiro (1987), S. 6 ff.

<sup>15</sup> Dies sind Umweltschutzinvestitionen i. e. S.. Vgl. Lange (1978), S. 176.

<sup>16</sup> Im Gegensatz zu der quantitativen Anpassung, unter der man die teilweise oder vollständige Stilllegung von Anlagen versteht.

<sup>17</sup> Vgl. Lange (1978), S. 166.

<sup>18</sup> Vgl. Pohl (1997), S. 86.

<sup>19</sup> Unter additiven Umweltschutztechnologien werden End-of-the-pipe- (EOP) und Begin-of-the-pipe- (BOP) Technologien subsumiert. Da die Bedeutung von BOP-Technologien gering ist, werden additive Umweltschutztechnologien synonym für EOP-Technologien verwendet.

dazu sind integrierte Umweltschutztechnologien integraler Bestandteil des Produktionsverfahrens. Dies bewirkt, daß Schadstoffe gar nicht erst entstehen, sondern von Anfang an vermieden werden. Es wird eine Totalbetrachtung des Produktionsprozesses vorgenommen, so daß sich die verbesserte Nutzung der Inputfaktoren nicht nur auf einen Stoff bezieht, sondern die gesamten Umweltbeeinträchtigungen des Produktionsprozesses berücksichtigt werden.<sup>20</sup>

### 3.2 Ökonomische Effekte von Umweltschutztechnologien

Es gibt wesentliche ökonomische Effekte, die die beiden Investitionsarten grundsätzlich unterscheiden. Als entscheidendes Argument bei der Beurteilung von Umweltschutzinvestitionen werden meist die **Anschaffungsauszahlungen** angeführt. Da bei additiven Umweltschutzmaßnahmen das bisherige Produktionsverfahren nur um eine Anlage ergänzt wird, wogegen es sich bei der integrierten Umweltschutztechnologie um den Ersatz der bisherigen Anlage handelt, werden der ersten Gruppe tendenziell niedrigere Anschaffungsauszahlungen zugesprochen.

Dagegen ist bei Einsatz der integrierten Umweltschutztechnologie die Reduzierung der Inputfaktoren mit Material- und Energieeinsparungen verknüpft. Somit entsteht eine **Produktivitätssteigerung**<sup>21</sup>. Durch die Verwendung additiver Maßnahmen wird hingegen Kapital gebunden, ohne Rationalisierungseffekte zu bewirken, so daß sie eine Produktivitätsreduktion und möglicherweise eine sinkende Wettbewerbsfähigkeit herbeiführen.<sup>22</sup>

Dies wirkt sich auch auf die **laufenden Auszahlungen** aus. Wird der Produktionsprozeß ganzheitlich betrachtet, zeigt sich, daß Stoffe bei den additiven Umweltschutzmaßnahmen nicht eliminiert werden. Emissionen werden verringert, indem eine Stoffumwandlung erfolgt, die wiederum Output in einem anderen Umweltmedium hervorruft. So muß der nun an anderer Stelle auftretende Output im Anschluß entsorgt werden, was zu weiteren Kosten führen kann.<sup>23</sup> Hierbei haben empirische Untersuchungen gezeigt, daß diese Kosten mit zunehmendem Entsorgungsgrad überproportional ansteigen.<sup>24</sup> Deshalb werden den integrierten

---

<sup>20</sup> Vgl. Kreikebaum (1992), S. 10.

<sup>21</sup> Hier und ist die Materialproduktivität gemeint.

<sup>22</sup> Vgl. Coenen; Klein-Vielhauer; Meyer (1996), S. 45.

<sup>23</sup> Sie entstehen z.B. durch den Transport von Reststoffen in eine Deponie. Vgl. Walter (1989), S.83.

<sup>24</sup> Vgl. VCI (1992), S. 27.



Umweltschutztechnologien langfristig geringere laufende Auszahlungen zugesprochen.

Desweiteren fallen durch den innovativen, ganzheitlichen Charakter der integrierten Umweltschutztechnologien weitere, nicht genau zu beziffernde Kosten an. So bedarf der Einsatz neuer Verfahren höherer **Informations-, Anpassungs- und Umstellungskosten**. Weiterhin ist das **wirtschaftliche Risiko** höher. Das resultiert aus dem grundsätzlich gesamtwirtschaftlichen Neuheitsgrad integrierter Umweltschutztechnologien, während die Adoption von additiven Umweltschutztechnologien weitestgehend ausgereift und erprobt ist.<sup>25</sup>

### 3.3 Ökologische Effekte von Umweltschutztechnologien

Ein gravierendes Argument, welches für integrierte Umweltschutztechnologien spricht, ist die unmittelbare **Reduzierung des Schadstoffanfalls**. Im Gegensatz dazu werden bei additiven Umweltschutzmaßnahmen die Umweltprobleme nicht gelöst, sondern nur medial, zeitlich oder schadstoffspezifisch verschoben.<sup>26</sup>

Wie bereits bei den ökonomischen Effekten erwähnt, richten sich integrierte Umweltschutzmaßnahmen auf ein breites **Schadstoffspektrum**. Sie erreichen durch die medienübergreifende Analyse eine größtmögliche Vermeidung von Umweltschäden.<sup>27</sup> Bei der Verwendung additiver Umweltschutzmaßnahmen handelt es sich dagegen um die Emissionsreduktion eines spezifischen Schadstoffes. Dies bedeutet aber auch, daß die Sinnhaftigkeit letzterer Maßnahmen durch neue Aspekte in der ökologischen Forschung schnell wieder entkräftet werden kann.

Da integrierte Umweltschutzmaßnahmen die Menge und Schädlichkeit von Emissionen unmittelbar verringern, ist bei ihnen auch das **Umweltrisiko** geringer.

### 3.4 Sonstige Effekte von Umweltschutztechnologien

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die **Zeit**. Die Umstellung des gesamten Produktionsprozesses bei Einführung einer integrierten Umweltschutztechnologie

---

<sup>25</sup> Vgl. Kreikebaum (1992), S. 11 f.

<sup>26</sup> So fallen z.B. bei der Reinigung von Rauchgasen Filterstäube an oder die Klärung von Abwasser hinterläßt Klärschlamm. Dieser nun entstandene Output enthält meist toxische oder anderweitig problematische Stoffe, so daß er als Sonderabfall entsorgt werden muß. Vgl. Symader (1996), S. 101.

<sup>27</sup> Vgl. Feser (1996), S. 45.

läßt nicht nur monetär bewertbare Kosten entstehen. Es muß ebenfalls beachtet werden, daß die Umstellung wesentlich längere Zeit beansprucht als der Einsatz additiver Umweltschutztechnologien. So wird der Zeitraum von der Entwicklung bis zur Einführung von integrierten Maßnahmen auf 6 bis 10 Jahre geschätzt, während dafür bei additiven Maßnahmen nur 2 bis 4 Jahre benötigt werden.<sup>28</sup>

## **4. Analyse der Investitionsentscheidung**

### **4.1 Bei integrierten Umweltschutztechnologien**

#### **4.1.1 Ausgangssituation**

Bei der Berechnung der Vorteilhaftigkeit von integrierten Umweltschutztechnologien sind zwei Fälle zu unterscheiden. Entweder wird ein Produktionsstandort neu errichtet bzw. die alte Produktionsanlage hat bereits ihre maximale Nutzungsdauer erreicht – dann wird eine Neuinvestition durchgeführt - oder es ist noch eine alte Anlage in Betrieb, so daß eine Ersatzinvestition getätigt werden soll.<sup>29</sup> Im ersten Fall kann die Vorteilhaftigkeit der neuen Produktionsanlage allein anhand des Kapitalwertes ermittelt werden,<sup>30</sup> im zweiten Fall muß die alte Anlage in der Berechnung berücksichtigt werden. Da in der Realität häufiger von der zweiten Situation auszugehen ist, soll diese aufgegriffen werden.

