



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

Fakultät Wirtschaftswissenschaften

# **DRESDNER BEITRÄGE ZUR LEHRE DER BETRIEBLICHEN UMWELTÖKONOMIE**

Nr. 32/2008

Günther, E. / Nowack, M. (Hrsg.)

Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels auf  
die Siedlungsentwässerung mit Hilfe des Realoptionsansatzes

Gaitzsch, G.

## **UMWELTLEISTUNGSMESSUNG**

Herausgeber:



Lehrstuhl für  
Betriebswirtschaftslehre  
Betriebliche Umweltökonomie

ISSN 1611-9185

**Prof. Dr. Edeltraud Günther**  
**Dipl.-Volkswirt Martin Nowack**  
**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gunnar Gaitzsch**

Technische Universität Dresden  
Fakultät Wirtschaftswissenschaften  
Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre,  
insbes. Betriebliche Umweltökonomie  
01062 Dresden

Telefon: (0351) 463-3 4313

Telefax: (0351) 463-3 7764

E-Mail: [bu@mailbox.tu-dresden.de](mailto:bu@mailbox.tu-dresden.de)

[www.tu-dresden.de/wwbw/bu](http://www.tu-dresden.de/wwbw/bu)

Als wissenschaftliches elektronisches Dokument veröffentlicht auf dem Hochschulschriftenserver  
der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB) unter:

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-24242>

Diplomarbeit eingereicht: 2008

Veröffentlicht: 2008

## Vorwort

Die Bedeutung der natürlichen Umwelt in den Wirtschaftswissenschaften hat in den vergangenen Jahren kontinuierlich zugenommen: Durch die zunehmende ökologische Knappheit entwickelt sie sich zu einem ökonomisch knappen und somit entscheidungsrelevanten Parameter. Das Forschungsprogramm des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insb. Betriebliche Umweltökonomie an der Technischen Universität Dresden spiegelt sich auch im Aufbau der Lehre wider. So fließen die gewonnenen Erkenntnisse aus theoretischer und praktischer Forschung direkt in die einzelnen Lehrveranstaltungen ein. Die vorliegenden „Dresdner Beiträge zur Lehre der Betrieblichen Umweltökonomie“ sollen diesen Prozess der Verzahnung unterstützen. Inhalt der Schriftenreihe sind in erster Linie ausgewählte Diplomarbeiten des Lehrstuhls für Betriebliche Umweltökonomie, durch die der Leser Einblick in die Arbeitsschwerpunkte und Transparenz über die Arbeitsinhalte gewinnen soll.

Die Gestaltung der Schriftenreihe ist Frau Dr. Susann Silbermann zu verdanken, die Koordination der vorliegenden Schriftenreihe erfolgte durch Dipl.-Kffr. Lilly Scheibe.

Die vorliegende Ausgabe konzentriert sich auf die Auswahl einer sinnvollen Analysemethode auf Basis des Realloptionsansatzes zur Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung. In der Literatur finden unterschiedliche Bewertungstechniken und verschiedene Bewertungsansätze der Realloptionstheorie Anwendung. Die in dieser Arbeit entwickelte Analysemethode kombiniert den qualitativen und den quantitativen Bewertungsansatz miteinander und plädiert für die Bewertungstechnik des Binomialmodells. Es wird eine Methode in fünf Arbeitsschritten vorgestellt, in der Kriterienüberprüfungen hinsichtlich des Vorhandenseins von Unsicherheit und Flexibilität vorgesehen sind. Zur empirischen Anwendung der Analysemethode bietet sich als Untersuchungsgebiet die Abwasserinfrastruktur des Plattenbaugebietes Weißwasser-Süd an, da dort vielfältige Probleme infolge des demografischen Wandels auftreten. Die Analyse zeigt, dass die Kriterien zur Anwendung der entwickelten Methode, Unsicherheit und Flexibilität, hinsichtlich mehrerer Einflussfaktoren und Anpassungsmaßnahmen erfüllt sind und somit die Anwendung des Realloptionsansatzes gerechtfertigt ist. Die Anwendung der Analysemethode auf das Untersuchungsgebiet in Weißwasser offenbart für das Versorgungsunternehmen vielfältige Handlungsmöglichkeiten zum Umgang mit bestehenden Problemen und zur Anpassung an beeinflussende unsichere Faktoren. Weiterhin können mit Hilfe der Analyse die Vor- und Nachteile der ausgewählten Methode aufgezeigt werden, was für weitere Untersuchungen des Themengebietes hilfreich sein kann.

Edeltraud Günther

---

Die wissenschaftliche Fundierung der Diplomarbeit basiert auf den Ergebnissen der gleichnamigen Diplomarbeit von Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. G. Gaitzsch an der TU Dresden, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre insbesondere Betriebliche Umweltökonomie. Hochschullehrer: Prof. Dr. Edeltraud Günther / Betreuer: Dr.-Ing. J. Tränkner; Dipl.-Volkswirt M. Nowack. Für den Inhalt dieses Beitrages ist selbstverständlich allein der Autor verantwortlich.



<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Kontext und Zielsetzung.....</i>	<i>1</i>
1.2 <i>Methodisches Vorgehen.....</i>	<i>3</i>
1.3 <i>Struktur der Arbeit .....</i>	<i>3</i>
<b>2 Problematik .....</b>	<b>4</b>
2.1 <i>Der demografische Wandel in Deutschland.....</i>	<i>4</i>
2.1.1 <i>Begriff und Tendenzen.....</i>	<i>4</i>
2.1.2 <i>Einflussfaktoren auf die Siedlungsentwässerung .....</i>	<i>5</i>
2.1.3 <i>Folgen für den Betrieb der Siedlungsentwässerung .....</i>	<i>6</i>
2.1.4 <i>Mögliche Anpassungsmaßnahmen .....</i>	<i>7</i>
2.2 <i>Situation in Görlitz und Weißwasser.....</i>	<i>9</i>
2.2.1 <i>Bevölkerungsentwicklung und Stadtrückbau .....</i>	<i>9</i>
2.2.2 <i>Auswirkungen auf die Siedlungsentwässerung in Weißwasser .....</i>	<i>12</i>
2.2.3 <i>Auswirkungen auf die die Siedlungsentwässerung in Görlitz .....</i>	<i>14</i>
2.3 <i>Fazit zur Problematik .....</i>	<i>14</i>
<b>3 Grundlagen der Analyse.....</b>	<b>15</b>
3.1 <i>Nachteile der traditionellen Bewertung von Investitionsprojekten .....</i>	<i>16</i>
3.2 <i>Charakteristik des Realloptionsansatzes .....</i>	<i>17</i>
3.2.1 <i>Begriff und Merkmale von Realoptionen .....</i>	<i>17</i>
3.2.2 <i>Kriterien zur Anwendung des Realloptionsansatzes.....</i>	<i>18</i>
3.2.3 <i>Systematisierung von Ansätzen und Bewertungstechniken.....</i>	<i>23</i>
3.3 <i>Methode .....</i>	<i>27</i>
3.3.1 <i>Diskussion des Bewertungsansatzes .....</i>	<i>27</i>
3.3.2 <i>Bewertungstechnik.....</i>	<i>28</i>
3.3.3 <i>Arbeitsschritte der Analysemethode .....</i>	<i>36</i>
3.4 <i>Fazit zu den Grundlagen der Analyse.....</i>	<i>38</i>
<b>4 Anwendung der Methode .....</b>	<b>39</b>
4.1 <i>Arbeitsschritt 1: Untersuchungsgegenstand.....</i>	<i>40</i>
4.2 <i>Arbeitsschritt 2: Betroffenheit des Systems.....</i>	<i>44</i>
4.2.1 <i>Abschätzung der Betriebskosten.....</i>	<i>44</i>
4.2.2 <i>Bestimmung der Betroffenheit.....</i>	<i>45</i>
4.3 <i>Arbeitsschritt 3: Auswahl und Vergleich von Realoptionen.....</i>	<i>48</i>

---

4.3.1	Mögliche Anpassungsmaßnahmen und ihre Auswirkungen auf den Untersuchungsgegenstand.....	48
4.3.2	Überprüfung des Kriteriums Flexibilität .....	50
4.3.3	Qualitativer Vergleich und Auswahlentscheidung .....	53
4.4	<i>Arbeitsschritt 4: Quantitative Bewertung mit Binomialmodell .....</i>	<i>56</i>
4.4.1	Eingangsparameter der Berechnung .....	57
4.4.2	Darstellung der Wertentwicklung .....	60
4.4.3	Ergebnisse und Handlungsempfehlungen.....	63
4.5	<i>Arbeitsschritt 5: Implementierung.....</i>	<i>65</i>
4.6	<i>Fazit zur Analyse und Handlungsempfehlungen .....</i>	<i>67</i>
<b>5</b>	<b>Diskussion und Ausblick .....</b>	<b>68</b>
5.1	<i>Kritische Würdigung.....</i>	<i>69</i>
5.1.1	Qualitatives Vorgehen .....	69
5.1.2	Quantitative Bewertung und Binomialmodell .....	70
5.2	<i>Ausblick.....</i>	<i>72</i>
<b>6</b>	<b>Schlusswort.....</b>	<b>74</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>.....</b>	<b>76</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>.....</b>	<b>80</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>.....</b>	<b>87</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einflussfaktoren auf die Siedlungsentwässerung .....	6
Abbildung 2:	Bevölkerungsabnahme in Görlitz und Weißwasser von 1990 bis 2005.....	10
Abbildung 3:	Bevölkerungsprognose für Görlitz und Weißwasser von 2008 bis 2020.....	11
Abbildung 4:	Schema Kanalausschnitt ab APW Süd in Weißwasser .....	13
Abbildung 5:	Verlauf der Erlöse für Inhaber von Call- und Put-Optionen.....	18
Abbildung 6:	Verfahren nach Grad von Unsicherheit und Flexibilität .....	19
Abbildung 7:	Komponenten des Unternehmensumfelds .....	22
Abbildung 8:	Binomialprozess des Basiswertes bei zwei Teilschritten.....	32
Abbildung 9:	Retrograde Optionsbewertung bei zwei Teilschritten.....	34
Abbildung 10:	Arbeitsschritte der Methode.....	38
Abbildung 11:	Schema Unterteilung des Untersuchungsgegenstands.....	41
Abbildung 12:	Binomialprozess im Beispiel .....	61
Abbildung 13:	Visualisierung der Sensitivitätsanalyse.....	62
Abbildung 14:	Beeinflussung des Optionswertes durch den Kaufpreis .....	63
Abbildung 15:	Grafische Darstellung des Flexibilitätswertes .....	64
Abbildung 16:	Bild des korrodierten Abwasserschachtes.....	79

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Bevölkerungsentwicklung der Stadt- und Ortsteile von Görlitz von 1994 bis 2007 . .....	12
Tabelle 2: Systematisierung der Bewertungsverfahren und Anwender in der Literatur.....	25
Tabelle 3: Merkmalsvergleich und Autoren der unterschiedlichen Ansätze der Realloptionstheorie .....	27
Tabelle 4: Bewertung quantitativer Bewertungsverfahren .....	30
Tabelle 5: Eingangsparameter des Binomialmodells.....	35
Tabelle 6: Betriebskosten der Systemabschnitte des Untersuchungsgegenstandes .....	45
Tabelle 7: Betroffenheit des Systems durch unsichere Faktoren.....	47
Tabelle 8: Betroffenheit der Optionskandidaten durch unsichere Faktoren .....	55
Tabelle 9: Gegenüberstellung der Betroffenheit der Optionen .....	56
Tabelle 10: Eingangsdaten der Beispielrechnung mit Binomialmodell .....	60
Tabelle 11: Sensitivitätsanalyse von Eingangsgrößen .....	61
Tabelle 12: Wirkung der Steigerung der Parameter .....	65

### **Abkürzungsverzeichnis**

APW	Abwasserpumpwerk
EW	Einwohnerwert
H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
InSEK	Integriertes Stadtentwicklungskonzept
KA	Kläranlage
PDG	Partielle Differentialgleichung

### **Symbolverzeichnis**

B	Basiswert einer Option
C	Kapitalwert
CF	Cash Flows, Einzahlungsüberschüsse
d	Multiplikator bei Wertminderung
i	Risikoloser Zinssatz
j	Anzahl der Diskontierungen während der Nutzungsdauer
K	Kosten des Erwerbs einer Realloption
N	Anlagennutzungsdauer
p	Risikolose Wahrscheinlichkeit einer Wertsteigerung
PV	Barwert, englisch „present value“
t	Betrachtungszeitpunkt
u	Multiplikator bei Wertsteigerung
X	Ausübungspreis einer Option
$\sigma$	Volatilität



## 1 Einleitung

*“In financial terms, a business strategy is much more like a series of options than it is a series of static cash flows.”*

TIMOTHY A. LUEHRMAN<sup>1</sup>

Diese Diplomarbeit ist Bestandteil des Projektes „Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung“, welches der Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Betriebliche Umweltökonomie, gemeinsam mit dem Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft der Technischen Universität Dresden durchführt.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Bewertung der Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung am Beispiel der Veolia Wasser GmbH an den Standorten Görlitz und Weißwasser mit Hilfe des Realoptionsansatzes.

Die Einleitung besteht aus der Hinführung zum Gegenstand, der Formulierung der Zielsetzung sowie der Vorstellung der Struktur der Arbeit.

### 1.1 Kontext und Zielsetzung

Die derzeitige demografische Entwicklung in Deutschland bringt vielfältige Probleme für die Siedlungsentwässerung mit sich. Vor allem in den neuen Bundesländern wirken noch andere Einflüsse auf die Siedlungsentwässerung wie die Verringerung des spezifischen Wasserverbrauchs und der Rückgang des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs. Die Versorgungsunternehmen stehen vor der Frage, wie auf derartige Entwicklungen adäquat reagiert werden sollte.

Im Rahmen ihres Risikomanagements bieten sich den Unternehmen unterschiedliche Anpassungsmöglichkeiten. Allerdings sind diese Maßnahmen, die in Form von Investitionen erfolgen, hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen sehr oft mit Unsicherheit behaftet. Insofern ist die Anwendung ausschließlich solcher ökonomischen Bewertungsinstrumente empfehlenswert, die diese Unsicherheiten berücksichtigen können. Eines dieser Instrumente stellt der Realoptionsansatz dar, dem in den vergangenen Jahren eine Vielzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen gewidmet wurde.

Die Schwierigkeiten bei der Akzeptanz und Implementierung des Realoptionsansatzes als Bewertungsmaßstab von Investitionsprojekten in den Unternehmen sind vor allem auf die komplizierte Überleitung der Logik zur Bewertung von Finanzoptionen auf die Bewertung von Realoptionen zurückzuführen.<sup>2</sup> Die Ursachen für die noch geringe Verbreitung der Realop-

---

<sup>1</sup> Luehrman, T.A. (1998a), S. 90.

<sup>2</sup> Vgl. Copeland, T.; Tufano, P. (2004), S. 90 ff.; Luehrman, T.A. (1998b), S. 51; Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 98; Vgl. Gibson, W.; Morrell, P. (2004), S. 432 f.

tionstheorie werden in der komplexen und eher theoretischen Argumentation für den Ansatz gesehen.<sup>3</sup>

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine sinnvolle Methode zur Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung zu entwickeln. Dabei sollen diejenigen in der Literatur angewandten Bewertungsansätze und -techniken der Realloptionstheorie Anwendung finden, die im gegebenen Kontext eine aussagekräftige Analyse von Anpassungsmaßnahmen ermöglichen. Eine wichtige Anforderung an die zu wählende Methode ist dabei, dass eine möglichst große Anzahl von Einflussfaktoren in die Analyse Eingang findet. Außerdem soll untersucht werden, unter welchen Bedingungen die zu entwickelnde Methode generell zum Einsatz kommen kann. Die empirische Anwendung der ausgewählten Methode soll Vor- und Nachteile der Analyse offen legen und Erkenntnisse zum weiteren Umgang mit dem Themengebiet in der Praxis liefern.

Folgende Zielfrage fasst die genannten Aspekte zusammen und soll im Laufe dieser Arbeit unter Beantwortung der untergeordneten Fragestellungen beantwortet werden:

- *Wie gestaltet sich eine sinnvolle Methode auf Basis der Realloptionstheorie zur Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung?*
  - *Auf welchem Bewertungsansatz bzw. welcher Bewertungstechnik der Realloptionstheorie sollte die Analysemethode aufbauen?*
  - *Welche sind die generellen Kriterien zur Anwendung des Realloptionsansatzes und sind diese im gegebenen Kontext erfüllt?*
  - *Welche Plattenbaugebiete von Görlitz und Weißwasser sind von Problemen durch den demografischen Wandel für die Siedlungsentwässerung betroffen und wo sind demzufolge Anpassungsmaßnahmen erforderlich?*
  - *Zu welchen Erkenntnissen hinsichtlich der Methode und zu welchen Handlungsempfehlungen für das Versorgungsunternehmen führt die Analyse von Anpassungsmaßnahmen der betroffenen Gebiete?*

Angesichts der bestehenden Vorbehalte gegen die Übertragbarkeit der Realloptionstheorie auf die Praxis sowie der weit reichenden Probleme, die für die Siedlungswasserwirtschaft insbesondere durch den demografischen Wandel entstehen, versteht sich diese Arbeit vor allem als Pilotprojekt zur Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels mit Hilfe des Realloptionsansatzes. Sie konzentriert sich primär auf Vorgaben für weitere praktische Untersuchungen an realen Projekten und Situationen, für die eine vollständige Datenbasis zu erarbeiten wäre.

---

<sup>3</sup> Vgl. MÜLLER, D. (2004), S. VII; COPELAND, T.; TUFANO, P. (2004), S. 92.

## 1.2 Methodisches Vorgehen

Zur Beantwortung der Zielfrage wird eine Literaturrecherche in den Bereichen Realoptionen, demografischer Wandel und Siedlungsentwässerung durchgeführt. Das detaillierte Vorgehen sowie die Ergebnisse der Recherche befinden sich im Anhang A1.

Mit Hilfe der gefundenen Literatur in den Bereichen demografischer Wandel und Siedlungsentwässerung werden Grundlagen zur Beeinflussung der Siedlungsentwässerung durch den demografischen Wandel und durch weitere Einflussfaktoren erarbeitet. Hinzu kommen Angaben zum Umgang mit den Einflussfaktoren und zu möglichen Anpassungsmaßnahmen.

Die allgemeine Literatur im Bereich Realoptionen sowie die Schnittmenge der Literatur zu den Bereichen Siedlungsentwässerung und Realoptionen werden verwendet, um einen Überblick über bestehende Bewertungsansätze und -techniken der Realoptionstheorie zu gewinnen. Außerdem werden die Kriterien der Anwendbarkeit des Realoptionsansatzes erarbeitet. Die Gegenüberstellung der unterschiedlichen Ansätze und Techniken und deren Diskussion mit Augenmerk auf den Kontext der Arbeit führen zur Entwicklung der Analysemethode.

Die Anwendung der Analysemethode erfordert eine vorhergehende Untersuchung der Situation der Siedlungsentwässerung in den Plattenbaugebieten von Görlitz und Weißwasser. Dabei werden insbesondere die dortigen demografischen Tendenzen und der durchgeführte Stadtumbau in Betracht gezogen. Die Untersuchung erfolgt mit Hilfe von Standortbegehungen, Interviews der jeweiligen Verantwortlichen und persönlichen Datenanfragen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass sich lediglich im Plattenbaugebiet Weißwasser Probleme für die Siedlungsentwässerung ergeben und somit Anpassungsmaßnahmen erforderlich sind. Folglich wird die Analysemethode nur dort angewandt und danach hinsichtlich Ergebnissen sowie Vor- und Nachteilen ausgewertet.

## 1.3 Struktur der Arbeit

Nach diesem Einleitungskapitel stellt das zweite Kapitel allgemein diejenigen Probleme dar, die sich infolge des demografischen Wandels in Deutschland für die Abwasserentsorgung ergeben. Es fasst zusammen, welche weiteren Faktoren die Siedlungsentwässerung beeinflussen können und welche Anpassungsmaßnahmen den Versorgungsunternehmen zur Verfügung stehen. Danach erfolgt die genauere Untersuchung der Folgen des demografischen Wandels für die Siedlungsentwässerung von Plattenbaugebieten in Weißwasser und Görlitz. Das zweite Kapitel endet mit einem Fazit zur Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen an den betrachteten Standorten in Form von Investitionen.

Im dritten Kapitel wird der Realoptionsansatz anhand seiner Charakteristika von traditionellen Verfahren der Investitionsbewertung abgegrenzt. Außerdem wird eine Systematisierung bestehender Bewertungsansätze und Bewertungstechniken der Realoptionstheorie vorgenommen, um eine Diskussion derselben durchzuführen. Weiterhin enthält das dritte Kapitel Ausführungen zu Kriterien der Anwendung des Realoptionsansatzes. Im Ergebnis wird eine Methode entwickelt, welche die gesammelten Erkenntnisse vereint und die Grundlage der empirischen Untersuchung an den genannten Standorten Görlitz und Weißwasser darstellt.

Im vierten Kapitel wird die Siedlungsentwässerung im besonders vom demografischen Wandel betroffenen Plattenbaugebiet Weißwasser-Süd mit Hilfe der Analysemethode untersucht. Dabei erfolgt die Überprüfung der Kriterien zur Anwendung der Methode am realen Objekt. Weiterhin werden Handlungsempfehlungen zum Umgang mit dem demografischen Wandel und mit weiteren Einflussfaktoren am betreffenden Standort formuliert.

Das fünfte Kapitel beinhaltet die kritische Würdigung der Methode sowie der bei der Analyse getroffenen Annahmen und gibt einen Ausblick zu weiteren Forschungsanstrebungen bezüglich des Themengebietes in der Praxis.

Die Arbeit schließt im sechsten Kapitel mit der Beantwortung der Zielfrage und der ihr untergeordneten Fragestellungen.

## **2 Problematik**

Die Verknüpfung des Realloptionsansatzes mit der Problematik der Folgen der Bevölkerungsentwicklung für die Siedlungsentwässerung erfordert in erster Linie eine grundlegende Analyse der Beeinflussung der Siedlungsentwässerung durch demografische Tendenzen. Weiterhin wird in diesem Kapitel untersucht, welche anderen Faktoren die Systeme der Siedlungsentwässerung neben dem demografischen Wandel beeinflussen und damit als weitere Einflussgrößen Beachtung finden sollten. Danach werden Maßnahmen vorgestellt, die betroffenen Versorgungsunternehmen für die Anpassung an die durch die gesammelten Einflussfaktoren bestehenden Eventualitäten zur Verfügung stehen.

Nach dieser grundlegenden Untersuchung beschäftigt sich das Unterkapitel 2.2 konkret mit den beiden Untersuchungsstandorten Görlitz und Weißwasser. Entsprechend der Aufgabenstellung der Arbeit wird dabei besonders auf Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Abwasserinfrastruktur in Plattenbaugebieten dieser beiden Städte eingegangen. Die Analyse mit Hilfe des Realloptionsansatzes bietet sich dann an, wenn Maßnahmen zur Anpassung aufgrund entstehender Probleme erforderlich sind. Es wird insofern vor allem der Frage nachgegangen, an welchem der zu untersuchenden Standorte Anpassungsmaßnahmen in Form von Investitionen erforderlich sind. Das Kapitel endet mit einer Schlussfolgerung zur Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen am jeweiligen Standort.