Als Ausgangssituation wird ein Unternehmen betrachtet, das eine Produktionsanlage A in Gebrauch hat. Zum aktuellen Zeitpunkt existiert weiterhin eine Umweltschutzinnovation B, so daß das Unternehmen sich die Frage stellt, ob bzw. zu welchem Zeitpunkt die alte Anlage ersetzt werden soll.<sup>31</sup> Das Unternehmen hat diese Option, da angenommen wird, daß ein Zwang zum Wechsel seitens der umweltpolitischen Gesetzgebung derzeit nicht existiert.<sup>32</sup>

---

<sup>28</sup> Vgl. Coenen (1996), S. 62.

<sup>29</sup> Es wird der Begriff Ersatzinvestition verwendet, da hier im Vordergrund steht, daß die alte Anlage durch eine Ersatzanlage ausgetauscht werden soll, mit der die gleiche Produktion fortgeführt wird. Da jedoch mit der Investition in die integrierte Umweltschutztechnologie gleichzeitig eine Kostensenkung bzw. Effizienzsteigerung verbunden ist, wird diese Investition in der Literatur auch Rationalisierungsinvestition genannt. Vgl. Götzte; Bloech (1995), S. 10 f.

<sup>30</sup> Diese Aussage trifft nur für die Ausgangssituation zu. Bei Erweiterungen (vgl. Abschnitte 4.1.2 – 4.1.4) entsprechen die Ergebnisse denen des zweiten Falls.

<sup>31</sup> Das Ersatzproblem stellt sich unter der Prämisse, daß die ex ante errechneten Daten nicht mit den tatsächlich eingetretenen Ereignissen übereinstimmen. Vgl. Kruschwitz (1990), S. 159.

<sup>32</sup> Die Berücksichtigung von Auflagen erfolgt in Abschnitt 4.1.4.

Integrierte Umweltschutztechnologien verkörpern generell einen technischen Fortschritt, da durch sie das Produktionsverfahren effizienter gestaltet wird.<sup>33</sup> Unter technischem Fortschritt versteht man die Veränderung der technischen Eigenschaften eines Objekts oder Verfahrens. Damit sind Veränderungen der technischen Beschaffenheit der Betriebsmittel selbst oder der mit ihnen erstellten Leistungen gemeint. Zu der ersten Gruppe von Veränderungen zählen Maßnahmen, die z.B. zu einer verbesserten Energieumwandlung führen oder eine geringere Umweltbelastung durch die Substitution von Inputfaktoren zur Folge haben bzw. die Arbeitsbedingungen verbessern. Sie werden auch verfahrenstechnische Innovationen oder Prozeßinnovationen genannt. Die zweite Gruppe entspricht den Produktinnovationen, durch die bisherige Produkte verändert oder neue Produkte entwickelt werden.<sup>34</sup> Da in den Zielfunktionen der dynamischen Investitionsrechnung<sup>35</sup> nur monetäre Größen berücksichtigt werden, müssen aus dem technischen Fortschritt Nettoeinzahlungen resultieren, damit er in diesem Rahmen tatsächlich als solcher angesehen werden kann.<sup>36</sup>

Es wird ein unendlicher Planungszeitraum betrachtet. Das bedeutet, daß das Unternehmen beabsichtigt, die existierende beste Produktionsanlage bzw. eine technisch verbesserte Version dieser Anlage immer wieder zu erneuern, um die Produktion langfristig aufrecht zu erhalten.<sup>37</sup>

In der Investitionsrechnung bei Sicherheit<sup>38</sup> wird das Entscheidungsproblem anhand einer Ungleichung, die den Ersatzzeitpunkt der alten Anlage ermittelt, gelöst. Es wird eine Differenzinvestition der Zahlungsreihen jeweils zweier aufeinander folgender Perioden gebildet. Nach Umformung ergibt sich eine Ungleichung, die die Grenzeinnahme<sup>39</sup> der alten Anlage der Annuität der neuen Anlage

---

<sup>33</sup> Im weiteren auch gegenwärtiger technischer Fortschritt genannt.

<sup>34</sup> Vgl. Voigt (1993), S. 1019.

<sup>35</sup> Statische Verfahren werden hier nicht betrachtet.

<sup>36</sup> Vgl. zur Abgrenzung der ökonomischen Wirkung des technischen Fortschritts Betge (1988), S. 88 ff.

<sup>37</sup> Dies resultiert aus der Annahme, daß das Unternehmen die langfristige, sinnvolle Überlebensfähigkeit als Oberziel setzt, was sich mit vielen empirischen Untersuchungen deckt. Vgl. z.B. Wymeersch (1995), S. 311.

<sup>38</sup> Die Situation bei Unsicherheit wird in dieser Arbeit nicht explizit betrachtet, da sich hierbei die grundsätzlichen Aussagen nicht verändern.

<sup>39</sup> Unter Grenzeinnahme (auch Grenzgewinn) wird in der Investitionsrechnung die Veränderung des Kapitalwertes verstanden, wenn die Nutzung eines Investitionsprojekts um eine Periode verlängert wird. Vgl. Götze; Bloech: (1995), S. 206. Der Begriff grenzt sich somit von der Verwendung in der Volks-

gegenüberstellt. Da die optimale Nutzungsdauer der unendlich oft zu wiederbeschaffenden Anlage immer gleich ist,<sup>40</sup> kann für diese Nutzungsdauer eine Annuität errechnet werden. Die Ungleichung besagt, daß die Weiternutzung der alten Anlage solange vorteilhaft ist, wie die Grenzeinnahme des laufenden Projektes größer ist als die Annuität des neuen Projektes.

Die Formel lautet:

$$(1) \quad (e_t - a_t) - (L_{t-1} - L_t) - L_{t-1} \cdot i \geq AN_i^n$$

mit

$$(2) \quad AN_i^n = \left[ -a_0 + \sum_{t=1}^n (e_t - a_t)(1+i)^{-t} + L_n(1+i)^{-n} \right] \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

oder

$$(3) \quad AN_i^n = K \cdot KWF_i^n$$

$AN_i^n$  = Annuität der Anlage B mit optimaler Nutzungsdauer  $n$ , Kalkulationszinsfuß  $i$

$a_0$  = Anschaffungsausgabe

$a_t$  = Auszahlungen in Periode  $t$

$e_t$  = Einzahlungen in Periode  $t$

$i$  = Kalkulationszinsfuß

$K$  = Kapitalwert einer Anlage

$KWF$  = Kapitalwiedergewinnungsfaktor

$L$  = Liquidationserlös

$n$  = optimale Nutzungsdauer einer Anlage

$t = 1, \dots, n$  Perioden.

Die linke Seite der Ungleichung zeigt die Grenzeinnahme der Anlage A. Sie setzt sich aus dem Einzahlungsüberschuß der folgenden Periode abzüglich der Liqui-

---

wirtschaftslehre ab, wo unter der Grenzbetrachtung immer die Veränderung um eine infinitesimal kleine Einheit verstanden wird.

<sup>40</sup> Zu dem Beweis dieser Aussage vgl. Kistner; Steven (1992), S. 332.

dationserlösminderung, die durch den Verkaufsaufschub entsteht, und den entgangenen Zinsen des Liquidationserlöses zusammen. Auf der rechten Seite steht die Annuität der Anlage B bei optimaler Nutzungsdauer.

Die Zeit ist die Variable, die über den Ersatz der Anlage entscheidet; die anderen Größen sind bei unterstellter Sicherheit gegeben. Als kritischer Wert kann man den Zeitpunkt betrachten, zu dem sich auf beiden Seiten die gleiche Größe ergibt. In dieser Situation wäre das Unternehmen indifferent zwischen den Strategien „Anlage A durch Anlage B ersetzen“ und „Anlage A weiter nutzen“. Ab diesem Zeitpunkt wäre jedoch der Ersatz vorteilhaft.<sup>41</sup>

Die Ermittlung des Ersatzzeitpunktes zeigt, daß integrierte Umweltschutzmaßnahmen nicht isoliert von der bisher verwendeten Anlage betrachtet werden dürfen, solange letztere noch in Gebrauch ist, da bei Ersatz der Anlage die noch erzielbaren Erlöse (Grenzeinnahmen) verloren gehen. In die Grenzeinnahmen fließen nur die noch am Markt realisierbaren Resterlöse ein. Bei ihnen handelt es sich um Zahlungen, die durch die Investition beeinflußt werden. Anschaffungsauszahlungen oder Buchwerte sind, obwohl sie eventuell noch Abschreibungen auslösen können, nicht einzubeziehen, da sie für die Rechnung unerheblich sind.<sup>42</sup> In der Investitionsrechnung werden also die sunk costs ausgeklammert. Sie stellen die in der Vergangenheit getätigten Auszahlungen dar, die irreversibel sind und somit keine Auswirkungen auf die heutige Investition haben.<sup>43</sup>

Betrachtet man die Situation von Unternehmen, welche die Investition in eine integrierte Umweltschutzmaßnahme in Betracht ziehen, dann stellt sich die Frage, was die obige Ungleichung weiterhin ausdrückt. Da es sich bei der Anlage B um eine Umweltschutzinnovation handelt und bei der Umstellung auf integrierte Umweltschutztechnologien mit einer Produktivitätssteigerung zu rechnen ist, werden im Vergleich zur alten Anlage höhere Einzahlungsüberschüsse unterstellt. Diese resultieren bei der integrierten Umweltschutzmaßnahme grundsätzlich aus Ressourceneinsparungen. Eine Position, die gegen eine Erneuerung wirken könnte, ist die Anschaffungsauszahlung für die neue Anlage, die dadurch, daß ein Ersatz der

---

<sup>41</sup> Unter der Annahme, daß die Grenzeinnahmen der alten Anlage kontinuierlich sinken.

<sup>42</sup> Vgl. Eisenführ (1996), S. 79 f.

<sup>43</sup> Vgl. Spremann (1996), S. 376.

gesamten Produktionsanlage erfolgt, relativ hoch ist. Wenn jedoch davon ausgegangen wird, daß die optimale, wirtschaftliche Nutzungsdauer der Maschine in der Berechnung der Annuität berücksichtigt wird und somit die Anschaffungsauszahlungen auf eine große Anzahl von Perioden verteilt wird, ist zu erwarten, daß die Wirkung dieses Postens relativiert wird. Des weiteren hängt der Investitionszeitpunkt von der Höhe des Liquidationserlöses der alten Anlage ab. Seine Höhe wird wiederum von dem Spezifitätsgrad der Anlage bestimmt. Je höher dieser ist, desto schwerer ist es, die Anlage weiterzuverkaufen. Ein niedriger Liquidationserlös begünstigt dagegen die Ersatzinvestition.

Somit kann grundsätzlich gesagt werden, daß die Existenz gegenwärtiger Umweltschutzinnovationen den Ersatz bestehender Anlagen begünstigt. Ob dies sofort oder innerhalb der nächsten Perioden geschieht, hängt von den konkreten Rechengrößen, vor allem aber von dem Liquidationserlös der alten Anlage ab. Je eindeutiger der technische Fortschritt im ökonomischen Sinn ist, desto eher wird der Ersatz stattfinden.

#### **4.1.2 Berücksichtigung zukünftiger Umweltschutzinnovationen**

Da in der Realität weitere Effekte wesentlich für die Investitionsentscheidung sind, soll das Grundmodell ergänzt werden. Es wird zuerst die Frage gestellt, wie sich die Entscheidung des Unternehmens in zeitlicher Hinsicht verändert, wenn zukünftige Umweltschutzinnovationen in die Investitionsüberlegungen mit einbezogen werden.

In der Literatur existiert ein Vorschlag zur Berücksichtigung des zukünftigen technischen Fortschritts in der Investitionsplanung, der auf *Terborgh* zurückgeht.<sup>44</sup> Hierbei wird die Annahme getroffen, daß nicht in jeder Periode neu investiert wird.

Diese Annahme kann aus folgenden Gründen auf die Investitionsentscheidung bei integrierten Umweltschutztechnologien übertragen werden: Da bei Einsatz von integrierten Umweltschutztechnologien immer nur eine Produktionsanlage betrieben wird, setzt die erneute Investition in der nächsten Periode den Verkauf der heute angeschafften Anlage voraus. Da jedoch durch die hohe Spezifität der integrierten Umweltschutztechnologie von einem sehr geringen bzw. gar keinem

---

<sup>44</sup> Vgl. Terborgh (1949), S. 62 ff. und S. 94.

Liquidationserlös auszugehen ist und somit bei erneuter Investition ein hoher Vermögensverlust entstehen würde, zeigt sich, daß bei heutiger Investition eine erneute Investition in der nächsten Periode unrentabel wäre.<sup>45</sup>

*Terborgh* führt nun eine Größe  $g$  in die Formel der Annuität ein, die den Leistungsnachteil der aktuell fortschrittlichsten Anlage (heutige integrierte Umweltschutztechnologie) gegenüber potentiellen zukünftigen Innovationen darstellt. Es wird also unterstellt, daß der Einzahlungsüberschuß der heute besten Anlage in den Folgejahren um einen bestimmten Betrag verringert werden muß, um den Nachteil gegenüber neueren Anlagen zu integrieren. Wird ein gleichmäßiger technischer Fortschritt vorausgesetzt, dann beträgt der Leistungsnachteil im zweiten Nutzungsjahr  $g$ , im dritten Nutzungsjahr  $2g$ , im vierten Nutzungsjahr  $3g$  usw. Somit ergibt die modifizierte Formel für die Annuität:

$$(4) \quad AN_i^n = \left[ -a_0 + \sum_{t=1}^n (e_t - a_t - (t-1) \cdot g)(1+i)^{-t} + L_n(1+i)^{-n} \right] \cdot KWF_i^n$$

Welche Wirkung hat die Einführung der Variable  $g$  für die Investitionsentscheidung? Durch die Berücksichtigung des Leistungsnachteils muß eine neue Annuität ermittelt werden. Dies geschieht, indem für jede mögliche Nutzungsdauer der Innovation eine Annuität berechnet wird und anschließend die höchste Annuität ausgewählt wird. Bei der Berechnung der Annuität ergibt sich, daß durch  $g$  die Einzahlungsüberschüsse in jeder Periode herabgesetzt werden. Daraus resultiert im Vergleich zur Berechnung ohne Berücksichtigung des Leistungsnachteils, daß sich der Wert der Annuität verschlechtert und daß die optimale, wirtschaftliche Nutzungsdauer der aktuellen Innovation verringert wird.<sup>46</sup> Somit wirkt sich die Berücksichtigung des zukünftigen technischen Fortschritts negativ auf die Bewertung des eingetretenen technischen Fortschritts aus. Diese Verschlechterung wirkt tendenziell ersatzhemmend, da eine Verringerung des Wertes der Annuität in Relation die Wirkung der Grenzeinnahmen vergrößert.