### **2.1 Der demografische Wandel in Deutschland**

#### **2.1.1 Begriff und Tendenzen**

Das derzeitige Zusammenspiel aus Alterung der deutschen Bevölkerung und Sterbeüberschuss, d.h. einem negativen natürlichen Bevölkerungssaldo, wird als demografischer Wandel bezeichnet.<sup>4</sup> Außerdem wirken sich Wanderungsbewegungen insbesondere von den neuen zu den alten Bundesländern bzw. zwischen Stadt und Umland auf die Demografie bestimmter Regionen unterschiedlich stark aus.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Vgl. Heiland, S.; Regener, M.; Stutzriemer, S. (2004), S. 11.

<sup>5</sup> Vgl. HUMMEL, D.; LUX, A. (2007), S. 169 f.

Die gesamtdeutsche Entwicklung ist regional sehr verschieden, da die Binnenwanderung in den neuen Ländern zu einer Verstärkung des Bevölkerungsrückganges und in den alten Bundesländern zu einer Entlastung desselben führt.<sup>6</sup>

Die ostdeutschen Gebiete werden auch in Zukunft einen höheren Bevölkerungsrückgang aufweisen als die Westdeutschen. So prognostiziert Ragnitz (2004) für die östlichen Bundesländer bis 2020 eine Schrumpfung um 4 % (West: 2 %) bzw. bis 2050 eine Schrumpfung von 20 % (West: 15 %) im Vergleich zum Jahr 2000.<sup>7</sup> Wegen dieser akuten Entwicklung wird sich diese Arbeit speziell auf die Auswirkungen des demografischen Wandels in den neuen Bundesländern konzentrieren.

### **2.1.2 Einflussfaktoren auf die Siedlungsentwässerung**

Für die Erklärung der Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung müssen auch diejenigen Faktoren betrachtet werden, die zurzeit ebenso wie der demografische Wandel zu einer Verminderung des Abwasseraufkommens und zu einer Unterauslastung der Abwasserinfrastruktur führen.<sup>8</sup> Insbesondere werden Faktoren aufgezählt, die vor allem in Zukunft eine Rolle spielen könnten und damit bei der Planung von Anpassungsmaßnahmen an sich verändernde Bedingungen ebenso berücksichtigt werden müssen.

So ist speziell für die neuen Bundesländer der seit 1990 rückgängige spezifische Wasserverbrauch pro Haushalt sowie in vielen Gebieten die Verringerung des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs zu beachten.<sup>9</sup> Der spezifische Pro-Kopf-Verbrauch an Trinkwasser in Deutschland ist von 1991 bis 2004 von 144 auf 126 Liter je Einwohner und Tag gesunken.<sup>10</sup> Besonders in den neuen Bundesländern ist der starke Rückgang vermutlich auf Wasser sparendes Verhalten der Bevölkerung zurückzuführen.<sup>11</sup>

Demgegenüber wurde die Wasserinfrastruktur Ostdeutschlands nach der deutschen Wiedervereinigung zu einem großen Teil unter den Annahmen eines konstant bleibenden spezifischen Wasserverbrauchs und weiterhin steigenden Bevölkerungszahlen erneuert. Bereits aufgrund dieser fehlerhaften Prognosen sind die Systeme der Siedlungsentwässerung vielerorts überdimensioniert.<sup>12</sup>

Für die zukünftige Planung siedlungswasserwirtschaftlicher Systeme sind neben dem demografischen Wandel, spezifischen Verbrauchsrückgängen und der Verminderung des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs auch Veränderungsfaktoren wie der Klimawandel, neue ökologische Anforderungen und der technologische Fortschritt zu beachten.<sup>13</sup>

---

<sup>6</sup> Vgl. Heiland, S.; Regener, M.; Stutzriemer, S. (2004), S. 11 f.

<sup>7</sup> Vgl. Ragnitz, J. (2004), S. 4.

<sup>8</sup> Vgl. KLUGE, T. u. a. (2003), S. 40.

<sup>9</sup> Vgl. KLUGE, T. u. a. (2003), S. 42 f.

<sup>10</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2008), o. S.

<sup>11</sup> Vgl. PREISENDÖRFER, P. (1996), zitiert nach KLUGE, T. u. a. (2003), S. 30 f.

<sup>12</sup> Vgl. HUMMEL, D.; LUX, A. (2007), S. 170; KLUGE, T. u. a. (2003), S. 42 f.

<sup>13</sup> Vgl. Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2007), S. 52.

Durch den Klimawandel sind regional bedingt Veränderungen der Niederschlagsmengen und die Zunahme von Starkniederschlägen bzw. von Trockenperioden denkbar. Neue ökologische Anforderungen umfassen Vorgaben zu Regenwasserbewirtschaftung, Schadstoffelimination und Nährstoffrecycling. Infolge des technologischen Fortschritts ist in Zukunft mit Techniken zur weiteren Wasserverbrauchsreduzierung und mit der Weiterentwicklung dezentral einsetzbarer Techniken zu rechnen.<sup>14</sup>

Abbildung 1 fasst die genannten Einflussfaktoren auf die Siedlungsentwässerung zusammen. Die Faktoren Verringerung des Pro-Kopf-Verbrauchs an Trinkwasser, Rückgang des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs und Überdimensionierung der Abwasserinfrastruktur gelten besonders für die neuen Bundesländer.

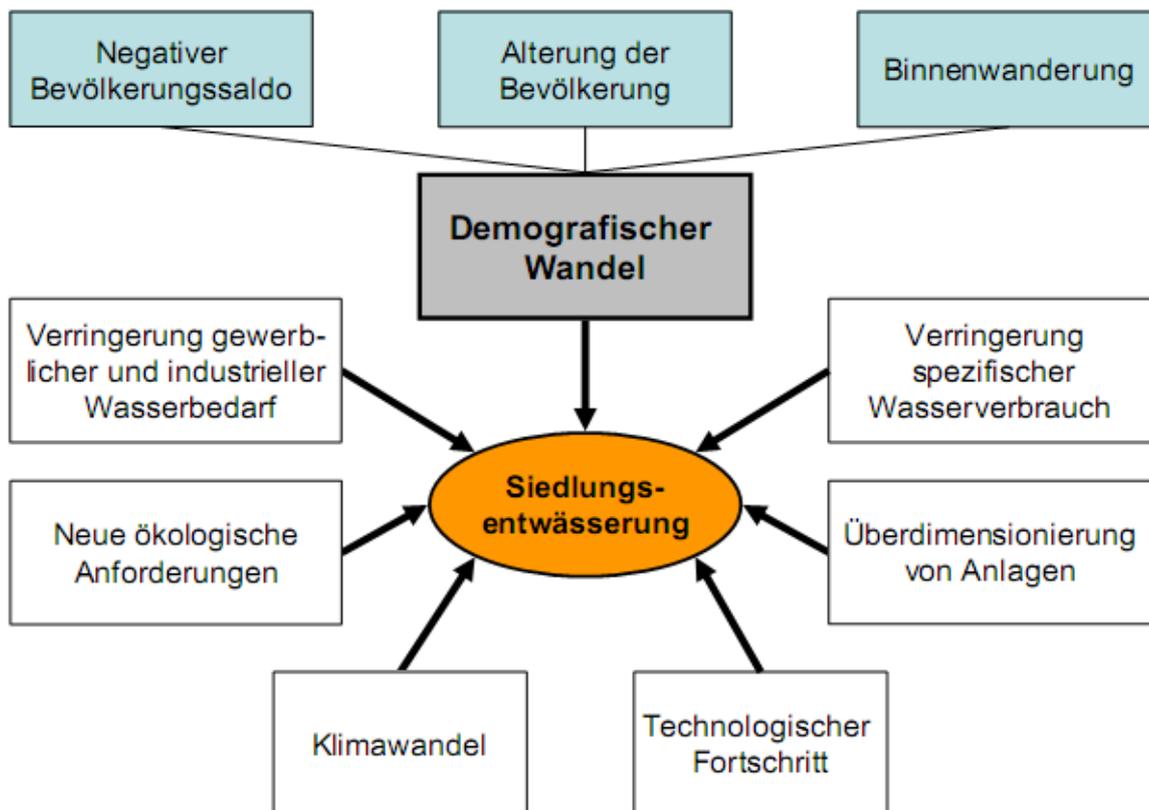


Abbildung 1: Einflussfaktoren auf die Siedlungsentwässerung  
(Eigene Darstellung)

### 2.1.3 Folgen für den Betrieb der Siedlungsentwässerung

Die Branche der Abwasserentsorgung ist durch ein hohes Investitionsniveau gekennzeichnet, da ein Großteil des Kanalisationsnetzes als sanierungsbedürftig gilt. Etwa zwei Drittel der Investitionskosten fließen in die Sanierung von Rohrleitungen und Kanalisation.<sup>15</sup> Die Fixkos-

<sup>14</sup> Vgl. Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2007), S. 52.

<sup>15</sup> Vgl. KLUGE, T. u. a. (2003), S. 42/ A5.

ten umfassen ca. 75 bis 85 % der Abwassergebühren.<sup>16</sup> Selbst wenn der spezifische Wasserverbrauch konstant bleibt, erhöhen sich bei verringertem Gesamtverbrauch durch sinkende Einwohnerzahlen die Abwasserkosten pro Person, weil annähernd die gleichen Fixkosten auf weniger Köpfe verteilt werden müssen.<sup>17</sup>

Der demografische Wandel, der Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs, die Verringerung des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs und der daraus resultierende Stadtbau bzw. Rückbau führen zu erheblich geringeren Abwassermengen<sup>18</sup> und zur weiteren Unterauslastung der an vielen Orten bereits überdimensionierten Abwasserinfrastruktur.<sup>19</sup>

Eine Unterauslastung des Systems kann Probleme im Kanalnetz, in Pumpwerken und Kläranlagen verursachen. In Freispiegelkanälen kann ein zu geringes Abwasseraufkommen zu Ablagerungen führen und in Druckleitungen nach Abwasserpumpwerken ist mit längeren Aufenthaltszeiten zu rechnen. In solchen Fällen können sich anaerobe Bedingungen im Bereich der Abwasserableitung ergeben, die die Bildung von Geruchsstoffen wie Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) begünstigen. Neben der Geruchsentwicklung kann die Entstehung von H<sub>2</sub>S die Korrosion zementgebundener Werkstoffe und Metalle zur Folge haben.<sup>20</sup>

Die Bekämpfung der Geruchs- und Korrosionsproblematik in der Kanalisation durch zusätzliche Kanalspülungen bzw. durch die Einleitung von Regenwasser kann durch die Verdünnung des Schmutzwassers zu einer schlechteren Reinigungsleistung in nachfolgenden Kläranlagen führen.<sup>21</sup> Die Anlagenkomponenten vieler Kläranlagen sind wie die Kanalisation für größere Wassermengen dimensioniert. Können sie durch verringerte Wassermengen nicht in ihrem optimalen Arbeitspunkt laufen,<sup>22</sup> werden die Betreiber von Kläranlagen wie auch die Betreiber von Abwasserkanalisationen im Endeffekt mit erhöhten Kosten konfrontiert.<sup>23</sup>

#### 2.1.4 Mögliche Anpassungsmaßnahmen

Koziol und Walther (2006) unterscheiden im Falle einer Unterauslastung des Systems der Abwasserableitung zwei Funktionsschwellen, die unterschritten werden können. Die erste Funktionsschwelle ist durch ein gestörtes Abflussverhalten und infolge dessen durch höhere Betriebskosten gekennzeichnet. Die zweite Funktionsschwelle ist der Betriebsausfall des Systems, einhergehend mit einer Änderung der Kapitalkosten für erforderliche Zusatzinvestitionen.<sup>24</sup>

---

<sup>16</sup> Vgl. KLUGE, T. u. a. (2003), S. A11.

<sup>17</sup> Vgl. HUMMEL, D.; LUX, A. (2007), S. 184.

<sup>18</sup> Die Folgen einer veränderten Abwasserzusammensetzung im Hinblick auf den zunehmenden Verbrauch von Medikamenten als weiterer Aspekt des demografischen Wandels werden in dieser Arbeit nicht näher thematisiert, nähere Informationen liefern etwa HILLENBRAND, T.; HIESSL, H. (2006), S. 1269.

<sup>19</sup> Vgl. KLUGE, T. u. a. (2003), S. 40.

<sup>20</sup> Vgl. KLUGE, T. u. a. (2003), S. A12; PÖLLMANN, C. (2008), S. 65 f.; BARJENBRUCH, M. (2004), S. 1.

<sup>21</sup> Vgl. KLUGE, T. u. a. (2003), S. A13.

<sup>22</sup> Eine Überdimensionierung kann zum Beispiel bei Abwasserpumpen zu energetisch ungünstigen Leistungsspitzen führen.

<sup>23</sup> Vgl. KLUGE, T. u. a. (2003), S. A13.

<sup>24</sup> Vgl. KOZIOL, M.; WALTHER, J. (2006), S. 261 ff.; KLUGE, T. u. a. (2003), S. A13.

Die den Versorgungsunternehmen durch Anpassungsmaßnahmen entstehenden Kosten hängen maßgeblich von der Stadtumbaustrategie ab. Ein flächiger Stadtumbau, der den Rückbau oder auch die Stilllegung der Abwasserinfrastruktur ermöglicht, ist aufgrund geringerer Gesamtkosten für die Versorgungsunternehmen günstiger als ein disperser Stadtrückbau.<sup>25</sup>

Kämpfer (2008) unterscheidet für die möglichen Anpassungen des Kanalzustandes an sich verändernde Bedingungen zwischen betrieblichen und investiven Maßnahmen.<sup>26</sup>

Unter betrieblichen Maßnahmen werden Anpassungen verstanden, die insbesondere mit höheren Betriebskosten verbunden sind, wie z.B. bedarfsabhängige Reinigungs- und Spülintervalle sowie Maßnahmen zur Geruchsbekämpfung.<sup>27</sup>

Um Ablagerungen und die daraus resultierenden Geruchsprobleme sowie eine verstärkte Korrosion in der Abwasserkanalisation zu vermeiden,<sup>28</sup> können zusätzliche Kanalspülungen vorgenommen werden. Sollten vor allem in Trennkanalisationen bei zu geringen Durchflüssen Spülungen nötig sein, kann auch die Einleitung von Fremdwasser Abhilfe schaffen.<sup>29</sup> Eine alternative betriebliche Maßnahme bei der Bekämpfung von Geruchs- und Korrosionsproblemen stellt die Zugabe von Chemikalien ins Abwasser dar. Möglichkeiten bestehen durch chemische Fällung, Erhöhung des Redoxpotentials, chemische Oxidation oder Veränderung des pH-Wertes.<sup>30</sup> Häufig angewandte Verfahren sind die Dosierung einer Calciumnitrat-Lösung zur chemischen Oxidation wie beim so genannten Nutriox®-Verfahren oder das Einbringen von Eisen(III)chloridsulfat-Lösung bzw. Eisen(II)chlorid-Lösung zur chemischen Fällung.<sup>31</sup>

Investive Maßnahmen sind dagegen vor allem durch bauliche Veränderungen wie z.B. den Leitungsrückbau gekennzeichnet.<sup>32</sup> Im Falle eines dispersen Stadtrückbaus können grabenlose Verfahren zur Querschnittsreduzierung wie das Rohrlining-Verfahren eine Anpassung der Kanalisation an geringere Durchflussmengen erreichen.<sup>33</sup> Treten Probleme in unterausgelasteten Freispiegelkanälen auf, kann eine Querschnittsreduzierung durch Systemalternativen wie Druck- oder Vakuumleitungen erzielt werden.<sup>34</sup>

Zur Verminderung von Geruchs- und Korrosionsbildung in Abwasserkanälen können auch investive Anpassungsmaßnahmen wie eine gezielte Entlüftung über der Grundleitung einzelner Bauwerke oder die Verwendung von Druckluft zur Abwasserförderung eingesetzt werden.

---

<sup>25</sup> Vgl. KOZIOL, M.; WALTHER, J. (2006), S. 264 ff.

<sup>26</sup> Vgl. Kämpfer, W. (2008), S. 91.

<sup>27</sup> Vgl. Kämpfer, W. (2008), S. 91 f.

<sup>28</sup> Für weitere Informationen zur Problematik Geruch und Korrosion siehe PÖLLMANN, C. (2008), S. 65 ff.

<sup>29</sup> Vgl. KLUGE (2003), S. A8 ff.; BARJENBRUCH, M. (2004), S. 11.

<sup>30</sup> Vgl. PÖLLMANN, C. (2008), S. 77.

<sup>31</sup> Vgl. BARJENBRUCH, M. (2004), S. 11 f.

<sup>32</sup> Vgl. Kämpfer, W. (2008), S. 91 f.

<sup>33</sup> Vgl. PÖLLMANN, C. (2008), S. 76; KLUGE (2003), S. A8.

<sup>34</sup> Vgl. KLUGE (2003), S. A8.

Zur lokalen Begrenzung von Geruchsbelästigungen ist der Einbau von Abdecksystemen in Pumpwerken und Schächten möglich.<sup>35</sup>

Nach Meinung von Hummel und Lux (2007) ist es in technischer Hinsicht für Versorgungsunternehmen sinnvoll, die bestehenden Netze für investive Anpassungsmaßnahmen zu nutzen und keine strukturellen Veränderungen außerhalb dieser vorzunehmen. Außerdem empfehlen Hummel und Lux, mehr modulare und dezentrale Lösungen bzw. Kombinationen von Teilen zentraler und dezentraler Netze zu schaffen.<sup>36</sup>

Investive Anpassungsmaßnahmen sind vor allem in den neuen Bundesländern oft mit hohen außerplanmäßigen Abschreibungen verbunden, da dort die Strukturen und Einrichtungen zu großen Teilen erst seit dem Jahr 1990 existieren.<sup>37</sup> Bei anstehenden Sanierungen und Neuinvestitionen ist der Bedarf möglichst genau zu bestimmen, damit Überdimensionierungen vermieden werden. Um die Auswirkungen auf die Preis- und Gebührenentwicklung möglichst gering zu halten, sind die jeweils günstigsten Strukturen und Maßnahmen auszuwählen. Dabei sind die Wiederherstellungskosten bestehender Entsorgungssysteme mit den Kosten alternativer Systeme zu vergleichen.<sup>38</sup>

Zur Veranschaulichung der Auswirkungen des demografischen Wandels am realen Objekt folgt eine Situationsbeschreibung für die Untersuchungsgebiete Görlitz und Weißwasser.

## **2.2 Situation in Görlitz und Weißwasser**

Ziel dieses Unterkapitels ist es, die Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung in den Plattenbaugebieten von Görlitz und Weißwasser zu untersuchen. Dazu erfolgt nach einer kurzen Beschreibung der Bevölkerungsentwicklung und des demografisch bedingten Stadtrückbaus eine Untersuchung der Konsequenzen für die Siedlungsentwässerung in diesen Gebieten.

### **2.2.1 Bevölkerungsentwicklung und Stadtrückbau**

Von der zunehmenden Alterung der Bevölkerung, verbunden mit dem Wegzug vor allem junger Menschen im Alter von bis zu 30 Jahren ist das Bundesland Sachsen besonders betroffen. So weist der Freistaat im Jahr 2004 den höchsten Altersdurchschnitt aller Bundesländer mit 44,4 Jahren und seit dem Jahr 1989 eine negative Wanderungsbilanz auf.<sup>39</sup> Die in dieser Arbeit betrachteten Städte Görlitz und Weißwasser sind seit 1990 sogar durch eine im sächsischen Vergleich überdurchschnittliche Bevölkerungsabnahme gekennzeichnet, wie die Daten des statistischen Landesamtes des Freistaates Sachsen (2008)<sup>40</sup> in Abbildung 2 verdeutlichen.

---

<sup>35</sup> Vgl. BARJENBRUCH, M. (2004), S. 8 ff.

<sup>36</sup> Vgl. HUMMEL, D.; LUX, A. (2007), S. 186.

<sup>37</sup> Vgl. HUMMEL, D.; LUX, A. (2007), S. 185.

<sup>38</sup> Vgl. Arbeitsgemeinschaft Zukunftsfähige wasserversorgung und Abwasserentsorgung in Brandenburg (Hrsg.) (2007a), S. 2 f.; Arbeitsgemeinschaft Zukunftsfähige wasserversorgung und Abwasserentsorgung in Brandenburg (Hrsg.) (2007b), S. 2.

<sup>39</sup> Vgl. SÄCHSISCHE STAATSKANZLEI (Hrsg.) (o. J.), o. S.

<sup>40</sup> Vgl. Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (Hrsg.) (2008), o. S.

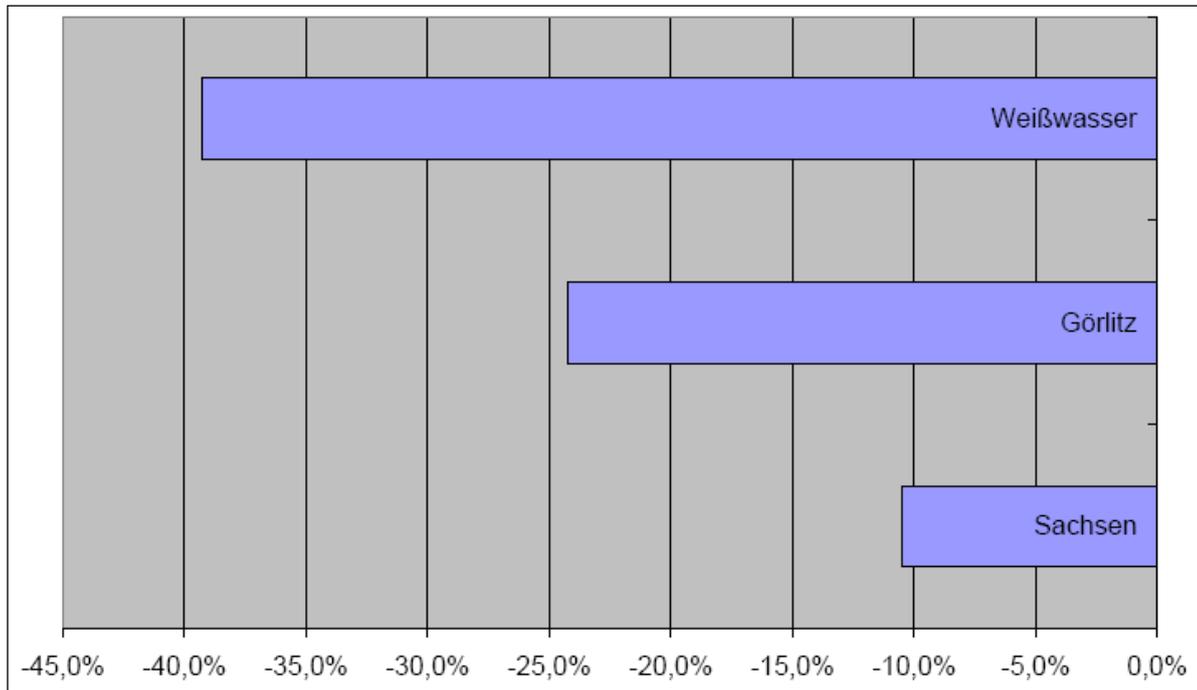


Abbildung 2: Bevölkerungsabnahme in Görlitz und Weißwasser von 1990 bis 2005

(Eigene Darstellung)

Für die Prognose der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung in beiden Städten werden in dieser Arbeit die Daten der 4. Regionalisierten Bevölkerungsprognose für den Freistaat Sachsen bis 2020 verwendet, da diese sehr ausführlich in drei Varianten vorliegt. Die Variante eins bezieht sich auf die Annahmen des Freistaates Sachsen zum Wanderungsaustausch mit dem Bundesgebiet und zur Lebenserwartung, während bei den beiden anderen Varianten nach vorläufigen und endgültigen Annahmen des Statistischen Bundesamtes unterschieden wird.<sup>41</sup>

Abbildung 3 stellt die prognostizierte Bevölkerungsabnahme von 2008 bis 2020 für die Städte Görlitz und Weißwasser sowie für das Land Sachsen in den drei Varianten grafisch dar.<sup>42</sup>

<sup>41</sup> Vgl. Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (Hrsg.) (2008), o. S.