Bezogen auf Umweltschutzinnovationen heißt dies Folgendes: Ohne Berücksichtigung der zukünftigen Umweltschutzinnovationen wird die bestehende Anlage bei entsprechender Vorteilhaftigkeit durch die Innovation ersetzt. Werden die zukünftigen Innovationen dagegen in die Analyse mit einbezogen, so ergibt sich bei

<sup>45</sup> Vgl. Nippel (1994), S. 596.

<sup>46</sup> Beispielrechnungen finden sich bei Voigt (1993), S. 1029 ff.

Annahme regelmäßigen technischen Fortschritts eine hemmende Wirkung auf die Ersatzinvestition.

Die Höhe dieses Effektes hängt von dem Ausmaß der Neuerung ab. Je größer der Leistungsnachteil gegenüber dem zukünftigen technischen Fortschritt ausfällt, desto niedriger ist der Wert der Annuität und desto eindeutiger ist das Ergebnis, gegenwärtig nicht zu investieren.

#### **4.1.3 Berücksichtigung zahlungswirksamer Parameter**

Besonders aufgrund wettbewerbsstrategischer Aspekte ist die Integration des zukünftigen technischen Fortschritts essentiell für die heutige Ersatzentscheidung. Trotzdem sind damit die ökologischen Einflußfaktoren noch nicht hinreichend antizipiert. Besonders die Aktivitäten der Kunden und des Staates können für das Unternehmen unmittelbar zahlungswirksam werden. Kunden können auf eine umweltfreundlichere Produktion mit einer erhöhten Nachfrage reagieren (bzw. mit einer verminderten Nachfrage aufgrund einer unterlassenen Investition<sup>47</sup>). Dies hätte eine Erhöhung des Einzahlungsüberschusses zur Folge (bzw. eine Verringerung des Einzahlungsüberschusses für die alte Anlage). Der Staat trifft verschiedene Arten von umweltpolitischen Regulierungen. Grob kann man diese Maßnahmen in ein- und auszahlungswirksam unterteilen. Unter der ersten Gruppe können die förderpolitischen Instrumente subsumiert werden, die die Investition in innovative Produktionsverfahren begünstigen sollen. Die zweite Gruppe induziert Auszahlungen, die durch den Betrieb von Anlagen entstehen, die hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit nicht den vom Gesetzgeber gewünschten Anforderungen genügen, so daß z.B. Umweltabgaben wirksam werden.

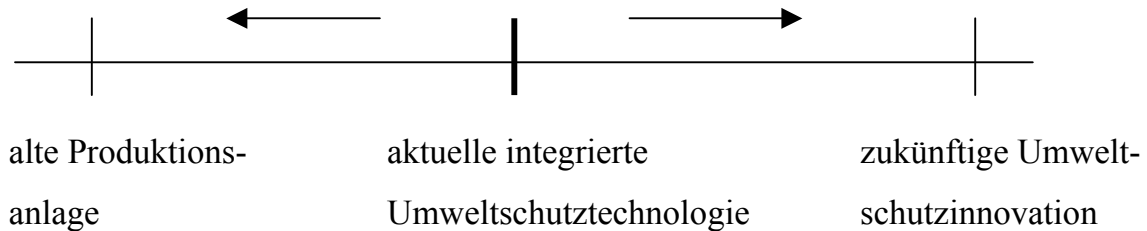
Zur Modifikation der obigen Gleichung wird eine Größe benötigt, die die beschriebenen Aspekte berücksichtigt. Unter Beachtung der bisherigen Ausführung müssen zwei Effekte unterschieden werden (siehe Abbildung S. 18): Die dynamische Entwicklung ökologischer Einflußfaktoren wirkt sich zum einen auf den Vergleich zwischen der alten Produktionsanlage und der heute neuen integrierten Umweltschutztechnologie und zum anderen auf den Vergleich der

---

<sup>47</sup> Vorausgesetzt, die Kunden realisieren, daß ihre ökologischen Ansprüche nicht erfüllt werden, da z.B. andere umweltfreundliche Konkurrenzprodukte bestehen.



integrierten Umweltschutztechnologie und der zukünftigen Umweltschutzinnovation aus.



Hinsichtlich des zweiten Falls können die Ergebnisse des vorigen Abschnitts übernommen werden. Der Leistungsnachteil  $g$ , der sich für die heute beste integrierte Umweltschutztechnologie ergibt, da in der nächsten Periode nicht direkt wieder investiert werden kann, kann allgemeiner gefaßt werden. Er entsteht nicht nur, weil durch die heutige Investition die Chance auf eine zukünftige billigere bzw. effizientere Produktion vertan ist. Der Nachteil vergrößert sich weiterhin bei einer zukünftigen höheren Nachfrage und bei niedrigeren Abgaben aufgrund einer umweltfreundlicheren Produktion. Außerdem können sich bei einer Verschärfung der Umweltpolitik zukünftig die Subventionen erhöhen. Hierdurch wird der Vorteil des Investitionsaufschubs weiterhin verstärkt. Also kann man in diesem Zusammenhang von einem „Abwarte-vorteil“ sprechen. Die beschriebenen Veränderungen wirken somit ersatzhemmend.

Wie wirkt sich nun die Veränderung der zahlungswirksamen ökologischen Einflußfaktoren auf den Vergleich der alten mit der heute besten Anlage aus? Wird eine Verschärfung der ökologischen Ansprüche unterstellt,<sup>48</sup> dann ist auch hier wieder die neuere Anlage vorteilhafter als die ältere Anlage. Es ergeben sich negative Effekte auf die Grenzeinnahmen der alten Produktionsanlage, wenn nicht investiert wird. So müssen für Umweltschädigungen durch die bereits bestehende Anlage im Zeitablauf steigende Abgaben gezahlt werden und durch die fehlende Investition kann die Nachfrage zurückgehen. Somit wird die bestehende Anlage gegenüber der heute innovativen Anlage benachteiligt. Eine Nicht-Investition

<sup>48</sup> Eine Verschärfung der ökologischen Ansprüche bedeutet im Kontext, daß eine größere Nachfrage nach umweltfreundlicherer Produktion bzw. nach umweltfreundlicheren Produkten und größere umweltpolitische Anreize existieren.

würde also einen „Abwartenachteil“ auslösen, da der Entscheidungsträger für den Aufschub der Investition bestraft wird. Der Nachteil müßte um so größer werden, je länger die Investition aufgeschoben wird. Diese Wirkung wird durch förderpolitische Instrumente verstärkt. Sie können wiederum in gleicher Weise in die obige Formel integriert werden, wie der bereits dargestellte Leistungsnachteil. Auch hier wirken die staatlichen Zahlungen auf den Einzahlungsüberschuß der heutigen Umweltschutzinnovation, nur diesmal in positiver Hinsicht als Leistungsvorteil gegenüber der alten Anlage, so daß sich der Einzahlungsüberschuß erhöht. Wie zu erwarten ist, wird also der Anlagenersatz durch heute existierende förderpolitische Maßnahmen vorangetrieben.

Um zu erkennen, welcher Effekt überwiegt, ob also der „Abwartenachteil“ größer ist als der „Abwarte-vorteil“, müssen konkrete Daten betrachtet werden. Sollen Abgabe-, Subventions- und Nachfrageänderungen, welche die Zahlungsreihe der Differenzinvestition verändern, integriert werden, dann zeigt sich jedoch, daß man mit der sehr stark vereinfachten Ungleichung (1) schnell an Grenzen stößt. Die Vereinfachung erfolgte vor dem Hintergrund, daß die Lösung des Ersatzproblems im Fall eines unbegrenzten Planungszeitraums sehr problematisch ist. Zu einer exakten Ermittlung ist es nötig, daß der Investor zum aktuellen Zeitpunkt die Zahlungsreihen unendlich vieler unterschiedlicher zukünftiger Anlagen und die Entwicklung der Zahlungsreihe der alten Anlage kennt.<sup>49</sup> Auch unter Sicherheit ist dabei der Lösungsweg sehr rechenaufwendig, weshalb grundsätzlich auf die Annahme zurückgegriffen wird, daß die heute beste Ersatzanlage unendlich häufig wiederholt wird. Somit gelangt man zu der oben aufgestellten Gleichung. Durch sie wird die Tendenz der Wirkungsweise bei Veränderungen ökologischer Ansprüche deutlich. Der Nachteil der Vereinfachung ist jedoch, daß vorausgesetzt wird, daß immer wieder in die heute beste Anlage investiert wird, obwohl gleichzeitig das Auftreten von technisch verbesserten Versionen als sicher angenommen wird. Um die genauen Effekte ermitteln zu können, muß somit eine vollständige Enumeration erfolgen. Das Problem kann mit Hilfe des Entscheidungsbaumverfahrens gelöst werden, was hier jedoch nicht näher betrachtet werden soll. Hierdurch wird für einen bestimmten zukünftigen Zeitraum (Entscheidungszeitraum) die optimale

---

<sup>49</sup> Vgl. Voigt (1993), S. 1032.

Entscheidungsfolge bestimmt. Bei Betrachtung eines unendlichen Planungshorizonts muß wiederum die Annahme getroffen werden, daß die unmittelbar nach Überschreiten des Entscheidungshorizontes in Betrieb befindlichen Anlagen unendlich oft wiederholt werden.<sup>50</sup>

#### **4.1.4 Berücksichtigung von Umweltschutzauflagen**

Weiterhin sollen umweltpolitische Maßnahmen in Form von Auflagen in die Analyse einbezogen werden. Als Beispiel wird die Festsetzung neuer Höchstgrenzen für Emissionen betrachtet.<sup>51</sup> Ab einer bestimmten Periode ist also die Erfüllung vorgegebener Restriktionen zwingend vorgeschrieben.

Es stellt sich nun die Frage, wie die bisherigen Berechnungen zu modifizieren sind, wenn zusätzlich Umweltschutzauflagen berücksichtigt werden. Zur Einführung integrierter Umweltschutztechnologien benötigt man mehrere Perioden. Das bedeutet, daß diese Art von Umweltschutzinvestitionen in zeitlicher Hinsicht eine geringe Flexibilität bezüglich ihrer Einsetzbarkeit aufweisen. Das heißt, daß für integrierte Umweltschutztechnologien eine Umstellungszeit benötigt wird, damit die Technologie richtig eingesetzt werden kann.<sup>52</sup> Deshalb können integrierte Umweltschutztechnologien nicht in der gleichen Periode, in der die Umweltschutzauflage in Kraft tritt, eingesetzt werden, sondern es muß eine bestimmte Anzahl von Perioden vorher in sie investiert werden, damit die neuen Emissionsgrenzen zeitgleich mit der Einführung der Auflagen erfüllt werden können. Hier ist die Annahme sicherer Daten auch realitätsnah, da Auflagen grundsätzlich im Voraus angekündigt werden. Somit wäre einige Perioden vor der Einführung der Umweltschutzauflage die letzte Möglichkeit zur Investition in die integrierte Umweltschutztechnologie. Fällt jedoch zu diesem Zeitpunkt aus Sicht der Investitionsrechnung durch den Vergleich der Grenzeinnahmen und der Annuität die Entscheidung zugunsten einer Weiternutzung der alten Produktionsanlage aus, dann verstreicht die Möglichkeit, die zukünftige

---

<sup>50</sup> Vgl. Blohm; Lüder (1995), S. 68.

<sup>51</sup> Die Auflage, eine neue Technik zu verwenden, wird hier ausgeklammert, da diese Art von Auflage meist damit verknüpft ist, daß alte Anlagen durch eine Übergangsregel ohne Modifikationen bis zur maximalen Nutzungsdauer weiter verwendet werden dürfen. Dann stellt sich aber zum einen keine Ersatzfrage, sondern es ergibt sich zu einem bestimmten Zeitpunkt eine Neuinvestition. Zum anderen besteht dann nicht mehr die Option zu investieren, sondern es muß zwingend der neue Stand der Technik eingesetzt werden, so daß eine Investitionsentscheidung hinfällig wird.

<sup>52</sup> Vgl. Hartje (1990), S. 150.

Umweltschutzaufgabe durch den Einsatz einer integrierten Umweltschutztechnologie zu erfüllen. Ein Zwang zur Investition in integrierte Umweltschutztechnologien existiert nicht, da die Möglichkeit besteht, kurzfristig auf additive Umweltschutztechnologien zurückzugreifen, um die Emissionsgrenzen einhalten zu können.<sup>53</sup>

Zusammengefaßt läßt sich also feststellen, daß sich unmittelbar auf das Unternehmen auswirkende Ein- und Auszahlungen, die durch die Verschärfung ökologischer Ansprüche entstehen, positiv auf die Entscheidung, in integrierte Umweltschutztechnologien zu investieren, wirken. Berücksichtigt man jedoch zukünftige Umweltschutzinnovationen, wird die heutige Investition in integrierte Umweltschutzinvestitionen gehemmt.<sup>54</sup> Dieser Effekt verstärkt sich durch das Auftreten zukünftiger ökologischer Ansprüche. Umweltschutzaufgaben können dagegen gar nicht in die Investitionsrechnung einbezogen und somit nicht formal dargestellt werden. Ihre Berücksichtigung kann allein anhand der obigen Überlegungen erfolgen.

## **4.2 Bei additiven Umweltschutztechnologien**

### **4.2.1 Ausgangssituation**

Bei der Anwendung additiver Umweltschutztechnologien wird die bestehende Produktionsanlage ergänzt. Deshalb soll diese Investitionsart Erweiterungsinvestition genannt werden.<sup>55</sup> Für die Investitionsrechnung bedeutet die Unabhängigkeit der additiven Umweltschutztechnologie von der bestehenden Anlage, daß sie isoliert von dieser betrachtet werden kann. Somit hängt die Investitionsentscheidung allein davon ab, ob der Kapitalwert der Investition positiv bzw. höher als der Kapitalwert von Alternativinvestitionen ist.

Bei additiven Umweltschutztechnologien handelt es sich um Umweltschutzmaßnahmen, die mit einer Produktivitätsreduktion verbunden sind. Es erfolgt eine Anschaffungsauszahlung, ohne daß Ressourcen eingespart werden. Deshalb wird

---

<sup>53</sup> Kurzfristig ist hier in Relation zu der Einsetzbarkeit integrierter Technologien gemeint. Es wird angenommen, daß die additive Umweltschutztechnologie innerhalb der selben Periode installiert werden kann, welche aber auch länger als ein Jahr dauern kann.

<sup>54</sup> Sobald die Anlage eine besondere Spezifität aufweist, darf sie nicht isoliert betrachtet werden. Vgl. Nippel (1995), S. 379.

<sup>55</sup> Obwohl hierunter in der Literatur häufig eine Erweiterung der Kapazität oder des Leistungsvermögens verstanden wird. Vgl. Götze; Bloech (1995), S. 10.

diese Art von Umweltschutzinvestitionen aus ökonomischer Sicht erst getätigt, wenn die Umweltschutzabgaben so hoch sind, daß sie - über die Nutzungsdauer der Anlage abdiskontiert und kumuliert – die Anschaffungsauszahlungen übersteigen.