<sup>42</sup> Vgl. Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (Hrsg.) (2008), o. S.

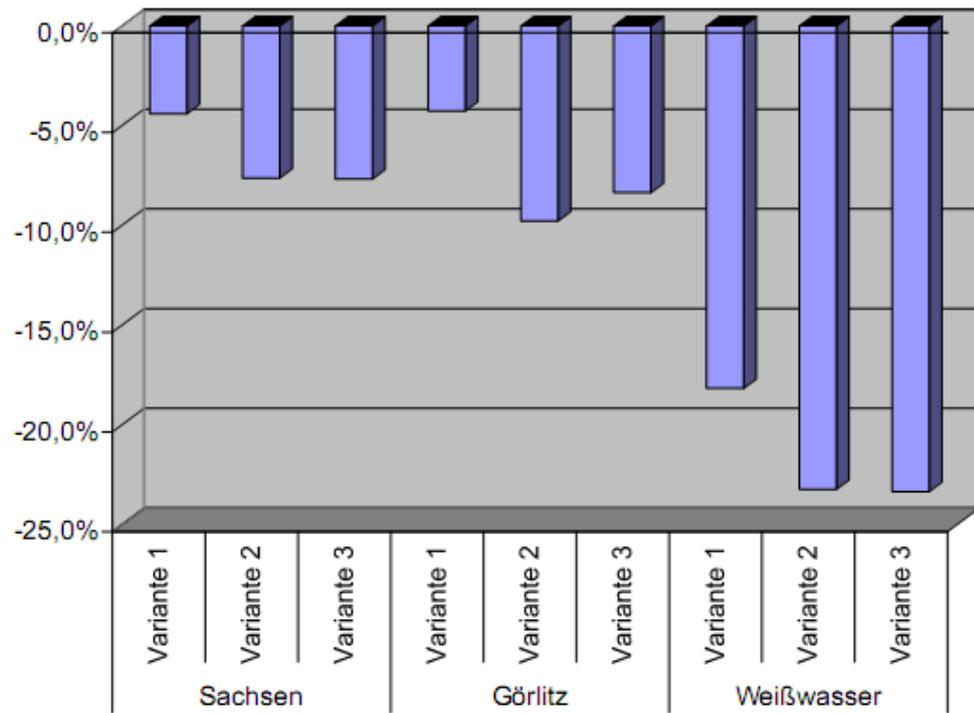


Abbildung 3: Bevölkerungsprognose für Görlitz und Weißwasser von 2008 bis 2020

(Eigene Darstellung)

Dabei wird deutlich, dass auch zukünftig in Görlitz und Weißwasser mit einem weiteren Bevölkerungsrückgang zu rechnen ist. Für Weißwasser wird ein im sächsischen Vergleich überdurchschnittlicher Bevölkerungsrückgang prognostiziert, wohingegen der Rückgang in Görlitz etwa im sächsischen Durchschnitt liegen soll.

Beide Städte sind durch die einschneidende Veränderung der Bevölkerungszahl bereits von Stadtrückbau betroffen. In Weißwasser erfolgt aufgrund der Einigung über ein integriertes Stadtentwicklungskonzept (InSEK) im Rahmen des Bund-Länder-Programms „Stadtumbau Ost“<sup>43</sup> ein flächiger Rückbau der Plattenbaugebiete im Stadtteil Weißwasser-Süd. Das 2001 beschlossene Konzept beinhaltet den Abriss von ca. 5.000 Wohneinheiten bis zum Jahr 2010, verbunden mit der Umsiedelung der betroffenen Bewohner in den Stadtkern.<sup>44</sup>

Die Bevölkerungsentwicklung in Görlitz verläuft je nach betrachtetem Stadtteil sehr unterschiedlich, wie die Daten des Amtes für öffentliche Ordnung Görlitz (Hrsg.) (2008) zur Bevölkerungsentwicklung von 1994 bis 2007 in Tabelle 1 deutlich machen.<sup>45</sup>

<sup>43</sup> Vgl. STADTVERWALTUNG WEIßWASSER (Hrsg.) (o. J.), o. S.

<sup>44</sup> Vgl. Kabisch, S.; Peter, A.; Bernt, M. (2007), S. 38 ff.

<sup>45</sup> Vgl. AMT FÜR ÖFFENTLICHE ORDNUNG GÖRLITZ (Hrsg.) (2008), o. S.; jeweils zum 31. Dezember des betreffenden Jahres.

Tabelle 1: Bevölkerungsentwicklung der Stadt- und Ortsteile von Görlitz von 1994 bis 2007

(Eigene Darstellung)

Stadt- und Ortsteile	Bevölkerungszahl	Bevölkerungszahl	Änderung der Bevölkerungszahl
	1994	2007	
<b>Biesnitz</b>	2.207	3.979	+ 80 %
<b>Hagenwerder</b>	1.308	940	- 28 %
<b>Historische Altstadt</b>	2.074	2.341	+ 13 %
<b>Innenstadt</b>	16.980	14.050	- 17 %
<b>Klingewalde</b>	418	630	+ 51 %
<b>Königshufen</b>	15.552	8.882	- 43 %
<b>Nikolaivorstadt</b>	1.196	1.472	+ 23 %
<b>Rauschwalde</b>	7.375	6.338	- 14 %
<b>Schlauroth</b>	322	358	+ 11 %
<b>Südstadt</b>	10.850	8.760	- 19 %
<b>Tauchritz</b>	245	201	- 18 %
<b>Weinhübel</b>	8.831	6.127	- 31 %

Die beiden einzigen Plattenbaugebiete der Stadt, Königshufen und Weinhübel, sind zwischen 1994 und 2007 im Hinblick auf den relativen Bevölkerungsrückgang mit - 43 % bzw. - 31 % die am schlimmsten betroffenen Gebiete in Görlitz.

Da in dieser Arbeit vornehmlich die Auswirkungen des demografischen Wandels auf Plattenbaugebiete betrachtet werden sollen, konzentriert sie sich für Görlitz ausschließlich auf Königshufen und Weinhübel. In beiden Stadtteilen findet ein disperser Rückbau durch den Abriss einzelner Plattenbauten statt.<sup>46</sup> Der Hauptgrund für diese aus Sicht der Stadtumbaustrategie nachteilige Entwicklung wird in der geringen Bereitschaft der Bewohner gesehen, ihre vergleichsweise preisgünstigen Wohnungen zu verlassen.<sup>47</sup> Ein für die Versorgungsunternehmen günstigerer flächiger Rückbau wie in Weißwasser kann so nicht erreicht werden.

In den beiden folgenden Abschnitten soll dargestellt werden, welche Auswirkungen die Bevölkerungsentwicklung sowie der daraus resultierende Stadtrückbau auf die Siedlungsentwässerung der Plattenbaugebiete in Weißwasser und Görlitz haben.

### 2.2.2 Auswirkungen auf die Siedlungsentwässerung in Weißwasser

Die Abwasserkanalisation der Stadt Weißwasser ist zum größten Teil als Trennsystem mit Druckentwässerung konzipiert. Durch den flächenhaften Stadtrückbau und den Wegfall insbe-

<sup>46</sup> Vgl. Brand, M. (2008b), o. S.

<sup>47</sup> Vgl. Etscheit, G. (2008), S. 2.

sondere der Plattenbausiedlungen in Weißwasser-Süd ist es für das Versorgungsunternehmen möglich, die nicht mehr benötigten Leitungen stillzulegen. Laut InSEK müssen diese Leitungen danach nicht zurückgebaut werden.<sup>48</sup>

Nach Angaben des Bereichsleiters für Abwasser in Weißwasser treten Betriebsprobleme in den noch vorhandenen Sammelkanälen des Stadtteils Weißwasser-Süd auf. Das aus umliegenden Gemeinden ankommende Abwasser wird in das Abwasserpumpwerk (APW) Süd geleitet und von dort bis zu einem Übergangsschachtbauwerk gepumpt. Vom Schachtbauwerk aus wird das ankommende Abwasser durch eine Freispiegelleitung bis zur zentralen Kläranlage (KA) weiter geleitet.<sup>49</sup> Dieser Systemausschnitt wird in Abbildung 4 dargestellt.

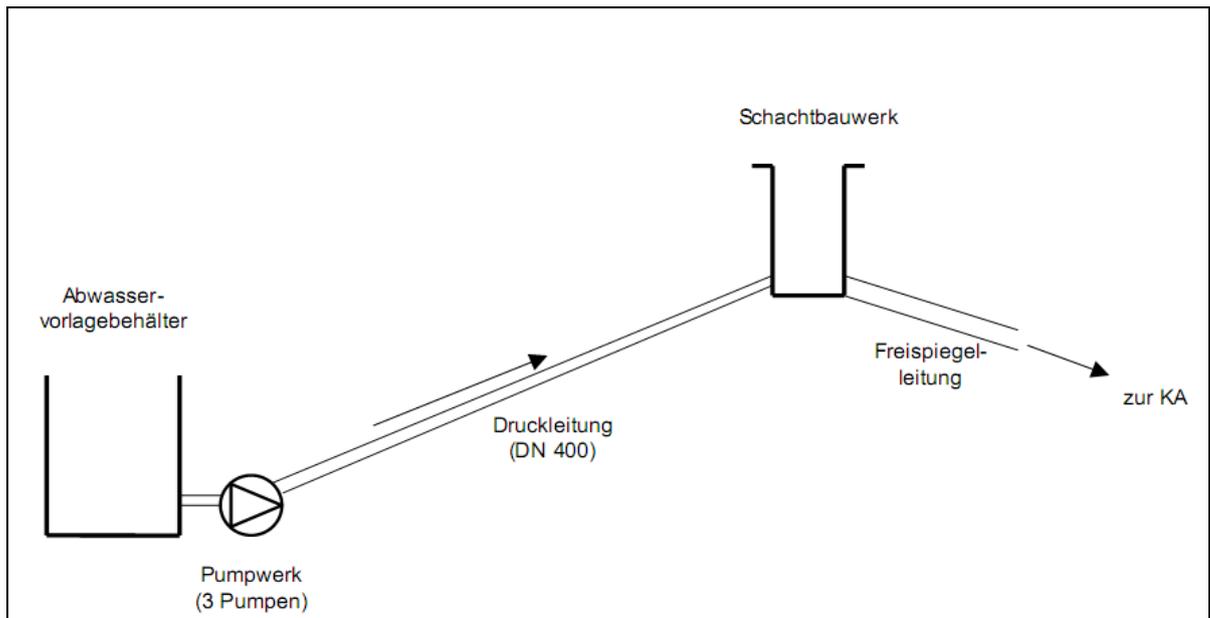


Abbildung 4: Schema Kanalausschnitt ab APW Süd in Weißwasser  
(Eigene Darstellung)

Die Abwasserpumpen und die Druckleitung sind trotz des Neuanschlusses der Gemeinden Weißkeißel und Krauschwitz im Jahr 2008 durch den Wegfall der Plattenbausiedlungen im Stadtteil Weißwasser-Süd und die daraus resultierenden geringeren Abwassermengen überdimensioniert, was zu langen Aufenthaltszeiten des Abwassers und zu energetisch ungünstigen Leistungsspitzen im APW führt.<sup>50</sup>

Die Folgen dieser Überdimensionierung sind ein erhöhter Stromverbrauch der Abwasserpumpen und die Bildung von Schwefelwasserstoff im Kanal, wodurch es zu starker Geruchsentwicklung und zu Betonkorrosion am nachfolgenden Schachtbauwerk und an der Freispiegelleitung kommt.<sup>51</sup> Die Kläranlage wurde ursprünglich für 46.000 Einwohnerwerte (EW) und in

<sup>48</sup> Vgl. Hülse, M. (2008a), o. S.

<sup>49</sup> Vgl. Hülse, M. (2008b), o. S.

<sup>50</sup> Vgl. Hülse, M. (2008b), o. S.

<sup>51</sup> Vgl. HÜLSE, M. (2008a), o. S.; Bilder der korrodierten Schachtbauwerkes befinden sich im Anhang A2.

zwei Reinigungsstraßen konzipiert. Bereits heute wird sie nur noch mit einem Anschlussgrad von etwa 23.000 EW und über eine Reinigungsstraße betrieben.<sup>52</sup>

### **2.2.3 Auswirkungen auf die die Siedlungsentwässerung in Görlitz**

Die vom Bevölkerungsrückgang stark betroffenen Plattenbaugebiete Königshufen und Weinhübel werden im Abwassertrennsystem entwässert, wobei durch das vorhandene natürliche Gefälle Freispiegelleitungen zum Einsatz kommen. Laut Aussage der Bereichsleitung für Abwasserentsorgung in Görlitz treten derzeit weder Probleme durch den rückgängigen Abwasseranfall in beiden Gebieten auf, noch ist für die Zukunft mit auftretenden Komplikationen zu rechnen.<sup>53</sup>

Als Grund für den weiterhin reibungsfreien Ablauf der Abwasserentsorgung wird vor allem das bestehende hohe Geländegefälle gesehen, wodurch es zu keiner Ablagerung von Schmutzpartikeln in den Kanälen und folglich nicht zu erhöhten Kosten für zusätzliche Spülungen oder den Chemikalieneinsatz kommt. Die Reinigungsstufen der zentralen Kläranlage für Görlitz sind in mehreren Straßen konzipiert, wodurch bei einer weiteren Verringerung des Abwasseranfalls durch die Außerbetriebnahme von Reinigungsstraßen flexibel auf den Bevölkerungsrückgang reagiert werden könnte. In den nächsten Jahren wird zudem nicht mit Erneuerungsinvestitionen in die Abwasserinfrastruktur gerechnet, weshalb auch keine Anpassungsmaßnahmen an zukünftige unsichere Faktoren in Betracht gezogen werden.<sup>54</sup>

### **2.3 Fazit zur Problematik**

Die demografische Entwicklung ist ein kritischer Faktor für Planung, Bau und Betrieb von Wasserversorgungs- und Entsorgungssystemen.<sup>55</sup> Die zusammengefassten demografischen Daten allein stellen jedoch keine ausreichende Planungsgrundlage dar; ebenso entscheidend sind die interregionale Migration und die damit verbundene Stärkung der demografischen Unterschiede.<sup>56</sup>

Die Analyse der Einflussfaktoren auf die Siedlungsentwässerung lässt erkennen, dass der für die Entsorgung maßgebende Abwasseranfall außer vom demografischen Wandel besonders in den neuen Bundesländern von einer Vielzahl anderer derzeit wirkender Faktoren abhängt. Insgesamt führen diese Faktoren außer zu geringeren Abwassermengen zu einer Unterauslastung der Abwasserinfrastruktur, wodurch für die Betreiber hohe Kosten für Anpassungsmaßnahmen entstehen.

Die Versorgungsunternehmen können den sich durch die Einflussfaktoren ergebenden Eventualitäten nur bei bestehenden Handlungsoptionen flexibel gegenüberreten. Angesichts einer Vielzahl baulicher und investiver Möglichkeiten sind diejenigen Anpassungsmaßnahmen aus-

---

<sup>52</sup> Vgl. Stadtwerke Weißwasser GmbH (Hrsg.) (2008c), o. S.; Hülse, M. (2008a), o. S.

<sup>53</sup> Vgl. Brand, M. (2008b), o. S.

<sup>54</sup> Vgl. Brand, M. (2008a), o. S.

<sup>55</sup> Vgl. HUMMEL, D.; LUX, A. (2007), S. 169.

<sup>56</sup> Vgl. HUMMEL, D.; LUX, A. (2007), S. 186.

zuwählen, die den jeweiligen örtlichen Rahmenbedingungen sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht entsprechen.<sup>57</sup>

Die Beispiele Görlitz und Weißwasser zeigen, dass die Auswirkungen des demografischen Wandels und des damit verbundenen Stadtrückbaus sehr stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängen. Im Normalfall wäre ein disperser Stadtrückbau wie in den Görlitzer Plattenbaugebieten Königshufen und Weinhübel mit erhöhten Betriebskosten für die Betreiber der Abwasserinfrastruktur verbunden.<sup>58</sup> Das natürliche Gefälle in diesen beiden Stadtteilen verhindert jedoch einen Anstieg der jährlichen Kosten. Trotz des bisher überdurchschnittlich hohen Bevölkerungsrückganges bestehen demzufolge keine Probleme für die Siedlungsentwässerung in Görlitz und es sind, zumindest derzeit, keine Anpassungsmaßnahmen vorgesehen.

Durch das InSEK für die Stadt Weißwasser wird im Hinblick auf die finanziellen Gesamtaufwendungen für die technische Infrastruktur ein relativ günstiger Stadtrückbau betrieben.<sup>59</sup> Dennoch ergeben sich für die noch vorhandene Abwasserinfrastruktur im vom Komplettückbau betroffenen Stadtteil Weißwasser-Süd zahlreiche Probleme durch den demografischen Wandel. Betriebliche und investive Anpassungsmaßnahmen für die vorhandenen Komponenten der Abwasserinfrastruktur sollten zur Bekämpfung dieser Probleme durchdacht und sinnvoll bewertet werden.

Bei der Planung und wirtschaftlichen Bewertung von Anpassungsmaßnahmen in Form von Investitionen sollten außer den derzeitigen auch zukünftige Einflussfaktoren wie der Klimawandel und neue ökologische Anforderungen Beachtung finden. Der Prozess der Entscheidungsfindung ist für die Versorgungsunternehmen mit Unsicherheit behaftet<sup>60</sup> und, wie bereits erläutert, von vielen Variablen abhängig. Die für diese Arbeit zu entwickelnde Methode zur Entscheidungsfindung über mögliche Investitionen sollte möglichst alle relevanten Unsicherheiten berücksichtigen können.

Für die Anwendung der Methode bieten sich die Untersuchungsobjekte an, bei denen Anpassungsmaßnahmen notwendig sind. Angesichts des noch zu erwartenden, im sächsischen Vergleich überdurchschnittlich hohen Bevölkerungsrückganges für die Stadt Weißwasser und der bereits auftretenden Probleme für die Abwasserinfrastruktur in Weißwasser-Süd soll dieser Stadtteil im weiteren Verlauf der Arbeit bezüglich Anpassungsmaßnahmen in Form von Investitionen untersucht werden.

### 3 Grundlagen der Analyse

Ziel dieses Kapitels ist es, eine Analysemethode für die Bewertung möglicher Anpassungsmaßnahmen in Form von Investitionen unter dem Einfluss unsicherer Faktoren zu entwickeln. Das Kapitel beginnt mit der Aufzählung der Schwachpunkte traditioneller Methoden der In-

---

<sup>57</sup> Vgl. Barjenbruch, M. (2004), S. 7.

<sup>58</sup> Vgl. KOZIOL, M.; WALTHER, J. (2006), S. 264 ff.

<sup>59</sup> Vgl. Hülse, M. (2008a), o. S.

<sup>60</sup> Vgl. Hummel, D.; Lux, A. (2007), S. 186; Arboleda, C.A., Abraham, D.M. (2006), S. 263.

vestitionsbewertung, woraufhin anschließend die Merkmale des Realloptionsansatzes vorgestellt werden.

Die Entscheidung, ob die Anwendung des Realloptionsansatzes sinnvoll ist, ist eng mit dem Vorhandensein von Unsicherheit und Flexibilität verknüpft, weshalb beide Kriterien näher untersucht werden. Außerdem umfasst die Realoptionstheorie unterschiedliche Bewertungsansätze und ein breites Spektrum an möglichen Bewertungstechniken, welche ebenfalls charakterisiert werden. Danach werden die Bewertungsansätze und -techniken der Realoptionstheorie diskutiert. Auf Grundlage dieser theoretischen Betrachtungen erfolgt anschließend die Entwicklung der Analysemethode.

### **3.1 Nachteile der traditionellen Bewertung von Investitionsprojekten**

Zu den traditionellen und heute in Unternehmen vielfach akzeptierten Methoden zur Bewertung von Investitionsprojekten zählen unter anderem die Methode der internen Projektverzinsung und die Kapitalwertmethode. In beiden Fällen handelt es sich um dynamische Verfahren, deren Vorteil gegenüber den so genannten statischen Verfahren<sup>61</sup> darin besteht, dass zeitliche Unterschiede zwischen Ein- und Auszahlungen berücksichtigt werden können.<sup>62</sup> Die Entscheidung über die Realisierung einer Investition wird bei den dynamischen Methoden zu Beginn der Projektbewertung auf Basis der erwarteten, auf den betreffenden Zeitpunkt diskontierten zukünftigen Einzahlungsüberschüsse<sup>63</sup> und unter Einbezug unternehmensspezifischer Risiken getroffen.<sup>64</sup>

Vor vielen Investitionsentscheidungen besteht Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Einzahlungsüberschüsse,<sup>65</sup> die durch im Laufe der Zeit neu erhaltene Informationen nach und nach beseitigt werden kann.<sup>66</sup> Ein flexibles Management ist imstande, auf neue Informationen zu reagieren und gegebenenfalls ein Projekt zu überdenken. Damit eröffnen sich Managern neue strategische Optionen, wie etwa mit der Projektdurchführung zu warten, ein Projekt zu erweitern oder ein Projekt abubrechen.<sup>67</sup> Der in Optionen enthaltene „Flexibilitätswert“<sup>68</sup> kann mit Hilfe traditioneller Methoden nicht bewertet werden. Dies führt zur Unterschätzung des wahren Projektwertes und kann die Ablehnung einer sinnvollen Investition zur Folge haben.<sup>69</sup>

---

<sup>61</sup> Ein Beispiel ist die Berechnung der Amortisationszeit.

<sup>62</sup> Vgl. MÜLLER, D. (2004), S. 83.

<sup>63</sup> Alternative Bezeichnung ist Cash Flows.

<sup>64</sup> Vgl. KAYALI, M.M. (2006), S. 283; Busch, T.; Hoffmann, V.H. (2006), S. 5; Spinler, S.; Huchzermeier, A. (2004), S. 66.

<sup>65</sup> Vgl. Spinler, S.; Huchzermeier, A. (2004), S. 66.

<sup>66</sup> Vgl. Busby, J.S.; Pitts, C.G.C. (1997), S. 170.

<sup>67</sup> Vgl. KAYALI, M.M. (2006), S. 282.

<sup>68</sup> MÜLLER, D. (2004), S. 94.

<sup>69</sup> Vgl. YUAN, F.C. (2007), S. 1.

Traditionelle Bewertungsmethoden sind im Gegensatz zu Optionspreismodellen zudem nicht in der Lage, irreversible, d.h. mit versunkenen Kosten verbundene, Investitionen unter Unsicherheit richtig zu beurteilen.<sup>70</sup>

Bei der Berücksichtigung des projektbezogenen Risikos betrachten traditionelle Verfahren der Investitionsbewertung nur mögliche negative Entwicklungen der zukünftigen Zahlungsströme. In der Regel wird unsicheren Projekten ein höherer und weniger unsicheren Projekten ein niedrigerer Diskontierungszinssatz zugeordnet. Die Möglichkeit positiver Entwicklungen der zukünftigen Einzahlungsüberschüsse hingegen wird bei traditionellen Bewertungsmethoden nicht berücksichtigt.<sup>71</sup>

### **3.2 Charakteristik des Realoptionsansatzes**

In diesem Unterkapitel werden Merkmale von Realoptionen und Kriterien zur Anwendung des Realoptionsansatzes angesprochen. Danach erfolgt ein Überblick über Bewertungsansätze und -techniken der Realoptionstheorie.

#### **3.2.1 Begriff und Merkmale von Realoptionen**

Der Begriff „Realoption“ entspricht laut Myers (1977) der Möglichkeit zum Erwerb von realen Sachgütern zu günstigen Konditionen im Rahmen der Investitionsstrategie.<sup>72</sup> Ist diese Möglichkeit bzw. Handlungsoption durch Unsicherheit, Flexibilität und Irreversibilität gekennzeichnet, weist sie starke Ähnlichkeiten mit einer Finanzoption auf.<sup>73</sup>

In Analogie zu Kaufs- und Verkaufs-Optionen<sup>74</sup> in der Finanzmathematik kann das Risiko negativer Entwicklungen des jeweils zugrunde liegenden Basiswertes für den Optionsinhaber begrenzt werden, wohingegen die Möglichkeit einer positiven Kursentwicklung unbeschränkt ausgeschöpft werden kann.<sup>75</sup> Durch die Flexibilität, eine Option im Negativfall nicht ausüben zu müssen, entsteht eine asymmetrische Erlösfunktion für den Optionsinhaber.<sup>76</sup> Abbildung 5 verdeutlicht den Verlauf der Erlöse aus Sicht des Optionsinhabers für Call- und Put-Optionen, wobei jeweils  $X$  den Ausübungspreis der Option und  $K$  die Kosten zum Erwerb der Option symbolisieren.

---

<sup>70</sup> Vgl. Schaub, H. (1996), S. 93.

<sup>71</sup> Vgl. Busch, T.; Hoffmann, V.H. (2006), S. 5.

<sup>72</sup> Vgl. MYERS, S.C. (1977), S. 169.

<sup>73</sup> Vgl. MÜLLER, D. (2004), S. 93.

<sup>74</sup> Diese werden auch als Call- bzw. Put-Optionen bezeichnet.

<sup>75</sup> Vgl. Trigeorgis, L. (2005), S. 26.

<sup>76</sup> Vgl. Ho, S.P.; Liu, L.Y. (2001), S. 144.

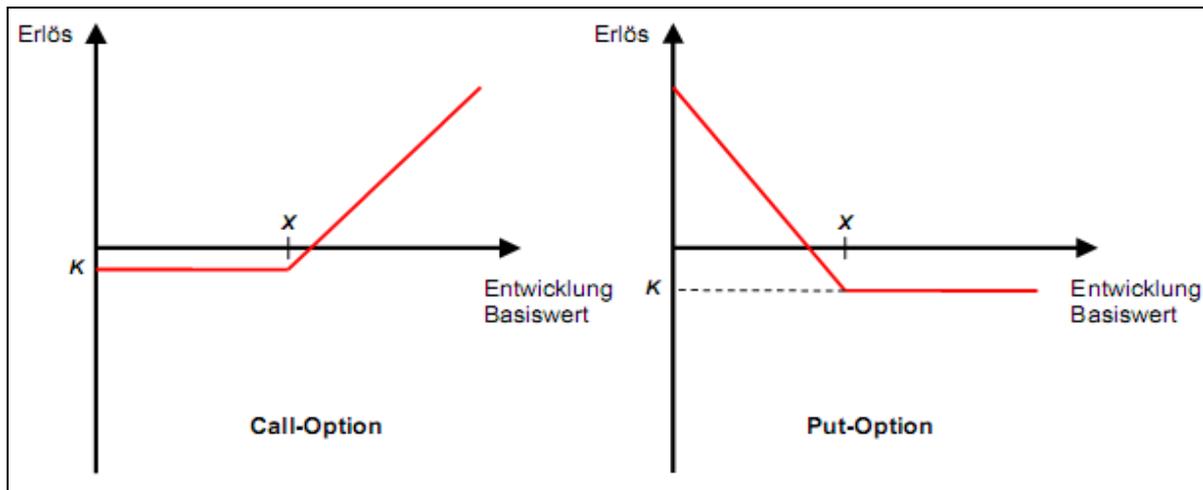


Abbildung 5: Verlauf der Erlöse für Inhaber von Call- und Put-Optionen

(In Anlehnung an Spinler, S.; Huchzermeier, A. (2004), S. 67)

Allgemein wird zwischen „europäischen“ und „amerikanischen“ Optionstypen unterschieden, wobei erstgenannte erst am Tag ihres Verfalls und letztgenannte während ihrer gesamten Laufzeit eingelöst werden können. In der Realität existieren in der Regel amerikanische Realloptionen, da das zuständige Management mehrere Entscheidungszeitpunkte für mögliche Änderungen des Projektes zur Verfügung hat.<sup>77</sup>

Eine weitere wichtige Eigenschaft stellt die Exklusivität einer Option dar. Eine Realloption gilt dann als exklusiv, wenn sie wie eine Finanzoption nur dem Optionsinhaber zur Verfügung steht. Haben jedoch auch andere Mitbewerber ein Anrecht auf die Realloption, gilt diese als nicht exklusiv.<sup>78</sup>

### 3.2.2 Kriterien zur Anwendung des Realloptionsansatzes

Der Realloptionsansatz als Instrument zur Investitionsbewertung soll keine generelle Alternative zur Kapitalwertmethode sein, sondern stattdessen als Ergänzung zur bisherigen Logik der Diskontierung zukünftiger Einzahlungsüberschüsse verstanden werden.<sup>79</sup> Im Fall von „Jetzt-oder-Nie“-Entscheidungen, also bei fehlender Flexibilität aus Mangel an Optionen für den Entscheidungsträger, kommen traditionelle Bewertungsansätze zum gleichen Ergebnis wie der Realloptionsansatz.<sup>80</sup> Ist dagegen Flexibilität bezüglich der Ausübung und des Durchführungszeitpunktes<sup>81</sup> eines Projektes unter Unsicherheit gegeben, kann ihr zusätzlicher Wert mit Hilfe

<sup>77</sup> Vgl. Busch, T.; Hoffmann, V.H. (2006), S. 7; Cortazar, G. (2000), S. 611.

<sup>78</sup> Vgl. Smit, H.T.J., Trigeorgis, L. (2006), S. 410; Odening, M.; Mußhoff, O. (2001), S. 487.

<sup>79</sup> Vgl. TRIGEORGIS, L. (2005), S. 26; LUEHRMAN, T.A. (1998b), S. 52.

<sup>80</sup> Vgl. LUEHRMAN, T.A. (1998b), S. 52.

<sup>81</sup> Vgl. ODENING, M.; MUSSHOF, O. (2001), S. 482.

des Realoptionsansatzes bestimmt werden. Der Flexibilitätswert ergibt zusammen mit dem Kapitalwert einer Investition den Gesamtwert der Realoption.<sup>82</sup>

Abbildung 6 veranschaulicht, bei welchem Grad von Unsicherheit und Managementflexibilität andere Verfahren als die traditionellen Investitionsbewertungsverfahren angewandt werden sollten.

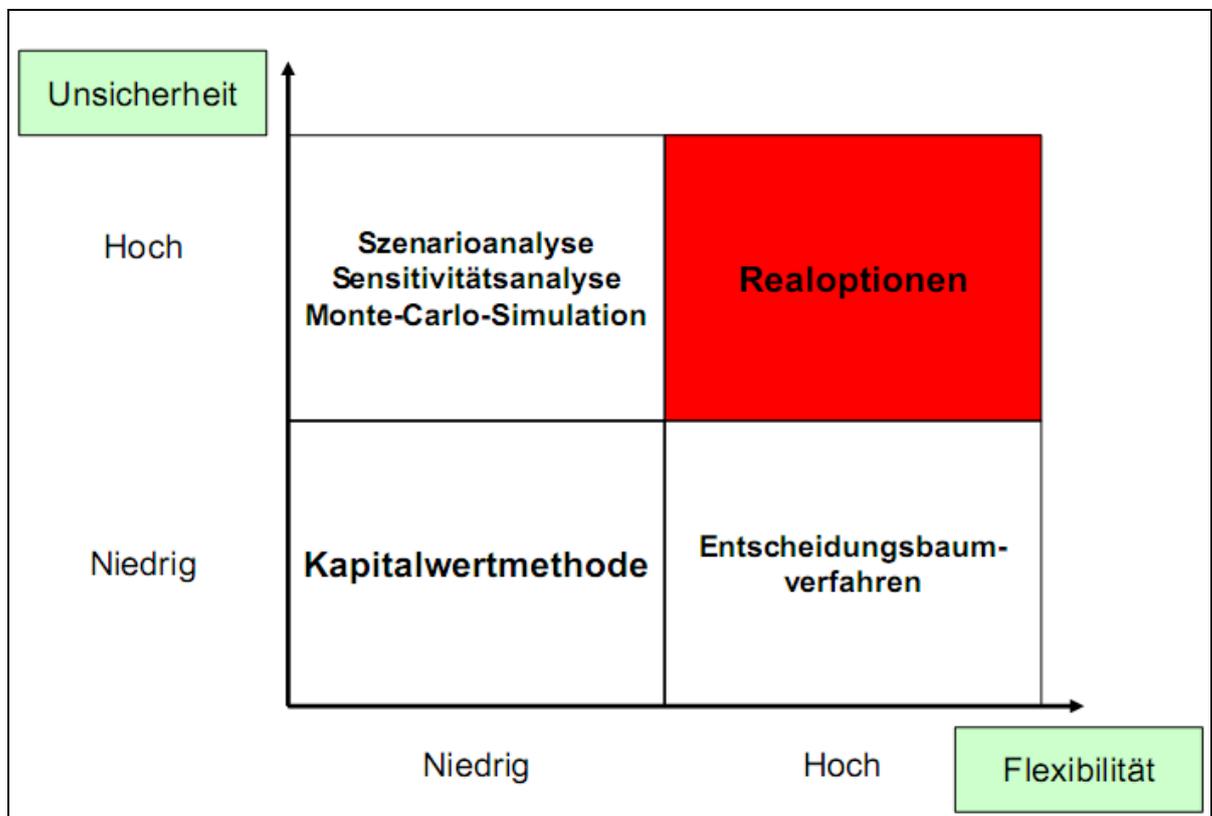


Abbildung 6: Verfahren nach Grad von Unsicherheit und Flexibilität

(In Anlehnung an: Gulesian, M. (2006), S. 1)

Die folgenden Paragraphen machen deutlich, inwiefern die Kriterien Unsicherheit und Flexibilität vorliegen können. Zudem soll festgestellt werden, welche Arten von Optionen sich durch Flexibilität ergeben können und welche Einschränkungen die Flexibilität eines Entscheidungsträgers durch das Unternehmensumfeld und den Grad der Irreversibilität eines Projektes erfahren kann.

Der Wert einer Realoption wird durch das Zusammenwirken einer Vielzahl von Variablen bestimmt, die allesamt im Vorhinein abgeschätzt werden müssen.<sup>83</sup> Miller und Waller (2003) unterscheiden drei Typen von Unsicherheit, die für ein Unternehmen relevant sein können:<sup>84</sup>

<sup>82</sup> Vgl. MÜLLER, D. (2004), S. 94 f; Der Begriff Flexibilitätswert wird an anderer Stelle auch als Zeitwert oder Optionsprämie bezeichnet, während der Kapitalwert auch passiver Kapitalwert und der Optionswert auch strategischer Kapitalwert genannt werden (Vgl. TRIGEORGIS, L. (2005), S. 32; ODENING, M.; MUBHOFF, O. (2001), S. 483).

<sup>83</sup> Vgl. HO, S.P.; LIU, L.Y. (2001), S. 146.

<sup>84</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 98.

Generelle Unsicherheit, die die Gesellschaft insgesamt betrifft und in die Kategorien politische, regierungspolitische, makroökonomische, soziale und natürliche Unsicherheiten unterteilt werden kann.

Branchenunsicherheit, welche die Kategorien Kunden, Lieferanten, Produkte, Prozesse und konkurrierende Unternehmen beinhaltet.

Firmenspezifische Unsicherheit, die die Kategorien Betriebsabläufe, Haftbarkeiten, Forschung und Entwicklung, Kreditwürdigkeit oder das Verhalten von Managern und Angestellten beeinflusst.

Ein in Bezug auf den Ausübungszeitpunkt flexibles Management ist in der Lage, neu eintreffende Informationen durch das Hinauszögern der Projektrealisierung abzuwarten, um die mit dem Projekt verbundenen Unsicherheiten schrittweise zu lösen.<sup>85</sup> Grundsätzlich entspricht die Möglichkeit zum Erwerb realer Sachgüter einem Recht, aber keiner Verpflichtung auf Inanspruchnahme.<sup>86</sup> Da eine Realoption nicht realisiert werden muss, wird das Risiko nachteiliger Entwicklung des Basiswertes begrenzt, wobei gleichzeitig vom Potential positiver Entwicklungen vollständig profitiert werden kann.<sup>87</sup>

Durch die Flexibilität, auf neue Informationen entsprechend reagieren zu können, können sich für das Management laut Trigeorgis (2005) folgende Arten von Optionen ergeben:<sup>88</sup>

Option, eine Investition zu verzögern. Dies ist immer dann von Vorteil, wenn während der Gültigkeit der Option neue Informationen eintreffen und zur Auflösung der Unsicherheit führen.

Option, die Einzelschritte eines Projektes zeitlich zu trennen und die Investition in Phasen zu unterteilen. Die Investition wird auf eine Serie kleinerer Ausgaben aufgeteilt, um in jeder Phase entscheiden zu können, ob mit dem Projekt fortgefahren wird oder nicht.

Option, die unternehmerischen Tätigkeiten auszuweiten. Im Falle vorher unerwarteter positiver Entwicklungen kann durch weitere Investitionen expandiert werden, wie zum Beispiel in eine Erhöhung der Produktionsrate.

Option, die unternehmerischen Tätigkeiten abzuschwächen. Die Optionsart ist als Gegenstück zu c) zu verstehen.

Option zur (temporären) Stilllegung operativer Tätigkeiten. Sie kann dann realisiert werden, wenn bei zeitweise ungünstigen wirtschaftlichen Bedingungen, wie z.B. fallenden Rohstoffpreisen, eine weitere Tätigkeit als unwirtschaftlich bewertet wird und unterbrochen werden kann.

---

<sup>85</sup> Vgl. Kayali, M.M. (2006), S. 282; Adner, R.; Levinthal, D.A. (2004), S. 75.

<sup>86</sup> Vgl. MYERS, S.C. (1977), S. 169; YIU, C.Y.; TAM, C.S. (2006), S. 476.

<sup>87</sup> Vgl. Trigeorgis, L. (2005), S. 26; Garvin, M.J.; Cheah, C.J.Y. (2006), S. 381.

<sup>88</sup> Vgl. TRIGEORGIS, L. (2005), S. 27 ff.

Option zur endgültigen Stilllegung und Veräußerung zuvor benötigter Anlagen. Um Fixkosten unter ungünstigen wirtschaftlichen Bedingungen nicht weiter tragen zu müssen, können Anlagen zum Wiederbeschaffungswert veräußert werden.

Option, zwischen verwendeten Materialien bzw. hergestellten Waren zu wechseln. Es wird eine Investition in Prozessflexibilität angestrebt, um die Produktion verschiedener Güter bzw. die Verwendung verschiedener Ressourcen zu ermöglichen.

Option auf eine Option, d.h. die Schaffung weiterer Möglichkeiten durch ein vorher realisiertes Projekt. Diese ist dann vorhanden, wenn eine frühere Investitionsmöglichkeit den Weg für weitere mögliche Projekte ebnet.

Ob ein Unternehmen bezüglich der Ausübung einer dieser Optionsarten flexibel ist, hängt nicht zuletzt von den Erwartungen seines Umfelds ab. Um weiterhin bestehen zu können, sollte ein Unternehmen nicht willkürlich isoliert von diesen Ansprüchen agieren.<sup>89</sup> Das Unternehmensumfeld gliedert sich in ein aufgabenspezifisches, ein erweitertes aufgabenspezifisches und ein globales Umfeld.<sup>90</sup>

Das aufgabenspezifische Unternehmensumfeld umfasst die für eine Branche maßgebenden Wettbewerbskräfte Wettbewerber in der Branche, potentielle neue Konkurrenten, Abnehmer, Lieferanten und Ersatzprodukte. Die Bestandteile des erweiterten aufgabenspezifischen Unternehmensumfeldes sind Öffentlichkeit, Staat, Mitarbeiter, Kreditgeber und Anteilseigner. Das globale Umfeld wird in ökonomische, gesellschaftliche, technologische, rechtliche und ökologische Rahmenbedingungen untergliedert.<sup>91</sup> Abbildung 7 stellt das Gesamtumfeld des Unternehmens dar, wobei der dunkel eingefärbte Außenring die Rahmenbedingungen des globalen Umfelds, der Mittelring das erweiterte aufgabenspezifische Umfeld und der zentrale Bereich das aufgabenspezifische Umfeld repräsentieren.

---

<sup>89</sup> Vgl. Günther, E. (1994), S. 24.

<sup>90</sup> Vgl. Baum, H.G.; Coenenberg, A.G.; Günther, E. (Hrsg.) (1999), S. 94.

<sup>91</sup> Vgl. Baum, H.G.; Coenenberg, A.G.; Günther, E. (Hrsg.) (1999), S. 94 f.

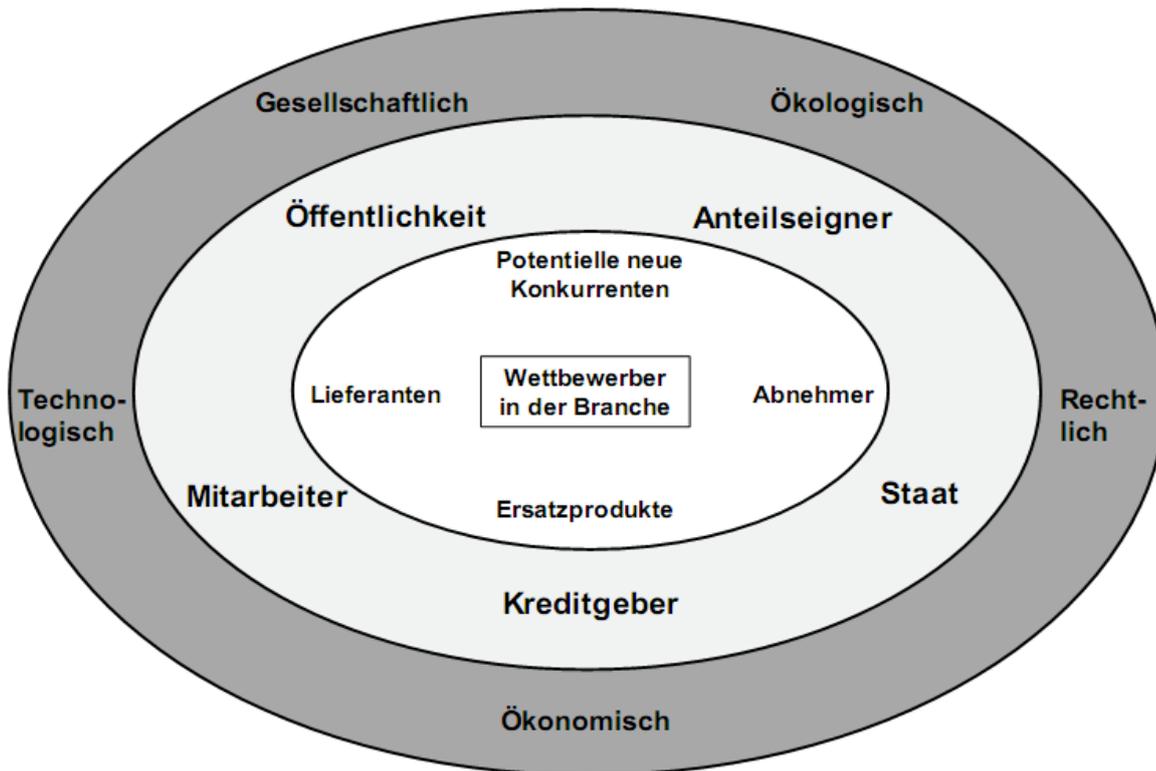


Abbildung 7: Komponenten des Unternehmensumfelds

(In Anlehnung an Baum, H.G.; Coenberg, A.G.; Günther, E. (Hrsg.) (1999), S. 94)

Liegt bei einer geplanten Maßnahme eine der aufgezählten Optionsarten vor und widerspricht deren Realisierung nicht den Erwartungen des Unternehmensumfelds, so ist das Kriterium Flexibilität erfüllt und die Maßnahme kann als Realloption für das Unternehmen bezeichnet werden.

Der Grad der Flexibilität hängt darüber hinaus davon ab, ob eine Investition irreversibel oder zumindest teilweise irreversibel ist. Eine Investition ist dann vollständig bzw. teilweise irreversibel, wenn nach der Entscheidung für die Ausführung des Projektes ein Abbruch ohne Wertverlust nicht mehr möglich ist. Bestimmte nach der Entscheidung angefallene Kosten wie etwa Baukosten für die Errichtung eines Gebäudes, sind so genannte versunkene Kosten, da sie im Fall eines Projektabbruchs nicht mehr zurückerhalten werden können.<sup>92</sup>

Der Flexibilitätswert irreversibler Investitionen ist niedriger, weil zukünftige Realloptionen auf weitere Investitionen beschränkt werden. Liegen dem Entscheidungsträger also unterschiedliche Investitionen zur Auswahl vor, so sind reversible Investitionen in der Regel vorteilhafter als irreversible Investitionen.<sup>93</sup>

<sup>92</sup> Vgl. MÜLLER, D. (2004), S. 94.

<sup>93</sup> Vgl. Schaub, H. (1996), S. 92 f.

### 3.2.3 Systematisierung von Ansätzen und Bewertungstechniken

Das Anliegen der Unterkapitel 3.2.3.1 und 3.2.3.2 ist es, einen Überblick über die existierenden Bewertungsverfahren zu geben bzw. die unterschiedlichen Realoptionsansätze voneinander abzugrenzen. Dazu werden im ersten Schritt die in der Literatur verwendeten Techniken charakterisiert und es folgt ein Verweis auf Autoren, die die entsprechenden Verfahren behandeln. Im zweiten Schritt werden die unterschiedlichen Ansätze der Realoptionstheorie vergleichend gegenübergestellt und einige entsprechende Vertreter genannt.

#### 3.2.3.1 Bewertungstechniken des Realoptionsansatzes

Die quantitative Bewertung von Optionen kann durch eine Reihe unterschiedlicher Techniken erfolgen, wobei in erster Linie zwischen analytischen und numerischen Verfahren unterschieden wird.<sup>94</sup>

Zu den analytischen Verfahren zählen analytische Approximationen sowie geschlossene Lösungen, wie etwa die Black-Scholes-Formel.<sup>95</sup> Basis für die Anwendung analytischer Verfahren ist die Annahme, dass der Optionswert einem zeitstetigen, stochastischen Prozess folgt.<sup>96</sup> Er kann danach in einer partiellen Differentialgleichung (PDG) als direkte Funktion seiner beeinflussenden Variablen dargestellt werden. Risikobehaftete Variablen, auch als Risikovariablen bezeichnet, repräsentieren je nach Projekt verschiedene Quellen von Unsicherheit.<sup>97</sup>

Die neben der Black-Scholes-Formel ebenfalls weit verbreiteten Techniken Gitterverfahren, Simulationen und das Verfahren der finiten Differenzierung hingegen sind numerische Verfahren,<sup>98</sup> welche im Folgenden näher beschrieben werden.