#### **4.2.2 Berücksichtigung zukünftiger Umweltschutzinnovationen**

Wie wirkt sich nun zukünftiger technischer Fortschritt auf die Investitionsentscheidung aus? Hierbei können die Ergebnisse des Abschnitts 4.1.2 aufgegriffen werden. Es hat sich gezeigt, daß der Vermögensverlust (auch Opportunitätskosten genannt) durch die ex ante betrachteten sunk costs dafür verantwortlich ist, daß nicht in beiden Perioden separat investiert werden kann. Der Vermögensverlust verringert sich jedoch bzw. geht gegen null, je größer der Veräußerungserlös der zuerst erworbenen Anlage ist. Letzterer ist um so größer, je universeller die Anlage ist. Das heißt, daß eine Anlage mit geringer Spezifität leichter wieder zu verkaufen ist bzw. einen größeren Erlös einbringt als eine speziell angefertigte Anlage. Additive Umweltschutztechnologien sind eher universell einsetzbar als integrierte Umweltschutztechnologien, so daß die heutige Investitionsentscheidung in geringerem Maße bzw. gar nicht abhängig vom zukünftigen technischen Fortschritt ist und isoliert betrachtet werden kann. Dies ergibt sich auch daraus, daß additive Umweltschutztechnologien häufig ihrerseits erweitert werden können, somit also bei verschärften ökologischen Ansprüchen nicht ersetzt werden müssen, sondern neben der neuen Investition bestehen bleiben können. Somit stehen sie aus Sicht der Investitionsrechnung in keiner unmittelbaren Konkurrenz zu zukünftigen additiven Umweltschutztechnologien.

#### **4.2.3 Berücksichtigung zahlungswirksamer Parameter**

Bei der Berücksichtigung von förderpolitischen Maßnahmen, Abgaben und Nachfrage wurde bei der Untersuchung integrierter Umweltschutztechnologien eine Fallunterscheidung vorgenommen: Zum einen wurde die alte mit der heute besten Anlage und zum anderen die heute beste mit zukünftigen Innovationen verglichen. Da sich herausgestellt hat, daß additive Umweltschutztechnologien isoliert betrachtet werden können und ihre Vorteilhaftigkeit allein anhand des Kapitalwertes ermittelt wird, ist die Fallunterscheidung hier nicht nötig. Es interessieren also nur die Zahlungen, die den Kapitalwert der heutigen Investition be-

einflussen. Hierbei zeigt sich, wie sich auch schon bei der Betrachtung von integrierten Umweltschutzinvestitionen ergeben hat, daß generell die Verschärfung ökologischer Ansprüche, die in Zahlungen resultieren, investitionsfördernd wirken. Da die zusätzliche Investition in additive Umweltschutztechnologien eine Produktivitätsreduktion bewirkt, muß die investitionsfördernde Wirkung also so hoch sein, daß sich insgesamt ein positiver Kapitalwert ergibt.

#### **4.2.4 Berücksichtigung von Umweltschutzauflagen**

Bei Einführung einer Umweltschutzauflage ist die additive Umweltschutztechnologie eine kurzfristig verfügbare Möglichkeit, auf diese Restriktion zu reagieren. Dies resultiert aus der im Vergleich zur integrierten Umweltschutztechnologie höheren Flexibilität hinsichtlich der Einsetzbarkeit. Weiterhin gelten additive Umweltschutzmaßnahmen generell als Richtmaß für die Einführung von Emissionsauflagen. Indem sie den „Stand der Technik“<sup>56</sup> verkörpern, kann mit ihnen genau den gesetzlichen Anforderungen entsprochen werden, während mit integrierten Umweltschutztechnologien dieser Standard meist übererfüllt wird.<sup>57</sup> Da jedoch in den Nebenbedingungen des Kapitalwertmodells nur die Mindestauflagen berücksichtigt werden, besteht aus Sicht der Investitionsrechnung keine Notwendigkeit zur Übererfüllung. Somit ergibt sich, daß bei der Einführung von Umweltschutzauflagen ein Zwang zur Investition in additive Umweltschutztechnologien ausgelöst wird, wenn zuvor keine integrierte Umweltschutztechnologie realisiert wurde.

Zusammengefaßt wirken die direkten Ein- und Auszahlungsveränderungen durch verschärfte ökologische Ansprüche investitionsfördernd. Existieren Umweltschutzauflagen, dann besteht ein Zwang zur Investition. Zukünftiger technischer Fortschritt kann jedoch nicht unmittelbar auf die Entscheidung, in additive Umweltschutztechnologien zu investieren, wirken.

---

<sup>56</sup> Bei der Festlegung von Grenzwerten erfolgt grundsätzlich eine Orientierung am Stand der Technik. Hierbei handelt es sich meist um additive Umweltschutztechnologien. Vgl. Letmathe (1993), S. 808. Zur Kritik am „Stand der Technik“ vgl. Endres (1988), S. 83, 84.

<sup>57</sup> Vgl. Hartje (1990), S. 152.

### 4.3 Vergleich der Wirkung bei integrierten und additiven Umweltschutztechnologien

Vergleicht man die Ergebnisse für die Investitionsentscheidung bei integrierten und additiven Umweltschutztechnologien, dann zeigt sich, daß sich aus Sicht der Investitionsrechnung wesentliche Unterschiede zwischen diesen beiden Investitionsarten ergeben, wenn man die dynamische Entwicklung der ökologischen Einflußfaktoren berücksichtigt.

Da es sich bei dem Einsatz integrierter Umweltschutztechnologien meist um Ersatzinvestitionen handelt, kann die Investitionsentscheidung nicht isoliert von der bereits bestehenden Anlage erfolgen.

Somit können innerhalb der klassischen Investitionsrechnung die Alternativen der integrierten und additiven Umweltschutztechnologien nicht allein anhand der Kapitalwerte verglichen werden. Während bei der additiven Umweltschutzmaßnahme nur die Höhe des Kapitalwertes entscheidend ist, müssen bei der integrierten Umweltschutzmaßnahme noch aus einer alten Produktionsanlage resultierende Einzahlungsüberschüsse berücksichtigt werden.

Es ergibt sich für die absolute Vorteilhaftigkeit der integrierten Umweltschutztechnologie folgende Ungleichung:

$$(5) \quad K_{IUS} \cdot KWF_i^n > g_t$$

mit  $K_{IUS}$  = Kapitalwert der integrierten Umweltschutztechnologie

$g_t$  = Grenzeinnahme der alten Produktionsanlage

Die absolute Vorteilhaftigkeit der additiven Umweltschutztechnologie ist gegeben bei:

$$(6) \quad K_{ADD} > 0$$

mit  $K_{ADD}$  = Kapitalwert der additiven Umweltschutztechnologie

Daraus ergeben sich für die Investitionsentscheidung vorerst unter der Annahme, daß es keine zukünftigen integrierten Umweltschutzinnovationen gibt, folgende Fälle:

$$(7) \quad K_{IUS}, \text{ wenn } K_{IUS} > K_{ADD} + \frac{g_t}{KWF_i^n}$$

$$(8) \quad K_{ADD}, \text{ wenn } K_{IUS} < K_{ADD} + \frac{g_t}{KWF_i^n}$$

Sind beide Seiten gleich groß, dann ist der Entscheidungsträger indifferent. Weist die integrierte Umweltschutztechnologie isoliert betrachtet einen größeren Kapitalwert auf als die additive Umweltschutztechnologie, dann muß dieser relative Vorteil mindestens  $\frac{g_t}{KWF_i^n}$  betragen, damit auch tatsächlich in die integrierte Umweltschutztechnologie investiert wird.