Numerische Lösungen nähern entweder den stochastischen Prozess oder die aufgestellte PDG an. Das numerische Verfahren der finiten Differenzierung transformiert die PDG zur Lösung in diskrete Differenzgleichungen.<sup>99</sup>

Modelle zur Simulation wie die Monte-Carlo-Simulation kreieren von Anfang bis Ende des Entscheidungszeitraumes zahlreiche mögliche Szenarien der zukünftig durch das Projekt generierten Einzahlungsüberschüsse,<sup>100</sup> die auch als Basiswert bezeichnet werden.<sup>101</sup>

Gitterverfahren wie das Binomialmodell entwerfen mögliche Ausprägungen des Basiswertes an jedem diskreten Zeitpunkt während der Optionslaufzeit, um danach den Wert optimaler Entscheidungen an jedem dieser Zeitpunkte rekursiv, also vom Ende des Fälligkeitszeitpunk-

---

<sup>94</sup> Vgl. Amram, K.; Kulatilaka, N. (1999), S. 125.

<sup>95</sup> Vgl. Black, F.; Scholes, M. (1973), S. 637 ff.

<sup>96</sup> Für weitere Informationen zu diesen Annahmen siehe Trigeorgis, L. (1997), S. 95 ff.; Arikan, A.M.; Arikan, I.; Kiouisis, P.K. (2004), S. 11 f.; Garvin, M.J.; Cheah, C.J.Y. (2004), S. 375 f.

<sup>97</sup> Vgl. Ho, S.P.; Liu, L.Y. (2001), S. 146.

<sup>98</sup> Vgl. MÜLLER, D. (2004), S. 115.

<sup>99</sup> Vgl. Amram, K.; Kulatilaka, N. (1999), S. 110.

<sup>100</sup> Vgl. Spinler, S.; Huchzermeier, A. (2004), S. 69.

<sup>101</sup> Vgl. Amram, K.; Kulatilaka, N. (1999), S. 111.

tes ausgehend, zu ermitteln. Gitterverfahren und im Speziellen Binomialbäume<sup>102</sup> finden sehr oft Verwendung bei der Bewertung von Realoptionen.<sup>103</sup>

Neben den genannten existieren noch weitere numerische Verfahren wie finite Elemente, genetische Algorithmen, numerische Integration und neuronale Netze. Diese Verfahren werden nicht näher betrachtet, da sie nur wenig verbreitet sind.<sup>104</sup>

Alle genannten Verfahren zur Optionsbewertung lassen sich laut Müller (2004), wie in Tabelle 2 dargestellt, nach Bewertung und Methode systematisieren.<sup>105</sup> Die Tabelle nennt außerdem Literaturquellen zu den vier wichtigsten Verfahren, mit denen Optionsbewertungen durchgeführt werden.

---

<sup>102</sup> Durch den Einbezug einer weiteren risikobehafteten Variable können Binomialbäume auch zu Binomialpyramiden erweitert werden, siehe z.B. HO, S.P.; LIU, L.Y. (2001), S. 146 ff.

<sup>103</sup> Vgl. AMRAM, K.; KULATILAKA, N. (1999), S. 110 f.; MÜLLER, D. (2004), S. 122 f.

<sup>104</sup> Vgl. MÜLLER, D. (2004), S. 115.

<sup>105</sup> Vgl. Müller, D. (2004), S. 115.

Tabelle 2: Systematisierung der Bewertungsverfahren und Anwender in der Literatur  
(Eigene Darstellung)

Bewertung	Methodik	Verfahrensbeispiel	Beispiele zu Autoren	
<b>Analytisch</b>	Geschlossene Lösung	Black-Scholes-Formel	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Luehrman (1998a/b)</li> <li>○ Busch und Hoffmann (2006)</li> </ul>	
	Approximation			
<b>Numerisch</b>	Annäherung der partiellen Differentialgleichung	Finite Differenzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Martzoukos und Trigeorgis (2002)</li> <li>○ Balsara, Vidozzi und Vidozzi (2005)</li> </ul>	
		Finite Elemente		
	Annäherung des stochastischen Prozesses	Simulationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Cortazar und Schwartz (1998)</li> <li>○ Yuan (2008)</li> </ul>	
		Gitterverfahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Copeland und Tufano (2004)</li> <li>○ Yiu und Tam (2006)</li> </ul>	
	Andere		Genetische Algorithmen	
			Numerische Integration	
		Neuronale Netze		

### 3.2.3.2 Verständnis der Realloptionstheorie

Im ursprünglichen Sinn wird der Realloptionsansatz als Methodik in der Investitionsbewertung eingesetzt.<sup>106</sup> Neben dieser quantitativen Bewertung von Einzelprojekten existiert in der Literatur die Logik eines qualitativen Ansatzes, mit dem eine Verbindung zwischen den Unternehmensfinanzen und dem Unternehmensmanagement hergestellt wird.<sup>107</sup>

Da bei der Bewertung von Realoptionen Unternehmensrisiken umfassend betrachtet werden können, sieht Botteron (2001) in diesem Ansatz eine Verbindung zwischen Finanzen und Strategie eines Unternehmens. Zudem ermöglicht die Betrachtung eines ganzen Portfolios an einzelnen Optionen den Übertrag des Flexibilitätswertes auf die Ebene des gesamten Unternehmens.<sup>108</sup>

<sup>106</sup> Vgl. TRIGEORGIS, L. (2005), S. 26; LUEHRMAN, T.A. (1998b), S. 52.

<sup>107</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 94.

<sup>108</sup> Vgl. BOTTERON, P. (2001), S. 471 f.

Miller und Waller (2003) greifen ebenfalls die Idee einer Verbindung von Strategie und Finanzen im Unternehmen mit Hilfe des Realloptionsansatzes auf. Sie argumentieren, dass sehr oft Wechselbeziehungen zwischen den bestehenden Unsicherheiten und sich aus ihnen ergebenden Eventualitäten für einzelne Projekte und Unternehmensbereiche bestehen, die dadurch nicht isoliert voneinander, sondern zusammengefasst auf Unternehmensebene betrachtet werden sollten. Im Gegensatz zur quantitativen Bewertung einzelner Investitionsprojekte soll daher der Nettoeffekt aller unsicheren Einflüsse und Eventualitäten für das Gesamtunternehmen bestimmt werden. Beide Autoren schlagen eine Kombination aus dem quantitativen Realloptionsansatz und dem strategischen Instrument Szenarioanalyse vor und bevorzugen eine qualitative Optionsbewertung.<sup>109</sup>

Mit Hilfe dieser Kombination soll erreicht werden, dass sich Szenarioanalyse und Realloptionsansatz gegenseitig ergänzen. So sollen vor allem im Rahmen der Szenarioanalyse alle das Unternehmen betreffenden Unsicherheiten durch das Vorhersehen möglicher zukünftiger Entwicklungen und sich ergebender Eventualitäten zusammengestellt werden. Ziel ist es dabei, ein Portfolio der Unsicherheiten zu erstellen, denen das Unternehmen ausgesetzt ist. Danach sollen solche Realoptionen ausgesucht und implementiert werden, die das Risiko der das Unternehmen beeinflussenden Unsicherheiten vermindern.<sup>110</sup>

Obwohl Miller und Waller (2003) verschiedene Verfahren der Optionsbewertung ansprechen und bei der Implementierung eine Analyse der Effekte durch die Realoptionen vorsehen,<sup>111</sup> erfolgen keine weiteren Ausführungen darüber, ob und in welchem Schritt einer Analyse der Wert von Realoptionen in quantitativer Hinsicht bestimmt werden sollte.

Tabelle 3 stellt die Merkmale der quantitativen und der qualitativen Realoptionstheorie hinsichtlich Einsatzbedingungen, Betrachtungsebene und Ziel der Anwendung vergleichend dar. Die Tabelle verweist außerdem auf Autoren zum jeweiligen Ansatz.

---

<sup>109</sup> Für weitere Informationen hierzu siehe MILLER, K.D.; WALLER, H.G. (2003), S. 99 ff.; ALLESSANDRI, T.M. u. a. (2004), S. 758.

<sup>110</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 99 ff.

<sup>111</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 103.

Tabelle 3: Merkmalsvergleich und Autoren der unterschiedlichen Ansätze der Realoptionstheorie

(Eigene Darstellung)

	Quantitativ	Qualitativ
<b>Einsatzbedingungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Unsicherheit bezüglich zukünftiger Entwicklungen</li> <li>○ Flexibilität des Managements</li> </ul>	
<b>Betrachtungsebene</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Isoliertes Investitionsprojekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Beginnend bei Unternehmensbereichen und Ausweitung auf Ebene des gesamten Unternehmens</li> </ul>
<b>Ziel der Anwendung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Quantitative Bewertung von Realoptionen</li> <li>○ Ergänzung der Kapitalwertmethode</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Identifikation und qualitative Bewertung von Realoptionen</li> <li>○ Überblick über Betroffenheit des Unternehmens von Unsicherheit</li> </ul>
<b>Beispiele zu Autoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Trigeorgis (1998)</li> <li>○ Luehrman (1998a/b)</li> <li>○ Amram und Kulatilaka (1999)</li> <li>○ Copeland und Tufano (2004)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Miller und Waller (2003)</li> <li>○ Cornelius, Romani und Van de Putte (2005)</li> <li>○ Driouchi, Leseure und Bennett (2007)</li> </ul>

Im Gegensatz zu den in Tabelle 3 erwähnten Vertretern des qualitativen Ansatzes plädieren Alessandri u. a. (2004) dafür, den integrierten Risikoansatz auch zur Bewertung von komplexen Einzelobjekten und nicht nur auf höherer Unternehmensebene zu verwenden.<sup>112</sup> Nach Meinung dieser Autoren entsteht bereits bei der Betrachtung der Potentiale und Ergebnisse eines Investitionsprojektes ein Wissensgewinn innerhalb eines Unternehmens durch die Kommunikation zwischen den Managern betroffener Abteilungen. Bei der Anwendung des qualitativen Ansatzes steht daher nicht das quantifizierbare Ergebnis, sondern der Wissensgewinn durch strukturiertes Denken im Vordergrund.<sup>113</sup>

### 3.3 Methode

In diesem Unterkapitel erfolgt die Diskussion der oben angesprochenen Bewertungsansätze und -techniken in Verbindung mit der Entwicklung der Analysemethode.

Die Analysemethode sollte eine Überprüfung der Kriterien zur Identifikation von Realoptionen vornehmen, um die Anwendung des Realoptionsansatzes zu rechtfertigen.

#### 3.3.1 Diskussion des Bewertungsansatzes

In der Literatur wird mehrheitlich der quantitative Ansatz der Realoptionstheorie verwendet.<sup>114</sup> Alessandri u. a. (2004) argumentieren, dass quantitative Werkzeuge nicht in der Lage

<sup>112</sup> Vgl. ALLESSANDRI, T.M. u. a. (2004), S. 757.

<sup>113</sup> Vgl. ALLESSANDRI, T.M. u. a. (2004), S. 759.

<sup>114</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 93.

sind, die eher qualitative Natur von Unsicherheit zu erfassen.<sup>115</sup> Ein weiterer bedeutender Nachteil des quantitativen Ansatzes ist, dass lediglich eine Bewertung und keine Identifikation von Investitionsprojekten durchgeführt werden kann.<sup>116</sup>

Die für den qualitativen Ansatz herangezogene Szenarioanalyse ist hilfreich, wenn Einflussvariablen schwer zu quantifizieren sind. Sie wird dazu verwendet, schlüssige zukünftige Entwicklungen zu entwerfen, um danach Unsicherheiten, Eventualitäten, Trends und Gelegenheiten zu identifizieren und qualitativ zu bewerten.<sup>117</sup> Dabei können mehrere Unsicherheitsfaktoren gleichzeitig einbezogen werden, was im Hinblick auf die große Anzahl von Einflussfaktoren auf die Siedlungsentwässerung sehr hilfreich ist.

Um eine Anwendung des Realloptionsansatzes im Kontext dieser Arbeit zu realisieren und die Vorteile gegenüber traditioneller Projektbewertung zu demonstrieren, sollten sowohl Handlungsoptionen identifiziert als auch bewertet werden. Da sich für ersteres der qualitative und für letzteres der quantitative Realloptionsansatz anbietet, wird die qualitative Analyse der quantitativen vorangestellt.

### 3.3.2 Bewertungstechnik

#### 3.3.2.1 Merkmalsvergleich und Diskussion

Wenn die notwendigen Bedingungen gegeben sind, kann die Black-Scholes-Formel auf einfache und schnelle Weise den Wert einer Option bestimmen. Ist dies nicht möglich, kann eine analytische Approximation vorgenommen werden, um etwa Wertober- und -untergrenzen zu bestimmen. Analytische Verfahren sind nur unter sehr restriktiven Bedingungen verwendbar, weshalb in vielen Situationen zur Bewertung von Realoptionen numerische Lösungen anzuwenden sind.<sup>118</sup>

Die Lösung durch das Verfahren der finiten Differenzierung kann sich der analytischen Lösung, falls vorhanden, annähern. Allerdings sind zur Anwendung des Verfahrens ein hohes mathematisches Vorwissen und bei Einbezug vieler Risikovariablen ein hoher Rechenaufwand nötig.<sup>119</sup> Zudem sind die Lösungsvorgaben durch finite Differenzierung bezüglich der zukünftig zu treffenden Entscheidungen wenig transparent.<sup>120</sup>

Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation kann sowohl die optimale Investitionsstrategie zu jedem Entscheidungszeitpunkt bestimmt als auch der Wert der Option geschätzt werden. Die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation ist vor allem bei pfadgebundenen Investitionen<sup>121</sup> hilfreich und im Gegensatz zu anderen numerischen Verfahren wird die rechnerische Komp-

<sup>115</sup> Vgl. ALLESSANDRI, T.M. u. a. (2004), S. 753.

<sup>116</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 98.

<sup>117</sup> Vgl. ALLESSANDRI, T.M. u. a. (2004), S. 757.

<sup>118</sup> Vgl. Amram, K.; Kulatilaka, N. (1999), S. 125; Geske, R.; Shastri, K. (1985), S. 572; Ho, S.P.; Liu, L.Y. (2001), S. 146.

<sup>119</sup> Vgl. Arboleda, C.A.; Abraham, D.M. (2006), S. 262; Amram, K.; Kulatilaka, N. (1999), S. 110.

<sup>120</sup> Vgl. Amram, K.; Kulatilaka, N. (1999), S. 110.

<sup>121</sup> Bei pfadgebundenen Investitionen werden die durch vorangegangene Entscheidungen verursachten Veränderungen zukünftiger Einzahlungsüberschüsse einbezogen; vgl. TRIANTIS, A.G.; BORISON, A. (2001), S. 14.

lexität durch das Hinzufügen weiterer Variablen und Bedingungen kaum erhöht. Die Methode hat jedoch Schwächen bei der Bewertung amerikanischer Optionen und führt zu nichtoptimalen Ergebnissen für den Optionswert, wenn die optimale Optionsausübungsstrategie nicht im Vorhinein klar ist.<sup>122</sup>

Das Binomialmodell als ein spezielles Gitterverfahren beinhaltet nur eine risikobehaftete Variable und kann ohne großen technischen Aufwand in Tabellenkalkulationen dargestellt und ausgewertet werden.<sup>123</sup> Es eignet sich zu einer für den Entscheidungsträger intuitiven und grafisch sinnvollen Darstellung von Wertentwicklungen unter Unsicherheit.<sup>124</sup> Weitere Vorteile sind die Flexibilität bei Einbezug zusätzlicher Variablen und die Vielfalt möglicher Anwendungen. Als Nachteile des Binomialmodells sind der erheblich steigende Rechenaufwand bei Einbezug vieler Zeitintervalle bzw. Variablen sowie Schwierigkeiten bei der Bewertung pfadgebundener Optionen zu werten.<sup>125</sup>

Tabelle 4 fasst die wichtigsten Vor- und Nachteile der oben diskutierten Verfahren zusammen.

---

<sup>122</sup> Vgl. Cortazar, G. (2000), S. 611; Yuan, F.C. (2007), S. 2.

<sup>123</sup> Vgl. Copeland, T.; Tufano, P. (2004), S. 92 ff.; Spinler, S.; Huchzermeier, A. (2004), S. 71.

<sup>124</sup> Vgl. Gibson, W.; Morrell, P. (2004), S. 431; Amram, K.; Kulatilaka, N. (1999), S. 108 ff.

<sup>125</sup> Vgl. Yuan, F.C. (2007), S. 2; Müller, D. (2004), S. 127; Amram, K.; Kulatilaka, N. (1999), S. 108.

Tabelle 4: Bewertung quantitativer Bewertungsverfahren  
(Eigene Darstellung)

	Black-Scholes	Finite Differenzen	Monte-Carlo	Binomialmodell
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Einfache Handhabung</li> <li>○ Schnellstes Verfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gute Lösungen bei vielen Risikovariablen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gute Bewertung pfadgebundener Optionen</li> <li>○ Hohe Flexibilität in Bezug auf Spezifikation der Unsicherheit</li> <li>○ Einbezug vieler Risikovariablen ohne merkliche Erhöhung der rechnerischen Komplexität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Einfache, intuitive Handhabung</li> <li>○ Hohe Flexibilität des Anwenders</li> <li>○ Transparente Vorgaben für Entscheidungsträger hinsichtlich zu treffender Entscheidungen</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Anwendung nur unter restriktiven Bedingungen</li> <li>○ Nicht anwendbar für viele Realoptionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Hohe rechnerische Komplexität bei vielen Risikovariablen</li> <li>○ Undurchsichtige Vorgaben für Entscheidungsträger hinsichtlich zu treffender Entscheidungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kein korrektes Ergebnis bei fehlender Strategievorgabe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Hohe rechnerische Komplexität bei vielen Risikovariablen</li> <li>○ Schwächen bei Bewertung pfadgebundener Optionen</li> </ul>

Garvin und Cheah (2006) argumentieren, dass die Entscheidung über die zu verwendende Bewertungsmethode in hohem Maß vom praktischen Objekt und von getroffenen Annahmen abhängt.<sup>126</sup> Miller und Waller (2003) stellen weiterhin fest, dass in vielen Unternehmen noch immer weder das erforderliche Know-how noch die organisatorischen Strukturen zur Unterstützung des Realoptionsansatzes vorhanden sind.<sup>127</sup> Aus diesen Gründen soll die Bewertung mit Hilfe des Realoptionsansatzes in dieser Arbeit möglichst grundlegend und mit den in jedem Unternehmen vorhandenen technischen Mitteln durchgeführt werden. Kann die Menge der betrachteten unsicheren Variablen auf eine geringe Zahl begrenzt werden, bieten sich aufgrund ihrer flexiblen und intuitiven Benutzung die Gitterverfahren und dabei insbesondere das Binomialmodell als Bewertungsmethode an. Der rechnerische Aufwand bei der Anwen-

<sup>126</sup> Vgl. Garvin, M.J.; Cheah, C.J.Y. (2006), S. 375.

<sup>127</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 98.

dung dieses Verfahrens kann mit Hilfe herkömmlicher Tabellenkalkulation in Grenzen gehalten werden.<sup>128</sup>

Die Grundlagen der Optionsbewertung mit dem ausgewählten Binomialmodell werden nachfolgend näher erläutert.

### 3.3.2.2 Grundlagen des Binomialmodells

Bei dem von Cox, Ross und Rubinstein (1979) entwickelten Binomialmodell handelt es sich um eine Approximationsmethode zur Bewertung von Optionen, welche auf der Darstellung von Entscheidungsbäumen beruht. Grundsätzlich wird angenommen, dass ein bestimmter Basiswert einem multiplikativen binomialen Prozess über diskrete Zeitpunkte folgt. Das entwickelte Modell folgt einem risikoneutralen Ansatz, d.h. der Wert der Option ist unabhängig von der Risikopräferenz des Entscheidungsträgers.<sup>129</sup>

Die Optionsbewertung mit Hilfe des Binomialmodells kann in drei Phasen unterteilt werden: In der ersten Phase wird die Entwicklung des Basiswertes über die einzelnen Zeitpunkte dargestellt. Danach wird in der zweiten Phase der Gesamtprojektwert ermittelt, was durch verschiedene Verfahren wie die Bewertung mit Hilfe eines äquivalenten Portfolios oder mit Hilfe eines retrograden Bewertungskonzeptes geschehen kann.<sup>130</sup> Da sich diese Arbeit auf die Bewertung von Realoptionen amerikanischen Typs konzentriert, wird das retrograde Bewertungskonzept verwendet.<sup>131</sup> Nach der Ermittlung des Gesamtwertes der Realoption folgt in der dritten Phase die Darstellung einer optimalen Optionsausübungspolitik für Entscheidungsträger des jeweiligen Projektes.<sup>132</sup>

Zur Darstellung der Entwicklung des Basiswertes im Zeitverlauf wird der Gegenwartswert der zukünftigen Einzahlungsüberschüsse ermittelt.<sup>133</sup> Der Basiswert zum Startzeitpunkt,  $B_0$ , repräsentiert den Barwert der zukünftigen Cash Flows zum Zeitpunkt  $t = 0$ . Bis zum nächsten Zeitpunkt kann der Basiswert entweder mit dem Multiplikator  $u$  steigen oder mit dem Multiplikator  $d$  fallen. Am Zeitpunkt  $t = 1$  hat sich der Basiswert entweder auf den Wert  $B_u$  erhöht oder auf den Wert  $B_d$  verringert. Bis zum Zeitpunkt  $t = 2$  bestehen für alle möglichen Werte wiederum zwei Entwicklungspfade, wodurch sich zum Zeitpunkt  $t = 2$  die vier Werte  $B_{uu}$ ,  $B_{ud}$ ,  $B_{du}$  und  $B_{dd}$  ergeben. Ein Merkmal des Binomialmodells ist, dass jeweils die sich kreuzenden Werte, in diesem Fall  $B_{ud}$  und  $B_{du}$ , identisch sind.<sup>134</sup>

---

<sup>128</sup> Vgl. Copeland, T.; Tufano, P. (2004), S. 93.

<sup>129</sup> Für mehr Informationen zur Annahme eines „risikoneutralen Investors“ siehe unter anderem AMRAM, K.; KULATILAKA, N. (1999), S. 112; ARBOLEDA, C.A.; ABRAHAM, D.M. (2006), S. 262.

<sup>130</sup> Vgl. KRUSCHWITZ, L. (1999), S. 277 ff.

<sup>131</sup> Vgl. KRUSCHWITZ, L. (1999), S. 294.

<sup>132</sup> Vgl. Spinler, S.; Huchzermeier, A. (2004), S. 69.

<sup>133</sup> Vgl. Garvin, M.J.; Cheah, C.J.Y. (2004), S. 381.

<sup>134</sup> Vgl. KRUSCHWITZ, L. (1999), S. 265 ff.; sollte das Binomialmodell einen Prozess mit mehr als zwei Perioden darstellen, wäre für die einzelnen Werte analog weiter zu verfahren.

Abbildung 8 gibt den Binomialprozess für diese zwei Perioden grafisch wieder. Dabei stellt  $p$  die Wahrscheinlichkeit einer Aufwärtsbewegung des Basiswertes und  $1-p$  die Wahrscheinlichkeit einer Abwärtsbewegung des Basiswertes bis zum nächsten Zeitpunkt dar.<sup>135</sup> Jeder Knoten des Modells repräsentiert einen Entscheidungspunkt, an dem der Entscheidungsträger für das Projekt entscheiden muss, wie mit der Option fortzufahren ist.<sup>136</sup> Der Prozess wird bis zum Ende der Gültigkeitsdauer der Option  $T$  dargestellt, welcher in diesem Fall dem Zeitpunkt  $t = 2$  entspricht.

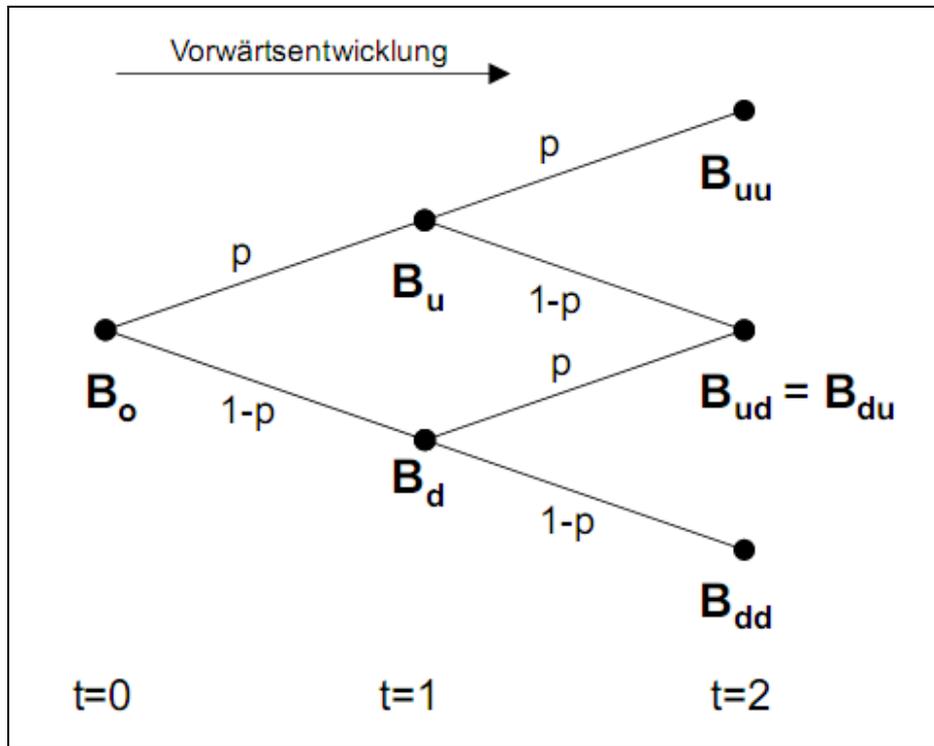


Abbildung 8: Binomialprozess des Basiswertes bei zwei Teilschritten

(In Anlehnung an Kruschwitz, L. (1999), S. 276)

Um die Wahrscheinlichkeit einer Erhöhung bzw. einer Verringerung abzuschätzen, wird für die Verteilung möglicher Basiswerte eine logarithmische Normalverteilung angenommen. Die Multiplikatoren  $u$  und  $d$  berechnen sich danach pro Zeitschritt mit Hilfe der angenommenen Volatilität des Basiswertes  $\sigma$  und des Zeitschrittes  $t$  nach den Formeln (1) und (2). Wahrscheinlichkeit  $p$  berechnet sich, wie in Formel (3) dargestellt, unter Verwendung eines risikolosen Zinssatzes  $i$  und der Multiplikatoren  $u$  und  $d$ .<sup>137</sup>

$$(1) \quad u = \text{EXP}^{(\delta \cdot \sqrt{t})}$$

$$(2) \quad d = \frac{1}{u}$$

<sup>135</sup> Vgl. KRUSCHWITZ, L. (1999), S. 265.

<sup>136</sup> Vgl. Copeland, T.; Tufano, P. (2004), S. 94.

<sup>137</sup> Vgl. Amram, K.; Kulatilaka, N. (1999), S. 115.

$$(3) \quad p = (EXP^i - d)/(u - d)$$

Um in der zweiten Phase den Projektwert  $V_0$  einer Option zum gegenwärtigen Zeitpunkt  $t = 0$  zu ermitteln, werden die einzelnen Projektwerte beim hier angewandten retrograden Vorgehen vom Fälligkeitszeitpunkt ausgehend rückwärts bestimmt. Die einzelnen Schritte transformieren die zukünftigen Werte wieder in die Gegenwart zurück.<sup>138</sup> Dazu werden im Zwei-Perioden-Fall die Werte zum Zeitpunkt der Fälligkeit, also  $V_{uu}$ ,  $V_{ud}$ ,  $V_{du}$  und  $V_{dd}$ , mit Hilfe der in der ersten Phase berechneten jeweiligen Basiswerte und des Ausübungspreises  $X$  zum Fälligkeitszeitpunkt bestimmt und mit dem Kaufpreis  $K$  der Option in Beziehung gesetzt. In Analogie zu allen anderen Werten zum Fälligkeitszeitpunkt berechnet sich z.B. der Wert  $V_{uu}$  wie in Gleichung (4) dargestellt.<sup>139</sup>

$$(4) \quad V_{uu} = \max(B_{uu} - X, K)$$

Bei dieser Berechnung wird berücksichtigt, dass keine Verpflichtung zur Ausübung einer Option besteht. Demzufolge kann der Wert einer Option selbst im Fall negativer zukünftiger Kursentwicklungen nicht unter den Wert des Kaufpreises  $K$  der Option sinken, da der Entscheidungsträger die Option dann nicht ausüben würde.<sup>140</sup> Die Differenz aus dem Basiswert, also dem jeweiligen Barwert zukünftiger Cash Flows, und dem Ausübungspreis, also der Investitionssumme zum Zeitpunkt  $t = 0$ , entspricht genau dem Kapitalwert  $C$  einer Investition am jeweiligen Entscheidungspunkt. Folglich ergeben sich die Projektwerte zum Fälligkeitszeitpunkt aus dem Maximalwert des Vergleichs zwischen Kapitalwert  $C$  und Kaufpreis  $K$ .

Das retrograde Bewertungskonzept sieht vor, die Optionswerte an davor liegenden Zeitpunkten, hier  $V_u$  und  $V_d$ , mit Hilfe der nachfolgenden Optionswerte, der risikoneutralen Wahrscheinlichkeit  $p$  und dem risikolosen Zinssatz  $i$  zu bestimmen.<sup>141</sup> Gleichung (5) stellt beispielhaft die Berechnung von  $V_u$  dar.

$$(5) \quad V_u = \frac{1}{(1+i)} * (p * V_{uu} + (1-p) * V_{ud})$$

Der Gesamtwert der Realoption  $V_0$  am Zeitpunkt  $t = 0$  lässt sich, wie in Gleichung (6) zu sehen, analog bestimmen.

$$(6) \quad V_0 = \frac{1}{(1+i)} * (p * V_u + (1-p) * V_d)$$

Abbildung 9 veranschaulicht das Ergebnis des retrograden Bewertungskonzeptes im Zwei-Perioden-Fall.

---

<sup>138</sup> Vgl. Amram, K.; Kulatilaka, N. (1999), S. 118.

<sup>139</sup> Vgl. Kruschwitz, L. (1999), S. 276.

<sup>140</sup> Vgl. Spinler, S.; Huchzermeier, A. (2004), S. 67; Garvin, M.J.; Cheah, C.J.Y. (2004), S. 381.

<sup>141</sup> Vgl. KRUSCHWITZ, L. (1999), S. 277; Alternativ dazu ersetzen Autoren wie AMRAM, K.; KULATILAKA, N. (1999) in ihrer Rückwärtsrechnung den Faktor  $(1/(1+i))$  durch den Faktor  $EXP(-i)$ .

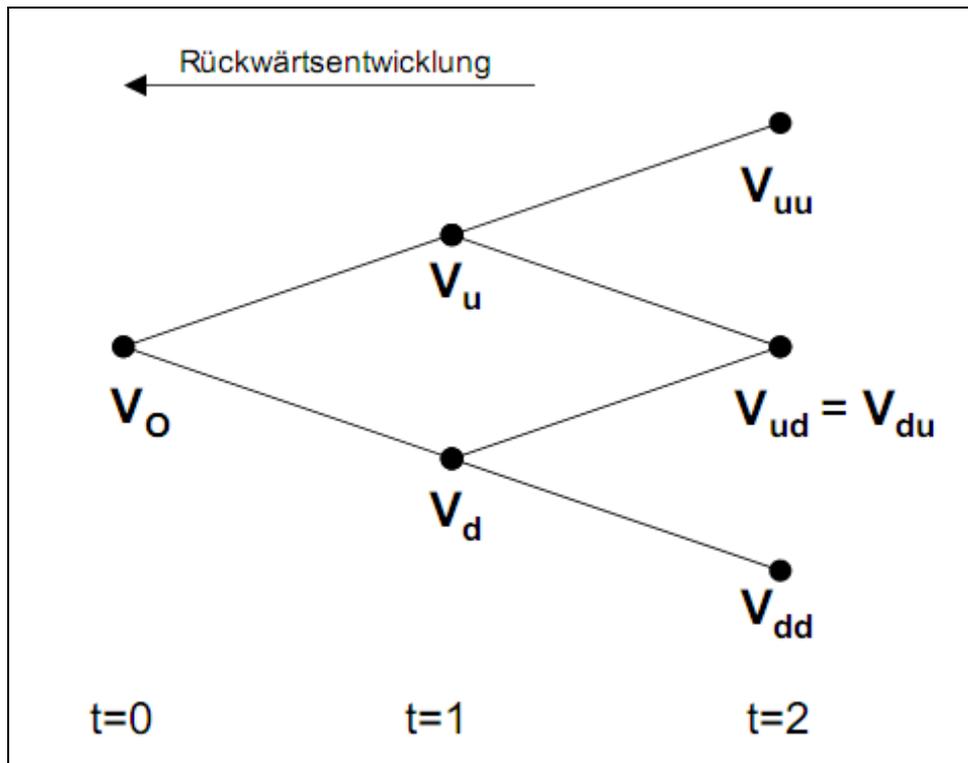


Abbildung 9: Retrograde Optionsbewertung bei zwei Teilschritten

(In Anlehnung an Kruschwitz, L. (1999), S. 277)

In der dritten Phase sollen für jeden Zeitpunkt Entscheidungsregeln vorgegeben werden, wie mit der Option bzw. dem Projekt verfahren werden sollte. Dabei ist zwischen Vorgaben für Knotenpunkte am Ende der Gültigkeit der Option und Vorgaben für Knotenpunkte vor Ende der Gültigkeit zu unterscheiden.

An Knotenpunkten zum Fälligkeitszeitpunkt einer Option liegt keine Flexibilität des Entscheidungsträgers mehr vor, d.h. die Investition kann nicht länger verzögert werden und es muss eine Entscheidung über die unmittelbare Ausübung bzw. Nichtausübung der Option getroffen werden. Der Flexibilitätswert, Differenz zwischen Optionswert und Kapitalwert der Investition,<sup>142</sup> ist in diesem Fall gleich Null und die Optionsbewertung kommt zum gleichen Ergebnis wie die Bewertung mit Hilfe der klassischen Kapitalwertmethode<sup>143</sup>:

- $C > 0 \rightarrow$  die Realisierung der Option am Fälligkeitszeitpunkt ist vorteilhaft und wird durchgeführt;
- $C < 0 \rightarrow$  die Option sollte am Fälligkeitszeitpunkt nicht realisiert werden.<sup>144</sup>

Durch die vorhandene Flexibilität vor Fälligkeit der Option ergeben sich andere Vorgaben für davor liegende Entscheidungszeitpunkte. Ein positiver Kapitalwert impliziert, dass der Basiswert den Ausübungspreis übersteigt und eine Investition zu diesem Zeitpunkt vorteilhaft

<sup>142</sup> Vgl. TRIGEORGIS, L. (2005), S. 32, MÜLLER, D. (2004), S. 94.

<sup>143</sup> Vgl. Luehrman, T.A. (1998b), S. 52; Busby, J.S.; Pitts, C.G.C. (1997), S. 171.

<sup>144</sup> Vgl. KAYALI, M.M. (2006), S. 285.

für das Unternehmen wäre. Da der Entscheidungsträger aber durch die Verzögerung der Investition noch von weiteren Aufwärtsbewegungen profitieren könnte, sollte er auch in Betracht ziehen, mit der Ausübung der Option zu warten und erst dann zu investieren, wenn ein ausreichend hoher Kapitalwert realisiert werden kann.<sup>145</sup>

Wenn hingegen der Ausübungspreis den Basispreis übersteigt, ist eine sofortige Ausübung der Option durch den negativen Kapitalwert nicht ratsam. In diesem Fall ist zu unterscheiden, ob an darauf folgenden Zeitpunkten wieder ein positiver Kapitalwert erreicht werden kann und damit die Option weiter gehalten werden sollte, oder ob bis zum Ende der Gültigkeitsdauer kein positiver Kapitalwert mehr möglich ist und die Option daher aufgegeben werden sollte. In jeden Fall ist bei einem negativen Kapitalwert zu beachten, dass das Unternehmen dennoch später von positiven Entwicklungen profitieren könnte.<sup>146</sup> Zusammengefasst ergeben sich für jeden Knotenpunkt des Modells vor Fälligkeitsdatum folgende Entscheidungsregeln:

$C > 0 \rightarrow$  Projektrealisierung möglich, Warten und Option halten kann jedoch sinnvoll sein.

$C < 0$ , jedoch  $C > 0$  zu einem späteren Zeitpunkt möglich  $\rightarrow$  Projektrealisierung nicht sinnvoll, Warten und Option halten aber weiterhin ratsam.

$C < 0$ , auch zu einem späteren Zeitpunkt  $C > 0$  nicht möglich  $\rightarrow$  Aufgabe der Option.

Der Entscheidungsträger erhält mit Hilfe der quantitativen Bewertung einer Option amerikanischen Typs sowohl Informationen über den Gesamtwert der Option zum Zeitpunkt Null als auch darüber, anhand welcher Parameter über Halten bzw. Ausübung oder Aufgabe einer Option entschieden werden sollte. Die für die Anwendung des Binomialmodells notwendigen Eingangsparameter werden in Tabelle 5 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 5: Eingangsparameter des Binomialmodells  
(Eigene Darstellung)

Variable	Bedeutung
<b>K</b>	Kaufpreis der Option
<b>T</b>	Gültigkeitsdauer der Option
<b>t</b>	Anzahl der Teilschritte
<b>i</b>	Risikolose Verzinsung
<b><math>\sigma</math></b>	Volatilität des Basiswertes
<b>X</b>	Ausübungspreis
<b><math>B_0</math></b>	Basiswert bzw. Barwert zukünftiger Cash Flows bei $t = 0$

<sup>145</sup> Vgl. Brealey, R.A.; Myers, S.C.; Allen, F. (2006), S. 603; Copeland, T.; Tufano, P. (2004), S. 95 f; Odening, M.; Mußhoff, O. (2001), S. 480.

<sup>146</sup> Vgl. Odening, M.; Mußhoff, O. (2001), S. 483; Brealey, R.A.; Myers, S.C.; Allen, F. (2006), S. 597 ff.

Die Qualität der Prognose von Eingangsgrößen spielt bei Entscheidungen über Investitionsprojekte eine große Rolle. Die getroffenen Annahmen sowie die mit Investitionsentscheidungen einhergehende Planungsunsicherheit können durch die Überprüfung der Variabilität von Entscheidungswerten mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse abgesichert werden.<sup>147</sup> Es empfiehlt sich daher, die im vierten Arbeitsschritt durchzuführende quantitative Bewertung um eine Sensitivitätsanalyse bezüglich konkreter Eingangsparameter zu erweitern.

### **3.3.3 Arbeitsschritte der Analysemethode**

In diesem Unterkapitel werden die Arbeitsschritte der Analysemethode festgelegt.

Miller und Waller (2003) schlagen vor, im ersten Arbeitsschritt der qualitativen Bewertung eine Szenarioanalyse durchzuführen. Hierbei werden alle plausiblen zukünftigen Zustände artikuliert, um die Betroffenheit des Unternehmens durch die sich aus Unsicherheit ergebenden Eventualitäten darzustellen. Dabei wird mit der Szenarioanalyse auf Ebene der Geschäftseinheiten begonnen, um im zweiten Arbeitsschritt auf ein Unternehmensportfolio zu schließen.<sup>148</sup> Die Szenarioanalyse wird im Rahmen dieser Arbeit stark verkürzt dargestellt. Der Fokus liegt auf einer räumlichen und zeitlichen Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes und der Identifikation möglichst aller auf den Untersuchungsgegenstand wirkenden Einflussfaktoren.

Die relevanten Einflussfaktoren werden einer Überprüfung auf das Kriterium Unsicherheit unterzogen. Lassen sich Faktoren identifizieren, die in mindestens eine der drei Kategorien

- generelle Unsicherheit,
- Branchenunsicherheit bzw.
- firmenspezifische Unsicherheit

einzuordnen sind, so ist das erste Kriterium „Unsicherheit bezüglich zukünftiger Einzahlungsüberschüsse“ zur Anwendung sowohl des qualitativen als auch des quantitativen Realloptionsansatzes erfüllt.

Der zweite Arbeitsschritt sieht die Bestimmung der Betroffenheit vor, die sich infolge von Unsicherheit auf der Unternehmensebene ergibt. Das Ziel ist es, möglichst nicht nur Augenmerk auf einzelne Eventualitäten zu legen, sondern ein Portfolio der Betroffenheit des Unternehmens gegenüber allen Eventualitäten zu erstellen. Dies hat zur Folge, dass möglicherweise vorhandene Verknüpfungen zwischen den die Geschäftseinheiten beeinflussenden Eventualitäten<sup>149</sup> mit betrachtet werden können. Die Gesamtbetrachtung aller Eventualitäten im Rahmen des Risikomanagements ist als weniger kostenintensiv und effektiver einzuschätzen als die Betrachtung einzelner Eventualitäten durch funktionale bzw. Geschäftseinheiten.<sup>150</sup>

---

<sup>147</sup> Vgl. Günther, T. (1997), S. 325; Baum, H.G.; Coenenberg, A.G.; Günther, E. (Hrsg.) (1999), S. 36.

<sup>148</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 99.

<sup>149</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 94.

<sup>150</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 99 f.

Im dritten Arbeitsschritt erfolgt die Auswahl der Realloptionen, die zur Verbesserung des Risikomanagements eine Erhöhung oder eine Verminderung der Betroffenheit durch entsprechende Eventualitäten zur Folge haben. Hierbei gilt es zu klären, ob alle Kriterien zur Identifikation einer Realloption gegeben sind. Da die Überprüfung des Kriteriums Unsicherheit bereits im Laufe des ersten Arbeitsschrittes vorgesehen ist, muss lediglich untersucht werden, ob das zweite Kriterium „Flexibilität des Entscheidungsträgers“ bei jeder Maßnahme erfüllt und damit die Identifikation von Anpassungsmaßnahmen als Realloptionen gerechtfertigt ist.

Die Maßnahmen, die dieses Kriterium erfüllen, sollten zeitlich parallel miteinander verglichen werden, damit die mit ihnen verbundenen Vor- und Nachteile in Kombination mit anderen Maßnahmen analysiert werden können.<sup>151</sup>

Das von Miller und Waller (2003) vorgestellte und ursprünglich in vier Arbeitsschritten durchgeführte qualitative Vorgehen wird im Kontext dieser Arbeit um einen weiteren Schritt ergänzt, in dem eine modellhafte quantitative Bewertung einer identifizierten Handlungsoption durchgeführt werden soll. Hierzu wird das Binomialmodell verwendet, da es gemäß den theoretischen Ausführungen in Punkt 3.3.2.1 als sinnvollste Lösung gesehen wird. Die quantitative Realloptionsbewertung stellt den vierten Arbeitsschritt dar.

Der fünfte Arbeitsschritt beinhaltet die Implementierung der Realloptionslogik ins Unternehmensgeschehen. Es wird eine Änderung des organisatorischen Reaktionsvermögens auf die das Unternehmen umgebenden Eventualitäten angestrebt, indem die wichtigsten Unsicherheiten laufend beobachtet, das Unternehmen flexibler gestaltet und genaue Vorgaben getroffen werden, unter welchen Umständen Projekte zu realisieren sind.<sup>152</sup> Um die Betroffenheit des Unternehmens durch die aus Unsicherheit entstehenden Eventualitäten stets aktuell einschätzen zu können, empfiehlt sich im Rahmen des fünften Arbeitsschrittes die ständige Neubeurteilung der Eventualitäten.<sup>153</sup>

---

<sup>151</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 102.

<sup>152</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 103 f.

<sup>153</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 104.

Abbildung 10 fasst die Arbeitsschritte der abgeleiteten Methode zusammen.

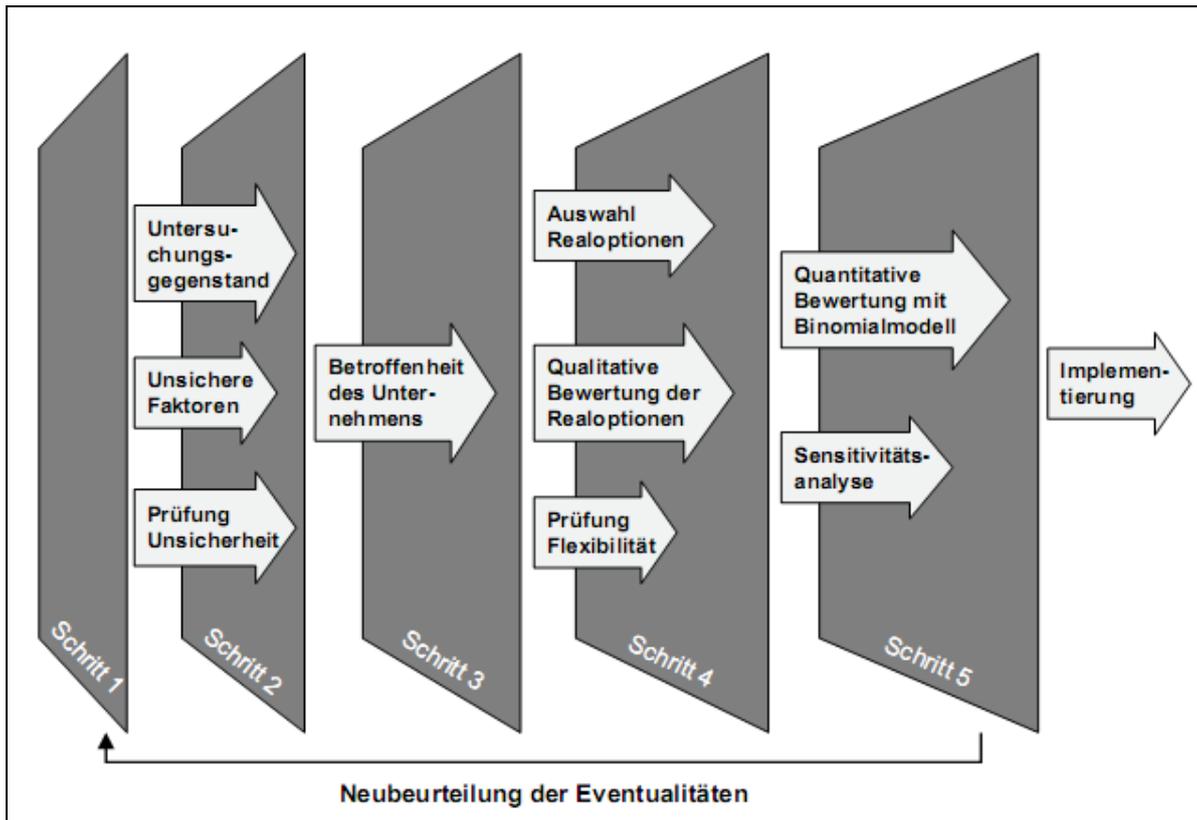


Abbildung 10: Arbeitsschritte der Methode  
(Eigene Darstellung)

### 3.4 Fazit zu den Grundlagen der Analyse

Bei der Entscheidungsfindung über Investitionsprojekte vernachlässigen klassische Instrumente wie die Kapitalwertmethode die in vielen Situationen vorherrschende Unsicherheit sowie eine eventuell vorhandene Flexibilität des Entscheidungsträgers. Der Realloptionsansatz hingegen ermöglicht die Betrachtung dieser beiden Kriterien und ist in seiner quantitativen Form als Ergänzung zur Kapitalwertmethode zu verstehen.