Fällt die Entscheidung zugunsten der additiven Investitionstechnologie, dann müssen weiterhin zukünftige Umweltschutzinnovationen nicht beachtet werden. Zeigt sich jedoch eine relative Vorteilhaftigkeit der integrierten Umweltschutztechnologie, so müssen die Auswirkungen zukünftiger Umweltschutzinnovationen berücksichtigt werden. Durch die hohe Spezifität der Anlage und die ex ante berücksichtigten sunk costs ergibt sich eine aufschiebende Wirkung („Abwarte-vorteil“). Bei der Berücksichtigung der bereits bestehenden Anlage zeichnet sich jedoch eine weitere Dimension ab. Bei erwarteter Verschärfung der ökologischen Ansprüche von Kunden und Staat ist mit einem „Abwartenachteil“ zu rechnen, der sich durch die Nicht-Investition ergibt. Dieser Effekt dürfte sogar bei mittelfristiger Betrachtung überwiegen, wenn der Lebenszyklus gesellschaftlicher Anliegen berücksichtigt wird.<sup>58</sup> So bildet der von Kunden und Staat induzierte gesellschaftliche Wertewandel den Anreiz für die Industrie, technische Lösungen für die erkannten Umweltprobleme zu entwickeln, so daß auch erst zeitlich verschoben mit Innovationen gerechnet werden kann. Dagegen können Nachfrageänderungen oder umweltpolitische Maßnahmen kurzfristig auftreten.

Hinsichtlich der Berücksichtigung zukünftiger Umweltauflagen ergeben sich weitere Unterschiede der Investitionsentscheidung bei der Betrachtung integrierter und additiver Umweltschutzmaßnahmen. Auflagen spielen nur bei der Betrachtung additiver Umweltschutztechnologien eine Rolle und können bei der Investition in integrierte Umweltschutztechnologien nicht formal berücksichtigt werden.

Was bedeutet nun dieser Unterschied für das Unternehmen in ökonomischer Hinsicht? Wie bereits erwähnt ist die letzte Möglichkeit, durch integrierte Umwelt-

---

<sup>58</sup> Vgl. zur näheren Erläuterung Dyllick (1989), S. 241 ff.



schutztechnologien die bevorstehende Umweltauflage zu erfüllen, zeitlich vorgelagert. Ist zu diesem Zeitpunkt die Grenzeinnahme größer als die Annuität der neuen Anlage, wird nicht ersetzt. Es kann jedoch der Fall auftreten, daß sich bis zu dem Zeitpunkt, zu dem die Umweltschutzauflage eingeführt wird, das Verhältnis umdreht, die Grenzeinnahmen also unter die Annuität sinken. Dann ist es aber zu spät, um in die integrierte Umweltschutzmaßnahme zu investieren. Da mit der additiven Umweltschutztechnologie jedoch eine Produktivitätsreduktion verbunden ist, ist davon auszugehen, daß diese Anlage erst gekauft wird, wenn der Zwang dazu besteht.<sup>59</sup>

Es stellt sich nun die Frage, ob dieses Verhalten ökonomisch sinnvoll ist. Wann wäre die Investition in die integrierte Umweltschutztechnologie vorzuziehen? Dazu müssen zwei Größen gegenübergestellt werden. Zum einen ergeben sich erhöhte Auszahlungen für das Unternehmen, wenn es bereits in die integrierte Umweltschutztechnologie investiert, obwohl dies wegen der noch zu erwirtschaftenden Grenzeinnahme der Altanlage noch nicht vorteilhaft wäre. Die Differenz zwischen der Annuität und der Grenzeinnahme ergibt den „Aufwand des frühzeitigen Handelns“. Dagegen existiert bei unterstellter Vorteilhaftigkeit der integrierten gegenüber der additiven Umweltschutztechnologie ein „Ertrag des frühzeitigen Handelns“. Dieser ergibt sich aus der Differenz des Kapitalwertes der integrierten Umweltschutztechnologie und des Kapitalwertes der additiven Umweltschutztechnologie zum Zeitpunkt der Einführung der Auflage, abdiskontiert auf den Zeitpunkt des frühzeitigen Handelns.

Ergibt die Differenz dieser beiden Größen einen positiven Wert, ist die integrierte Umweltschutztechnologie vorteilhaft. In der Realität ist jedoch davon auszugehen, daß Aufwand und Ertrag des frühzeitigen Handelns nicht gegenübergestellt werden. Statt dessen wird der Entscheidungsträger die zuvor angestellten Überlegungen vornehmen, so daß die eventuelle Vorteilhaftigkeit der integrierten Umweltschutztechnologie unentdeckt bleibt. Das Problem besteht also in dem Erkennen der Vorteilhaftigkeit, da dieses ein frühzeitiges aktives Handeln des Entscheidungsträgers und eine komplexe Problemlösung voraussetzt.

---

<sup>59</sup> Vorausgesetzt, die Investition wurde nicht bereits durch hohe Umweltschutzabgaben induziert.

## 5. Schlußbemerkung

Die eingehende Betrachtung von integrierten und additiven Umweltschutztechnologien aus Sicht der Investitionsrechnung hat gezeigt, daß grundsätzlich additive Umweltschutztechnologien und somit ein reaktives Investitionsverhalten der Unternehmen begünstigt wird. Es hat sich aber auch ergeben, daß durch die isolierte Betrachtung der Investitionsrechnung falsche Signale gesetzt werden können. So besteht die Gefahr, daß die ökonomische Vorteilhaftigkeit integrierter Umweltschutzinvestitionen nicht bzw. zu spät erkannt wird. Dieses Ergebnis stützt die These, daß integrierte Umweltschutztechnologien auch ökonomisch vorteilhaft sein können. Es bedarf aber einer differenzierteren Betrachtung innerhalb der Investitionsrechnung, um dies zu erkennen; eine alleinige Gegenüberstellung der Kapitalwerte reicht nicht aus.

Aber auch dieser differenzierten Vorgehensweise sind Grenzen gesetzt. Dies liegt an den entscheidenden Merkmalen der integrierten Umweltschutztechnologien. Sie kennzeichnen sich gerade durch ihre strategische Wirkung aus. Die strategischen Aspekte von Umweltschutzinnovationen (z.B. First-Mover-Advantage, Image) können aber nicht in die Investitionsrechnung integriert werden, da ihre Wirkungen meist schwer monetarisierbar ist.

Die Ergebnisse verdeutlichen, daß die Investitionsrechnung unter dem Leitbild einer nachhaltigen Wirtschaftsweise nicht zur Bewertung von Umweltschutzinvestitionen geeignet ist. Zum einen resultiert dies aus der rein monetären Betrachtungsweise, wodurch nur ein Teil der gesamten Effekte berücksichtigt werden kann. Zum anderen wird bei Anwendung der Investitionsrechnung das für eine nachhaltige Entwicklung entscheidende proaktive Verhalten behindert. Für die Investitionsplanung bedeutet dies, daß es zukünftig einer eingehenden Forschung bedarf, die sich auf die Verbesserung der Investitionsplanung vor allem auf strategischer Ebene bezieht.

---

## Literaturverzeichnis

### **Betge (1988)**

Betge, Peter: Technischer Fortschritt und Technologiebewertung aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Wiesbaden 1988.

### **Blohm; Lüder (1995)**

Blohm, Hans; Lüder, Klaus: Investition: Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung. 8., akt. u. erg. Aufl., München 1995.