In der Literatur existieren sowohl der quantitative als auch der qualitative Ansatz zur Bewertung von Investitionsprojekten. Letzterer eignet sich außer zur Bewertung auch zur Identifikation von Anpassungsmöglichkeiten an die sich durch Unsicherheit ergebenden Eventualitäten eines ganzen Unternehmens. Das qualitative Vorgehen ist in der Lage, mehrere unsichere Einflussfaktoren gleichzeitig einzubeziehen und kann somit dem Umstand Rechnung tragen, dass neben dem demografischen Wandel eine Vielzahl weiterer Faktoren die Siedlungsentwässerung beeinflusst. Die Betrachtung auf Unternehmensebene wird dabei einerseits als vorteilhafter eingeschätzt als eine rein quantitative Bewertung isolierter Projekte, andererseits fehlt dem von Miller und Waller (2003) entwickelten qualitativen Instrument die quantitative Strenge.<sup>154</sup> Der quantitative Ansatz eignet sich, im Gegensatz zum qualitativen Ansatz, nicht

<sup>154</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 105.

zur Identifikation von Investitionsprojekten sondern lediglich zur Bewertung ausgewählter Realoptionen.

Um die Vorteile beider Ansätze der Realoptionstheorie zu kombinieren und ihre Nachteile zu kompensieren, wird eine Methode in fünf Arbeitsschritten zur Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung vorgeschlagen. Das qualitative Vorgehen von Miller und Waller wird dabei einerseits um einen Arbeitsschritt, die quantitative Realoptionsbewertung, erweitert. Andererseits wird die ursprünglich vorgesehene Szenarioanalyse verkürzt dargestellt. Aus einer Fülle von in der Literatur verwendeten Bewertungstechniken wird für diesen Schritt das Binomialmodell ausgewählt, da es unter anderem die Vorzüge eines intuitiven Vorgehens und eines vergleichsweise geringen mathematischen Aufwands mit sich bringt. Zudem liefert es leicht verständliche Vorgaben zur optimalen Optionsausübungspolitik. Die Absicherung der getroffenen Annahmen hinsichtlich der Eingangsparameter des Binomialmodells erfolgt durch eine Sensitivitätsanalyse.

Die beiden Merkmale zur Identifikation von Realoptionen, Unsicherheit und Flexibilität, werden als Ausschlusskriterien in die Arbeitsschritte eins und drei der Methode integriert. Unsicherheit bezüglich zukünftiger Entwicklungen liegt dann vor, wenn die für die unternehmerische Tätigkeit relevanten Einflussfaktoren schwer zu quantifizieren sind und sich in die drei Kategorien generelle Unsicherheit, Branchenunsicherheit und/oder Firmenunsicherheit einordnen lassen. Das Kriterium Flexibilität bezüglich der Realisierung eines Investitionsprojektes ist dann gegeben, wenn der Entscheidungsträger flexibel über den Durchführungszeitpunkt einer Investition und gegebenenfalls über deren zeitliche Aufteilung in Phasen entscheiden kann. Einem flexiblen Entscheidungsträger können sich die Optionen eröffnen,

Investitionen zu verzögern,

Investitionen zeitlich in Phasen zu unterteilen,

unternehmerische Tätigkeiten auszuweiten bzw. abzuschwächen,

operative Tätigkeiten (vorübergehend) stillzulegen,

operative Tätigkeiten endgültig stillzulegen und vorher genutzte Anlagen zu veräußern,

zwischen verwendeten Materialien bzw. hergestellten Waren zu wechseln oder

durch eine Investition neue Optionen zu schaffen.

Die entwickelte Methode wird nachfolgend angewandt, um die Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung im Plattenbaugebiet Weißwasser-Süd zu analysieren.

#### **4 Anwendung der Methode**

Gegenstand dieses Kapitels ist die Anwendung der auf dem Realoptionsansatz basierenden Methode auf die Siedlungsentwässerung von Weißwasser-Süd. Ziel ist es dabei, die Anwendbarkeit der Methode anhand der Kriterienüberprüfung zu hinterfragen. Weiterhin soll die Analyse Handlungsempfehlungen für den Umgang mit den Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung in Weißwasser-Süd liefern.

Das Kapitel ist gemäß den in Kapitel drei festgelegten fünf Arbeitsschritten der Analyse- methode gegliedert. Der erste Arbeitsschritt befasst sich mit der Abgrenzung des Untersuchungs- gegenstandes. Der zweite Arbeitsschritt thematisiert die Betroffenheit des Untersuchungs- gegenstandes von unsicheren Faktoren. Als Reaktion auf die Betroffenheit werden im dritten Arbeitsschritt Anpassungsmaßnahmen vorgeschlagen, die qualitativ miteinander verglichen werden. Im vierten Arbeitsschritt wird die vorteilhafteste Maßnahme einer quantitativen Be- wertung mit dem Binomialmodell unterzogen. Den Abschluss der Analyse bildet der fünfte Arbeitsschritt mit Vorgaben zur Implementierung des Realloptionsansatzes ins Unternehmens- geschehen. Das Kapitel schließt mit der Zusammenfassung der Analyseergebnisse.

#### **4.1 Arbeitsschritt 1: Untersuchungsgegenstand**

In diesem Arbeitsschritt erfolgt nach einer räumlichen und zeitlichen Abgrenzung des Unter- suchungsgegenstandes die Identifikation der relevanten unsicheren Faktoren.

Die Analyse konzentriert sich auf die Abwasserinfrastruktur des Gebietes Weißwasser-Süd, welche, der Terminologie von Miller und Waller (2003) folgend, der Unternehmensebene<sup>155</sup> gleichgesetzt wird. Um die Auswirkungen des demografischen Wandels gezielt zu erforschen, wird der Untersuchungsgegenstand räumlich abgegrenzt. Dieser wird außerdem nach den un- terschiedlichen Auswirkungen des demografischen Wandels unterteilt.

Das Abwasserpumpwerk Süd markiert den Anfangspunkt des Untersuchungsgegenstandes, da bis zu diesem Bereich der Abwasserinfrastruktur keine Probleme durch den demografischen Wandel<sup>156</sup> auftreten. Die Dimensionierung des Pumpwerkes hängt eng mit der Dimensionie- rung der anschließenden Druckrohrleitung<sup>157</sup> zusammen, weshalb diese beiden Komponenten zum ersten Abschnitt zusammengefasst werden. Der nach der Druckleitung folgende Abwas- serschacht sowie die Freispiegel-Sammelleitung sind besonders von Geruch und Korrosion infolge der H<sub>2</sub>S-Bildung betroffen und bilden gemeinsam den zweiten Abschnitt des Untersu- chungsgegenstandes. Für den Betrieb der Kläranlage spielen Geruchs- und Korrosionsprob- leme keine Rolle. Jedoch ist die ankommende Abwassermenge von hoher Bedeutung,<sup>158</sup> wes- halb die Kläranlage den eigenständigen dritten Abschnitt repräsentiert.

Der Untersuchungsgegenstand Abwasserinfrastruktur von Weißwasser-Süd gliedert sich als Gesamtsystem, wie in Abbildung 11 dargestellt, in die folgenden Abschnitte:

- A Pumpwerk mit anschließender Druckleitung,
- B Abwasserschacht mit anschließender Freispiegelleitung und
- C Kläranlage.

---

<sup>155</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 99.

<sup>156</sup> Vgl. Hülse, M. (2008b), o. S.

<sup>157</sup> Vgl. HÜLSE, M. (2008b), o. S.; zur Planung von Abwasserpumpwerken siehe z.B. ADAMCZYK, F. u. a. (1982), S. 436 ff.

<sup>158</sup> Vgl. Hülse, M. (2008b), o. S.

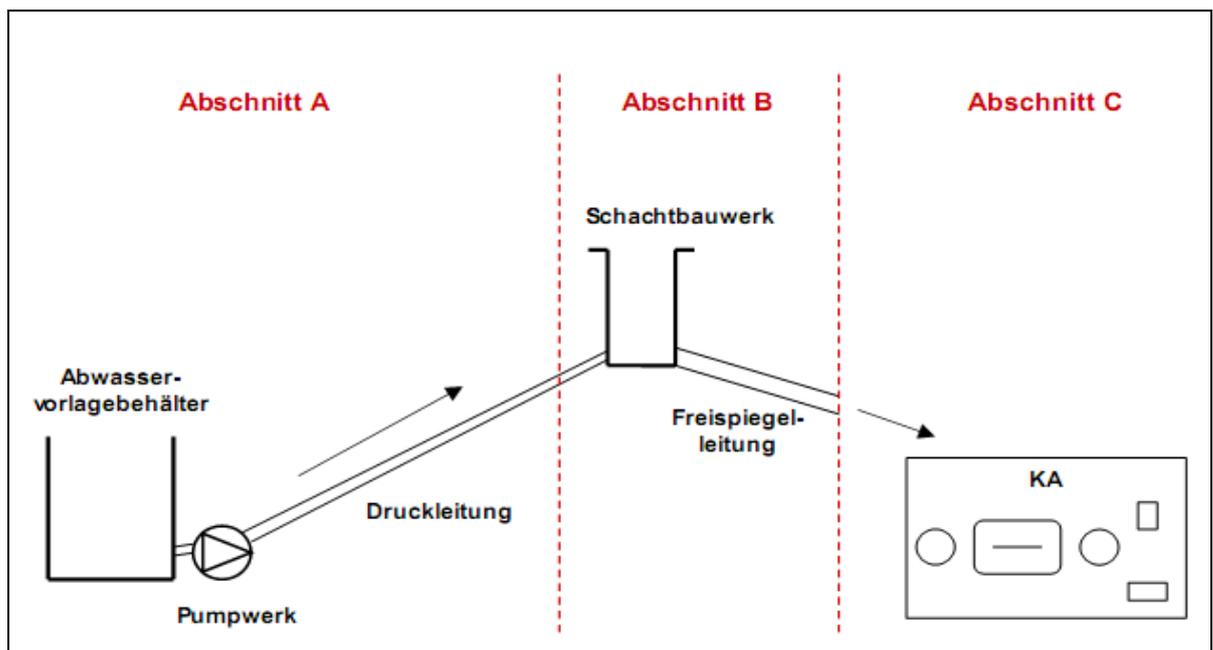


Abbildung 11: Schema Unterteilung des Untersuchungsgegenstands

(Eigene Darstellung)

Die Bereichsleitung für Abwasser in Weißwasser hat die Vorgabe, bis spätestens zum Ende des Jahres 2010 Entscheidungen hinsichtlich möglicher Anpassungsmaßnahmen zu treffen.<sup>159</sup> Aus diesem Grund wird der zeitliche Horizont der Untersuchung auf zwei Jahre festgelegt.

Wie in Unterkapitel 2.1.2 ausgeführt, wird die Siedlungsentwässerung vor allem in den neuen Bundesländern durch demografischen Wandel, sinkenden Pro-Kopf-Verbrauch an Trinkwasser, Rückgang des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs und Überdimensionierung der Abwasserinfrastruktur beeinflusst. Weitere Faktoren sind Klimawandel, neue ökologische Anforderungen an die Abwasserreinigung und technologischer Fortschritt. Neben den aufgezählten Faktoren ist die Einschätzung der Alterung von Infrastruktur-Komponenten, wie etwa von Leitungen und Abwasserpumpen, ebenfalls mit Unsicherheit behaftet.<sup>160</sup>

Angesichts einer Vielzahl unterschiedlicher Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung durch verschiedene Institutionen<sup>161</sup> und der aktuellen, konträr zu den Bevölkerungsprognosen des statistischen Bundesamtes verlaufenden Geburtenzahlen<sup>162</sup> ist festzustellen, dass keine genauen Vorhersagen der Bevölkerungsentwicklung möglich sind und dass der demografische Wandel einen Unsicherheitsfaktor darstellt. Da der demografische Wandel nicht nur für die

<sup>159</sup> Vgl. Hülse, M. (2008a), o. S.

<sup>160</sup> Vgl. Arboleda, C.A.; Abraham, D.M. (2006), S. 255.

<sup>161</sup> Vgl. Heiland, S.; Regener, M.; Stutzriemer, S. (2004), S. 26.

<sup>162</sup> Vgl. SCHWENTKER, B. (2008), o. S.

Branche der Abwasserentsorgung ein Problem darstellt, kann er als generelle soziale Unsicherheit verstanden werden.<sup>163</sup>

Der spezifische Wasserverbrauch könnte durch Techniken zum effizienteren Umgang mit Wasser sowohl in Haushalten als auch bei gewerblichen Nutzern weiter verringert werden.<sup>164</sup> Die damit verbundene Unsicherheit betrifft die Kategorie Produkte und Prozesse der Wasserversorgung und -entsorgung und ist damit als Branchenunsicherheit zu verstehen.

Angesichts des geschehenen Zusammenbruchs der wirtschaftlichen Basis Weißwassers<sup>165</sup> wird die Entwicklung des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs auch in Zukunft als unsicher angenommen. Dieser Einflussfaktor ist an die regionale wirtschaftliche Entwicklung gekoppelt und kann in die Kategorie einer generellen makroökonomischen Unsicherheit eingeordnet werden.

Der Einflussfaktor Überdimensionierung der Abwasserinfrastruktur wird im Folgenden aufgrund der Annahme vernachlässigt, dass sich Fehler wie bei der Dimensionierung der Wasserinfrastruktur in den neuen Bundesländern in diesem Ausmaß nicht wiederholen werden.

Da mögliche Folgen des Klimawandels wie Änderungen der Niederschlagsverteilung und der Niederschlagsmengen<sup>166</sup> zumindest theoretisch keinen direkten Einfluss auf das vorhandene Trennsystem haben und die Stadtwerke Weißwasser nicht für die Regenentwässerung zuständig sind,<sup>167</sup> wird der Klimawandel in Zusammenhang mit der Siedlungsentwässerung in Weißwasser nicht betrachtet.

Zukünftige neue ökologische Anforderungen sind dagegen differenziert zu betrachten. Während eventuelle Vorgaben zur Regenwasserbewirtschaftung ähnlich wie der Klimawandel keine Auswirkungen auf das Trennsystem des Untersuchungsgegenstandes haben, wirken sich verschärfte Vorgaben zur Elimination von Abwasserinhaltsstoffen, zum Nährstoffrecycling und zur Klärschlamm Entsorgung insbesondere auf die Abwasserreinigung in der Kläranlage aus. Diesbezügliche Vorgaben durch Verwaltungsvorschriften bzw. die Abwasserverordnung<sup>168</sup> können als generelle politische Unsicherheit interpretiert werden. Solche Vorgaben führen ebenso zu neuen technischen Anforderungen an die Abwasserreinigung<sup>169</sup> und können daher alternativ als Branchenunsicherheit bezüglich Produkten und Prozessen verstanden werden.

---

<sup>163</sup> Z.B. sind Auswirkungen auf die soziale Infrastruktur wie z.B. Schulen sowie auf andere Komponenten technischer Infrastruktur wie Trinkwasserversorgung und den öffentlichen Verkehr zu beobachten, siehe etwa INTER 3 GMBH, INSTITUT FÜR RESSOURCENMANAGEMENT (Hrsg.) (2006), S. 1 ff.

<sup>164</sup> Vgl. Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2007), S. 47 ff.

<sup>165</sup> Vgl. Kabisch, S.; Peter, A.; Bernt, M. (2007), S. 39; Kirbach, R. (2004), S. 15.

<sup>166</sup> Vgl. Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2006), S. 1265.

<sup>167</sup> Vgl. STADTWERKE WEIßWASSER GMBH (Hrsg.) (2008b), o. S.

<sup>168</sup> Vgl. Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2006), S. 1269.

<sup>169</sup> Vgl. Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2006), S. 1269.

Neben dem Trend zur Entwicklung Wasser sparender Techniken werden ständig Anstrengungen zur Weiterentwicklung dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen unternommen.<sup>170</sup> Infolge von Lern- und Skaleneffekten ist deshalb mit einer Senkung der Anschaffungskosten zu rechnen.<sup>171</sup> Die technologische Weiterentwicklung dezentraler Anlagen kann damit als Branchenunsicherheit hinsichtlich Produkten und Prozessen der Siedlungsentwässerung verstanden werden.

Angesichts der Energiepreissteigerungen in den vergangenen Jahren<sup>172</sup> sollte die Preisentwicklung ebenfalls als unsicherer Faktor einbezogen werden. Sie ist als generelle makroökonomische Unsicherheit zu verstehen, da sie die gesamte Volkswirtschaft betrifft.

Das Unternehmen könnte für Geruchsemissionen infolge der H<sub>2</sub>S-Bildung haftbar gemacht werden, da sich Anwohner beschweren oder Mitarbeiter bei Arbeiten im Kanal gefährdet sein könnten. Diese Haftbarkeit kann als firmenspezifische Unsicherheit interpretiert werden und ist in jedem Fall in die Betrachtung einzubeziehen.

Aus Vereinfachungsgründen wird hingegen unterstellt, dass die Verantwortlichen für den Untersuchungsgegenstand über genügend Know-how bezüglich der Alterung von Infrastrukturkomponenten verfügen und dass keine weitere firmenspezifische Unsicherheit hinsichtlich der betrieblichen Abläufe besteht.<sup>173</sup>

Zusammenfassend wird konstatiert, dass das Kriterium Unsicherheit hinsichtlich der folgenden Einflussvariablen erfüllt und die Anwendung des qualitativen Realoptionsansatzes somit gerechtfertigt ist:

demografischer Wandel,

Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs infolge technologischer Neuerungen,

Rückgang des industriellen und gewerblichen Wasserbedarfs,

ökologische Anforderungen an die Abwasserreinigung,

Weiterentwicklung von Techniken zur dezentralen Entsorgung,

Entwicklung des Energiepreises und

Geruchsentwicklung infolge H<sub>2</sub>S-Bildung.

Im nächsten Arbeitsschritt wird untersucht, welchen Einfluss die Variablen auf die Systemabschnitte des Untersuchungsgegenstandes ausüben.

---

<sup>170</sup> Vgl. Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2007), S. 47 f.

<sup>171</sup> Vgl. Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2007), S. 50.

<sup>172</sup> Vgl. Ministerium für Umwelt, forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2007), S. 40.

<sup>173</sup> Für weitere Informationen zur Behandlung des Unsicherheitsfaktors „Alterung des Systems“ siehe z.B. ARBOLEDA, C.A.; ABRAHAM, D.M. (2006), S. 255 ff.

## **4.2 Arbeitsschritt 2: Betroffenheit des Systems**

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, eine kombinierte Darstellung der Auswirkungen aller Einflussvariablen auf die einzelnen Abschnitte des Untersuchungsgegenstandes zu erhalten. Für jeden Einflussfaktor werden dazu die voraussichtlichen Effekte auf die finanzielle Leistung jedes Abschnittes untersucht. Da die finanzielle Leistung maßgeblich durch die je Systemabschnitt anfallenden Betriebskosten beeinflusst wird,<sup>174</sup> gilt festzustellen, ob der jeweilige unsichere Faktor die Betriebskosten erhöht oder vermindert.

Um die Größenordnung der Auswirkungen auf den gesamten Untersuchungsgegenstand festzustellen, wird zuerst jedem Systemabschnitt eine Gewichtung auf Grundlage des jeweiligen Anteils an den Gesamtbetriebskosten zugeordnet. Danach erfolgt die qualitative Bestimmung der Betroffenheit der einzelnen Systemabschnitte und des gesamten Untersuchungsgegenstandes. Die Bestimmung der Betroffenheit soll Aufschluss darüber geben, welche Eventualitäten für welchen Abschnitt relevant sind und ob durch die Eventualitäten ähnliche oder sogar gegenläufige Effekte in den verschiedenen Systemabschnitten auftreten können.

### **4.2.1 Abschätzung der Betriebskosten**

Die Abschätzung der Betriebskosten für jeden Abschnitt des Untersuchungsgegenstandes Weißwasser-Süd erfolgt unter der vereinfachenden Annahme, dass die spezifischen Betriebskosten für Druck- und Freispiegelleitungen gleichgesetzt werden. Durch das gesamte System wird eine Abwassermenge von ca. 4.500 EW entwässert.<sup>175</sup> Für jeden Bestandteil der Betriebskosten wird der Mittelwert der von Reicherter (2003) ermittelten Kosten<sup>176</sup> verwendet.

Reicherter (2003) unterteilt die Betriebskosten in der Abwasserableitung in die Kostenarten Personal, Material, Instandhaltung und kalkulatorische Kosten. Aufgewendete Energie zählt dabei zu den Materialkosten. Unter Instandhaltungskosten werden Aufwendungen für Wartung, Inspektion und Schadensbehebung verstanden.<sup>177</sup> Die Eingangsdaten der Berechnung für die Abschnitte A und B betreffen die jährlichen Betriebskosten der Abwasserableitung. Das Abwasserpumpwerk überwindet einen Höhenunterschied von 14,39 m. Die Länge der Druckleitung beträgt 1.545 m, die der Freispiegelleitung 4.000 m.<sup>178</sup> In beiden Abschnitten beträgt der Mittelwert der Kosten für Material-, Personal- und Instandhaltungsaufwand 5,50 €/m Kanallänge, für kalkulatorische Kosten 25 €/m Kanallänge. Die Energiekosten des Pumpwerkes im Abschnitt A betragen  $2 \text{ €}/((\text{m}^3 \text{ Abwasser} * \text{m Kanal}) * 1000)$ .<sup>179</sup>

Die Betriebskostenarten in der Abwasserreinigung lassen sich laut Reicherter (2003) in Aufwendungen für Personal, Energie, Brauchwasser, verwendete Materialien, Fremdleistungen, Reststoffentsorgung und Abwasserabgabe unterteilen. Hinzu kommen Verwaltungskosten,

---

<sup>174</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 102.

<sup>175</sup> Vgl. Hülse, M. (2008c), o. S.

<sup>176</sup> Vgl. Reicherter, E. (2003), S. 85 ff und S. 123 ff.

<sup>177</sup> Vgl. Reicherter, E. (2003), S. 123 ff.

<sup>178</sup> Vgl. Hülse, M. (2008c), o. S.