### **Coenen; Klein-Vielhauer; Meyer (1996)**

Coenen, Reinhard; Klein-Vielhauer, Sigrid; Meyer, Rolf: Integrierte Umwelttechnik - Chancen erkennen und nutzen. Berlin 1996.

### **Cornell; Shapiro (1987)**

Cornell, Bradford; Shapiro, Alan C.: Corporate Stakeholders and Corporate Finance. In: Financial Management, Vol. 16, No. 1, Spring 1987, S. 5-14.

### **Deutscher Bundestag (1998)**

Deutscher Bundestag (Hrsg.): Konzept Nachhaltigkeit. Vom Leitbild zur Umsetzung. Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltigen zukunftsverträglichen Entwicklung“ des 13. Deutschen Bundestages. Bonn 1998.

### **Dyllick (1989)**

Dyllick, Thomas: Management der Umweltbeziehungen: Öffentliche Auseinandersetzungen als Herausforderung. Wiesbaden 1989.

### **Eisenführ (1996)**

Eisenführ, Martin: Investitionsrechnung. 10., überarb. u. erw. Aufl., Aachen 1996.

### **Endres (1988)**

Endres, Alfred: Der „Stand der Technik“ in der Umweltpolitik. In: WiSt, H. 2, Februar 1988, S. 83,84.

### **Feser (1996)**

Feser, Hans-Dieter: Vom End-of-Pipe zum Integrierten Umweltschutz? Die volkswirtschaftliche Perspektive. In: : Feser, Hans-Dieter; Flieger, Wolfgang; von Hauff, Michael (Hrsg.): Integrierter Umweltschutz: Umwelt- und Ressourcenschonung in der Industriegesellschaft. Regensburg 1996.

**Gerling; Schmidheiny (1996)**

Gerling, Rolf; Schmidheiny, Stephan (Hrsg.): Sustainable Development: Finanzmärkte im Paradigmenwechsel. München 1996.

**Götze; Bloech (1995)**

Götze, Uwe; Bloech, Jürgen: Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 2., überarb. u. erw. Aufl., Berlin u.a. 1995.

**Hartje (1990)**

Hartje, Volkmar, J.: Zur Struktur des „ökologisierten“ Umweltkapitalstocks: Varianten und Determinanten umweltsparender technologischer Anpassung in Unternehmen. In: Zimmermann, Klaus; Hartje, Volkmar J.; Ryll, Andreas: Ökologische Modernisierung der Produktion: Strukturen und Trends. Berlin 1990, S. 135-198.

**Huber (1995)**

Huber, Joseph: Nachhaltige Entwicklung: Strategien für eine ökologische und soziale Erdpolitik. Berlin 1995.

**Kistner; Steven (1992)**

Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion: Optimale Nutzungsdauer und Ersatzinvestitionen. In: WiSt, 21. Jg., 1992, S. 327-333.

**Kreikebaum (1992)**

Kreikebaum, Hartmut: Umweltgerechte Produktion: integrierter Umweltschutz als Aufgabe der Unternehmensführung im Industriebetrieb. Wiesbaden 1992.

**Kruschwitz (1990)**

Kruschwitz, Lutz: Investitionsrechnung, 1990.

**Lange (1978)**

Lange, Christoph: Umweltschutz und Unternehmensplanung: Die betriebliche Anpassung an den Einsatz umweltpolitischer Instrumente. Wiesbaden 1978.

**Letmathe (1993)**

Letmathe, Peter: Erfolgspotentiale durch eine ganzheitliche Planung betrieblicher Umweltschutzinvestitionen. In: Umwelt und Energie, o.Jg. (1993), Gruppe 12, S. 798-851.

**Matten; Wagner**

Matten, Dirk; Wagner, Gerd Rainer: Konzeptionelle Fundierung und Perspektiven des Sustainable Development-Leitbildes. In: Umwelt und Wirtschaftsethik. Stuttgart 1998, S. 51-79.

**Meffert; Kirchgeorg (1993)**

Meffert, Heribert; Kirchgeorg, Manfred: Das neue Leitbild Sustainable Development – der Weg ist das Ziel. In: HARVARD BUSINESS manager H. 2, 1993, S. 34-45.

**Nippel (1994)**

Nippel, Peter: Der optimale Investitionszeitpunkt unter Berücksichtigung zukünftigen technischen Fortschritts. In: WiSt Heft 11, November 1994, S. 594-596.

**Nippel (1995)**

Nippel, Peter: Investitionsplanung bei unsicherem, zukünftigem technischen Fortschritt. In: Zeitschrift für Planung, Bd.6, H. 4, 1995, S. 371-388.

**Nutzinger; Radke (1995)**

Nutzinger, Hans G.; Radke, V.: Wege zur Nachhaltigkeit. In: Nutzinger, Hans G. (Hrsg.): Nachhaltige Wirtschaftsweise und Energieversorgung – Konzepte, Bedingungen, Ansatzpunkte. Marburg 1995.

**Pohl (1997)**

Pohl, Indre: Umweltschutz als Standortfaktor: Auswirkungen auf das produzierende Gewerbe in Deutschland. Marburg 1997.

**Scherler (1996)**

Scherler, Patrik: Kommunikation mit externen Anspruchsgruppen als Erfolgsfaktor im Krisenmanagement eines Konzerns. Basel 1996.

**Spremann (1996)**

Spremann, Klaus: Wirtschaft, Investition und Finanzierung. 5., vollst. überarb.,erg. u. akt. Aufl., München; Wien 1996.

**Strasser (1996)**

Strasser, Gerd J.: Systemtheorie und Ethik als Grundlagen umweltbewußter Unternehmensführung. Wiesbaden 1996.

**Symader (1996)**

Symader, Wolfhard: Wie lebt der Industriestaat mit seinem Abstoffproblem? Ausgewählte Wirkungsketten. In: Feser, Hans- Dieter; Flieger, Wolfgang; von Hauff, Michael (Hrsg.): Integrierter Umweltschutz: Umwelt- und Ressourcenschonung in der Industriegesellschaft. Regensburg 1996, S. 95-107.

**Terborgh (1949)**

Terborgh, G.: Dynamic Equipment Policy. New York; Toronto; London 1949.

**VCI (1992)**

VCI (Hrsg.): Chemie im Dialog: Umweltbericht 1992.

**Voigt (1993)**

Voigt, Kai-Ingo: Berücksichtigung und Wirkung des technischen Fortschritts in der Investitionsplanung. In: ZfB 63. Jg. 1993, H. 10, S. 1017-1046.

**Walter (1989)**

Walter, Johann: Innovationsorientierte Umweltpolitik bei komplexen Umweltproblemen. Heidelberg 1989.

**WCED (1987)**

World Commission on Environment and Development: Our common future. In: Hauff, V. (Hrsg.): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven 1987.

**Wymmersch (1995)**

Wymeersch, Eddy: Unternehmensführung in Westeuropa. In: Die Aktiengesellschaft, 40. Jg. (1995), S. 299-316.

**Zabel (1995)**

Zabel, Hans-Ulrich: Innovationsmanagement unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Aspekte. In: UmweltWirtschaftsForum, 3. Jg., H. 4 1995, S. 9-15.

**Zabel (1997)**

Zabel, Hans-Ulrich: Entropie und Kreislaufwirtschaft. In: Steven, Marion (Hrsg.): Wirtschaftswissenschaften und Umweltkreislaufwirtschaftskonzepte. Düsseldorf 1997, S. 55-97.

**Zabel (1998)**

Zabel, Hans-Ulrich: Industriesymbiosen im Verhaltenskontext. In: Strebel, Heinz; Schwarz, Erich (Hrsg.): Kreislauforientierte Unternehmenskooperationen: Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze. Wien 1998, S. 123-164.