<sup>179</sup> Vgl. Reicherter, E. (2003), S. 134.

kalkulatorische und sonstige Kosten.<sup>180</sup> Die Eingangsdaten der Berechnung für Abschnitt C betreffen Betriebskosten der Abwasserreinigung. An die Kläranlage ist derzeit eine Abwassermenge von 23.000 EW angeschlossen, weshalb die mittleren spezifischen Daten der Kläranlagengrößenklasse 4 verwendet werden.<sup>181</sup> Die spezifischen Betriebskosten werden mit 4.500 EW multipliziert, um den Anteil des Untersuchungsgegenstandes an den Betriebskosten der KA zu ermitteln. Als Mittelwert für die kalkulatorischen Kosten werden 23 €/EW, für die kalkulatorischen Kosten 23 €/EW und für die Verwaltungskosten ca. 5 % der Gesamtbetriebskosten angenommen.<sup>182</sup> Die Ergebnisse der Berechnungen werden in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Betriebskosten der Systemabschnitte des Untersuchungsgegenstandes  
(Eigene Darstellung)

Posten	Abschnitt A	Abschnitt B	Abschnitt C
<b>Betriebskosten (ohne kalkulatorische und Verwaltungskosten)</b>	20.018 €	22.000 €	103.500 €
<b>Kalkulatorische Kosten</b>	38.625 €	100.000 €	103.500 €
<b>Verwaltungsaufwand</b>	-	-	10.350 €
<b>Summe</b>	58.643 €	122.000 €	217.350 €
<b>Anteil an Gesamtkosten</b>	14,7 %	30,7 %	54,6 %

Die überschlägige Berechnung der Betriebskosten ergibt somit folgende Verteilung der Gesamtbetriebskosten:

Abschnitt A: 14,7 %,

Abschnitt B: 30,7 %,

Abschnitt C: 54,6 %.

#### 4.2.2 Bestimmung der Betroffenheit

Im Folgenden werden die Effekte der unsicheren Faktoren auf die Systemabschnitte untersucht.

Werden die Veränderungen der Abwasserzusammensetzung nicht beachtet, so führen demografischer Wandel und Schwankungen sowohl des spezifischen Wasserverbrauchs als auch des industriellen und gewerblichen Wasserbedarfs letztendlich zu einer Veränderung der Abwassermengen. Zur Untersuchung der Effekte dieser Faktoren auf die Abschnitte des Untersuchungsgegenstandes werden diese zusammengefasst als Veränderung der Abwassermenge betrachtet. Es wird angenommen, dass angesichts der derzeitigen Situation ein geringeres

<sup>180</sup> Vgl. Reicherter, E. (2003), S. 85 ff.

<sup>181</sup> Vgl. Reicherter, E. (2003), S. 81.

<sup>182</sup> Vgl. Reicherter, E. (2003), S. 134.

Abwasseraufkommen im Abschnitt A zu häufigeren, energetisch ungünstigen Leistungsspitzen des überdimensionierten Pumpwerkes führt und im Abschnitt B mit einer erhöhten Korrosion zu rechnen ist. Dies wiederum hätte Erneuerungsmaßnahmen an den betroffenen Komponenten zur Folge. Auch für die Kläranlage müssten im Fall eines geringeren Abwasseraufkommens weiter steigende Betriebskosten angenommen werden, da die Anlagenkomponenten, z.B. Pumpen und Gebläsestationen, ähnlich wie durch die erfolgte Überdimensionierung<sup>183</sup> in einem energetisch ungünstigen Betriebspunkt laufen würden.

Sollte die technologische Weiterentwicklung dezentraler Abwasserreinigungsanlagen innerhalb des Untersuchungszeitraumes dazu führen, dass eine dezentrale Reinigung des Abwassers der an das APW Süd angeschlossenen Kommunen und noch vorhandenen Betriebe insgesamt als günstiger betrachtet wird als eine zentrale, so hätte dies gegenläufige Effekte zwischen den Abschnitten zur Folge. Einerseits könnten dann die Abschnitte A und B stillgelegt werden, wodurch zumindest keine Betriebskosten mehr anfallen würden.<sup>184</sup> Andererseits wäre Abschnitt C von einer verringerten Abwassermenge und Schmutzfracht betroffen, was die Betriebskosten in der KA noch weiter erhöhen würde.

Es wird ebenso unterstellt, dass strengere ökologische Vorgaben hinsichtlich der Elimination von Abwasserinhaltsstoffen bzw. des Nährstoffrecyclings die Betriebskosten für dazu neu angeschaffte Reinigungsanlagen im Abschnitt C erhöhen würden. Für die Abschnitte A und B hingegen hätten derartige Vorgaben keine Auswirkungen.

Von der Entwicklung der Energiekosten wären besonders das Pumpwerk im Abschnitt A und die Kläranlage in Abschnitt C betroffen, während Abschnitt B unbeeinflusst bliebe. Demgegenüber tritt die Geruchsentwicklung ausschließlich im Abschnitt B auf und kann deshalb nur diesen Bereich des Untersuchungsgegenstands negativ beeinflussen.

Tabelle 7 stellt die Betroffenheit der einzelnen Abschnitte des Gesamtsystems von den sich aus Unsicherheit ergebenden Eventualitäten dar. In der ersten Spalte sind die bereits identifizierten und unsicheren Faktoren aufgelistet. In der zweiten und dritten Spalte erfolgt eine Einordnung der unsicheren Faktoren in die Kategorien der Unsicherheit nach Miller und Waller (2003). Der Effekt der unsicheren Faktoren auf die finanzielle Leistung der Systemabschnitte A, B und C ist in der vierten, fünften und sechsten Spalte dargestellt, wobei „+“ auf einen positiven<sup>185</sup> und „-“ auf einen negativen Zusammenhang hinweist. Die Kennzeichnung „0“ bedeutet, dass kein Zusammenhang feststellbar ist. Die Kennzeichnungen sind als qualitative Regressionskoeffizienten zu verstehen. Dabei können sich die unsicheren Faktoren in Form einer kontinuierlichen Variablen oder in Form eines diskreten Ereignisses auf die finanzielle Leistung jedes Abschnittes auswirken.<sup>186</sup> So repräsentiert der Faktor Energiepreisentwicklung eine kontinuierliche Variable, während ein neues Gesetz zu ökologischen Vorgaben ein diskre-

---

<sup>183</sup> Vgl. KLUGE, T. u. a. (2003), S. A13.

<sup>184</sup> Vgl. Hülse, M. (2008a), o. S.

<sup>185</sup> Z.B. führt eine Verstärkung des demografischen Wandels zu einer Erhöhung der Betriebskosten und damit zu einer Verschlechterung der finanziellen Leistung im Abschnitt A, daher die Kennzeichnung eines negativen Zusammenhangs.

<sup>186</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 101.

tes Ereignis darstellt. Die Gewichtung in der letzten Zeile basiert auf dem geschätzten Anteil der Betriebskosten jedes Abschnittes an den gesamten Betriebskosten des Systems. Die letzte Spalte der Tabelle stellt den Nettoeffekt auf den gesamten Untersuchungsgegenstand für jeden unsicheren Faktor als Summe der gewichteten Einzeleffekte dar.

Tabelle 7: Betroffenheit des Systems durch unsichere Faktoren  
(Eigene Darstellung)

Unsicherer Faktor	Typ der Unsicherheit	Kategorie von Unsicherheit	A	B	C	$\Sigma$
<b>Demografischer Wandel</b>	Generell	Sozial	-	-	-	-
<b>Rückgang spezifischer Wasserverbrauch</b>	Generell	Makro- ökonomisch	-	-	-	-
<b>Rückgang industrieller und gewerblicher Wasserbedarf</b>	Branche	Produkte und Prozesse	-	-	-	-
<b>Technologischer Fortschritt dezentraler Anlagen</b>	Branche	Produkte und Prozesse	+	+	-	-
<b>Ökologische Vorgaben</b>	Generell/ Branche	Politisch/ Produkte und Prozesse	0	0	-	-
<b>Energiepreisentwicklung</b>	Generell	Makro- ökonomisch	-	0	-	-
<b>Geruchsbelästigung durch H<sub>2</sub>S-Bildung</b>	Firma	Haftbarkeit	0	-	0	-
<b>Gewichtung</b>			<b>0,147</b>	<b>0,307</b>	<b>0,546</b>	<b>1,00</b>

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich lediglich beim vierten Unsicherheitsfaktor, dem technologischen Fortschritt dezentraler Anlagen, gegenläufige Effekte im Vergleich der Abschnitte ergeben. Andere Faktoren wie der demografische Wandel haben entweder auf alle Abschnitte den gleichen Effekt oder berühren, wie die Faktoren ökologische Vorgaben, Energiepreisentwicklung und Geruchsbelästigung, nicht alle Systemabschnitte.

Der jeweilige Gesamteffekt macht deutlich, dass die Verstärkung jedes Faktors ceteris paribus eine Erhöhung der Betriebskosten für das Gesamtsystem zur Folge hätte und umgekehrt eine Abschwächung der Faktoren zu einer Senkung der Betriebskosten führen würde. Demzufolge haben alle auf den Untersuchungsgegenstand wirkenden unsicheren Faktoren im Fall einer Verstärkung einen negativen Gesamteffekt auf dessen finanzielle Leistung.<sup>187</sup>

<sup>187</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 102.

Der nächste Arbeitsschritt beschäftigt sich mit Auswahl und Bewertung von Realloptionen in Form von Anpassungsmaßnahmen an die sich durch unsichere Faktoren ergebenden Gesamteffekte.

### **4.3 Arbeitsschritt 3: Auswahl und Vergleich von Realloptionen**

Dieser Arbeitsschritt zielt auf die Auswahl und den qualitativen Vergleich von den Realloptionen ab, die sich als Maßnahmen zur Anpassung an die Betroffenheit des Untersuchungsgegenstands anbieten. Nach der Aufstellung möglicher Anpassungsmaßnahmen in Form von Investitionen sowie ihrer Effekte auf den Untersuchungsgegenstand werden diese auf das Vorhandensein von Flexibilität überprüft, um herauszufinden ob sie Realloptionen darstellen oder nicht. Die identifizierten Realloptionen werden darauf folgend qualitativ miteinander verglichen, um den vorteilhaftesten Kandidaten für eine Investition zu bestimmen.

#### **4.3.1 Mögliche Anpassungsmaßnahmen und ihre Auswirkungen auf den Untersuchungsgegenstand**

Die im Folgenden aufgezählten Anpassungsmaßnahmen könnten bereits im Betrachtungszeitraum realisiert werden und sollen die Betroffenheit des Systems vor allem hinsichtlich der unsicheren Faktoren demografischer Wandel, Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs und Rückgang des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs verringern. Zudem ist der Einbezug der Faktoren Geruchsentwicklung und Energiepreisschwankung in die Betrachtungen vorgesehen. Laut Aussage der Bereichsleitung Abwasser in Weißwasser bestehen derzeit noch keine Handlungsmöglichkeiten<sup>188</sup> in Bezug auf die unsicheren Faktoren technologischer Fortschritt hinsichtlich dezentraler Anlagen und ökologische Vorgaben. Jedoch sollten Grundlagen geschaffen werden, um auf etwaige technologische bzw. gesetzliche Vorgaben reagieren zu können. Hier bietet sich die Kontaktaufnahme bzw. sogar die Schließung von Verträgen mit Anbietern entsprechender Technologien<sup>189</sup> an, um für derartige Vorgaben gerüstet zu sein. Bereits heute könnten zudem Sicherheitsreserven in der finanziellen Planung vorgesehen werden.<sup>190</sup>

Im Allgemeinen bietet sich dem Unternehmen entweder die Möglichkeit, auf momentan bestehende Probleme zu reagieren und unsichere Faktoren in der Planung zu vernachlässigen, oder aber betriebliche bzw. investive Anpassungsmaßnahmen zu prüfen. Im Rahmen dieser Arbeit werden insbesondere Handlungsmöglichkeiten im Bereich der Abwasserableitung untersucht, da unterstellt wird, dass Kommunen und private Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen immer an einer Steigerung der Energieeffizienz von Kläranlagen interessiert sind.<sup>191</sup> Es wird folglich angenommen, dass energetische Optimierungen und damit erforderliche Sen-

---

<sup>188</sup> Vgl. Hülse, M. (2008b), o. S.

<sup>189</sup> Wie etwa Anbietern von Verfahren der solaren Klärschlamm-trocknung als Alternative zur bisher angewandten landwirtschaftlichen Klärschlamm-sorgung.

<sup>190</sup> Vgl. Schaub, H. (1996), S. 91.

<sup>191</sup> Vgl. Ministerium für Umwelt, forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2007), S. 6.

kungen der Betriebskosten in Kläranlagen ständig durchgeführt werden und demnach nur Anpassungsmöglichkeiten im Bereich der Abwasserableitung betrachtet werden.

Würde das Unternehmen eine Sanierung korrodierter Komponenten wie geplant<sup>192</sup> vornehmen, vernachlässigte es zwar unsichere Faktoren, aber es reagierte zumindest kurzfristig auf die Probleme durch Geruch und Korrosion. Alternativ dazu könnte das Unternehmen diese Probleme vernachlässigen, d.h. es ließe die bereits korrodierten Kanalisationskomponenten verfallen und akzeptierte erhöhte Betriebskosten im APW. Allerdings wäre diese Möglichkeit sehr fragwürdig, da im Schadensfall von einer Beeinträchtigung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit sowie der Standsicherheit der Kanalisation auszugehen ist<sup>193</sup> und folglich mit noch höheren Instandhaltungskosten zu rechnen wäre.

Eine mögliche betriebliche Anpassungsmaßnahme wäre die Zudosierung von Chemikalien im Pumpwerk des Abschnittes A zur Bekämpfung von Geruch und Korrosion in den im Abschnitt B befindlichen Kanalisationskomponenten.<sup>194</sup> Mit Hilfe dieser Maßnahme könnten im Abschnitt B die Kosten der Wartung und Instandhaltung gesenkt werden, da die Bauwerke bei verminderter Korrosion eine längere Lebensdauer hätten. Allerdings wäre für Abschnitt A mit höheren Betriebskosten auf Grund des Chemikalieneinsatzes zu rechnen. In Abhängigkeit von den verwendeten Chemikalien könnten höhere Betriebskosten für die Kläranlage entstehen, wenn wie bei Zudosierung von Fällmitteln eine Abtrennung des zusätzlich entstehenden Schlammes auf der Kläranlage nötig werden sollte.<sup>195</sup>

Eine andere betriebliche Maßnahme wäre die Einleitung von Fremdwasser, z.B. aus einem Brunnen, in Kombination mit einer vermehrten Einleitung von Niederschlagswasser noch vor dem Abschnitt A, um die Aufenthaltszeit des Abwassers zu verkürzen. Dadurch könnte im Abwasser zumindest kurzfristig die H<sub>2</sub>S-Konzentration verringert und der Sauerstoff-Gehalt angehoben werden.<sup>196</sup> Den durch die verminderte Korrosion reduzierten Instandhaltungskosten im Abschnitt B sowie den geringeren Energiekosten durch weniger Leistungsspitzen im APW stünde dabei ein erhöhter Energieaufwand für die Einleitung des Fremdwassers, etwa durch Brunnenpumpen, gegenüber. Da sich außerdem die Reinigungsleistung der KA im Abschnitt C durch die Verdünnung des Abwassers stark verschlechtern<sup>197</sup> würde und die Erhöhung der Fremdwassermenge infolge dessen vom Unternehmen generell nicht erwünscht<sup>198</sup> ist, wird diese Maßnahme ausgeschlossen.

Eine investive Anpassungsmöglichkeit wäre durch die nachträgliche Sanierung des Abwasser-schachtes und der Freispiegelleitung im Abschnitt B mit korrosionsbeständigen Werkstoffen

---

<sup>192</sup> Vgl. Hülse, M. (2008b), o. S.

<sup>193</sup> Vgl. Stein, D.; Niederehe, W. (1992), S. 1.

<sup>194</sup> Aufgrund vergleichsweise geringer Wartungs- und Energiekosten bietet sich dafür insbesondere eine Eisensalzdosierung in Pumpwerken an, vgl. EITING, R. (2006), S. 1347 ff.; PÖLLMANN, C. (2008), S. 77.

<sup>195</sup> Vgl. Barjenbruch, M. (2004), S. 10.

<sup>196</sup> Vgl. Barjenbruch, M. (2004), S. 9.

<sup>197</sup> Vgl. Barjenbruch, M. (2004), S. 9.

<sup>198</sup> Vgl. Hülse, M. (2008a), o. S.

gegeben. Die Verwendung korrosionsbeständiger Materialien wie glasfaserverstärkter Kunststoffe für Schachtbauwerke<sup>199</sup> bzw. Steinzeug für Abwasserkanäle<sup>200</sup> hätte eine Verringerung der Instandhaltungskosten im Abschnitt B zur Folge, wenn davon ausgegangen wird, dass die entsprechenden Komponenten dauerhaft gegen Korrosion geschützt<sup>201</sup> wären und damit eine längere Lebensdauer aufwiesen. Allerdings blieben die Betriebskosten anderer Bereiche davon unberührt und es wäre weiterhin mit Geruchsbildung im Abschnitt B infolge der ungehinderten H<sub>2</sub>S-Bildung zu rechnen.

Auch die Anpassung der Leistung im APW in Verbindung mit der Verkleinerung des Leitungsquerschnitts der anschließenden Druckleitung im Abschnitt A wäre möglich. Diese Maßnahme könnte bei optimaler Auslegung dazu führen, dass sowohl die energetischen Belastungen des APW als auch die H<sub>2</sub>S-Bildung durch kürzere Aufenthaltszeiten<sup>202</sup> des Abwassers verringert würden und damit die Betriebskosten in den Abschnitten A und B gesenkt werden könnten.

Zusammenfassend werden folgende Handlungsmöglichkeiten zum Umgang mit den auftretenden Problemen ermittelt:

- konventionelle Sanierung der von Korrosion betroffenen Kanalisationskomponenten ohne Korrosionsschutz im Abschnitt B,
- keine Reaktion auf auftretende Probleme und auf den Verfall geschädigter Bauteile im Abschnitt B,
- Zudosierung von Chemikalien im APW des Abschnittes A zur Bekämpfung von Geruch und Korrosion im Abschnitt B,
- nachträgliche Erneuerung bereits korrodierteter Kanalisationskomponenten mit korrosionsbeständigem Material im Abschnitt B,
- Systemverkleinerung von Kanalisationskomponenten im Abschnitt A.

#### **4.3.2 Überprüfung des Kriteriums Flexibilität**

Vor einer Bewertung gilt zu klären, ob die aufgezählten Möglichkeiten des Unternehmens als Realoptionen bezeichnet werden können, d.h. ob das Kriterium der Flexibilität des Entscheidungsträgers entsprechend definierter Realoptionsarten bei den einzelnen Maßnahmen vorliegt. Der Grad der Flexibilität von Anpassungsmaßnahmen wird anhand ihres Grades an Irreversibilität untersucht.

Es wird zudem geprüft, ob die identifizierten Optionskandidaten den Vorgaben des Unternehmensumfelds genügen. Die Überprüfung beschränkt sich vor allem auf die Komponenten des erweiterten aufgabenspezifischen und des globalen Unternehmensumfelds. Das aufgaben-

---

<sup>199</sup> Vgl. Doll, H.; Neubert, V. (2008), S. 204 ff.

<sup>200</sup> Vgl. Pöllmann, C. (2008), S. 74.

<sup>201</sup> Vgl. Doll, H.; Neubert, V. (2008), S. 204.

<sup>202</sup> Vgl. Barjenbruch, M. (2004), S. 9.

spezifische Unternehmensumfeld wird hier vernachlässigt, da die Stadtwerke Weißwasser GmbH die Abwasserentsorgung auf Basis eines Geschäftsbesorgungsvertrages<sup>203</sup> realisieren und angenommen wird, dass sie damit während der Vertragslaufzeit eine Monopolstellung innerhalb der Abwasserentsorgung für Weißwasser innehaben.<sup>204</sup> In diesem Fall ist anzunehmen, dass eventuell vorliegende Realoptionen generell nur dem Versorgungsunternehmen zur Verfügung stehen und damit als exklusiv bezeichnet werden können.<sup>205</sup>

Die Sanierung der von Korrosion betroffenen Kanalisationskomponenten ist für das Unternehmen unumgänglich. So können infolge der Korrosion Undichtigkeiten in Schachtbauwerken und Kanälen entstehen, wodurch eine Kontamination des Bodens bzw. der Kontakt des Abwassers mit dem Grundwasser möglich ist.<sup>206</sup> Erfolgt trotzdem keine Sanierung, entspricht das Unternehmen nicht den rechtlichen Rahmenbedingungen seines globalen Umfelds, was unter anderem haftungsrechtliche Konsequenzen<sup>207</sup> nach sich ziehen kann.

Theoretisch könnte das Unternehmen mit der Sanierung warten und besäße folglich eine Option, die Investition zu verzögern.<sup>208</sup> Allerdings wäre bei einem solchen „Projekt“ angesichts steigender Sanierungskosten und möglicher Strafzahlungen<sup>209</sup> nicht mit einer positiven Veränderung der zukünftigen Cash Flows zu rechnen. Zudem würde eine Geruchsbelästigung infolge der starken H<sub>2</sub>S-Bildung<sup>210</sup> weiterhin bestehen und könnte zu Anwohnerbeschwerden, einem schlechten Medienecho<sup>211</sup> und demzufolge zur Verschlechterung des Unternehmens-Image führen. Somit würde das Unternehmen sowohl die Öffentlichkeit als Komponente des erweiterten aufgabenspezifischen Umfelds als auch die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen des globalen Umfelds vernachlässigen. Des Weiteren ließe das Unternehmen bei dieser Maßnahme die Mitarbeiter im erweiterten aufgabenspezifischen Umfeld außer Acht, da eine Gesundheitsgefährdung bei Arbeiten im Kanal<sup>212</sup> nicht auszuschließen wäre. Eine konventionelle Sanierung von Schachtbauwerk und Freispiegelleitung lässt folglich keinen Spielraum für flexible Entscheidungen und muss in jedem Fall durchgeführt werden.<sup>213</sup> Sie ist somit nicht als Realoption zu verstehen. Das Unternehmen besitzt ebenso keine Option darauf, die

---

<sup>203</sup> Vgl. STADTWERKE WEIßWASSER GMBH (Hrsg.) (2008d), o. S.

<sup>204</sup> Für weitere Informationen zu bestehenden Organisationsformen zwischen privaten Unternehmen und öffentlichen Gebietskörperschaften siehe etwa WINKLER, A. (1999), S. 31 ff.

<sup>205</sup> Vgl. ODENING, M.; MUBHOFF, O. (2001), S. 487.

<sup>206</sup> Vgl. Stein, D.; Niederehe, W. (1992), S. 1.

<sup>207</sup> Vgl. Salzwedel, J. (1982), S. 23 ff.; Stein, D.; Niederehe, W. (1992), S. 1.

<sup>208</sup> Vgl. TRIGEORGIS, L. (2005), S. 28.

<sup>209</sup> Vgl. Stein, D.; Niederehe, W. (1992), S. 1.

<sup>210</sup> Laut Hülse (2008b) ergeben H<sub>2</sub>S-Messungen am Schachtbauwerk bisweilen eine Belastung von bis zu 1000 parts per million, was laut DWA DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (Hrsg.) (2004), S. 25 unmittelbar eine lebensbedrohliche Konzentration darstellt.

<sup>211</sup> Vgl. Günther, E. (1994), S. 32.

<sup>212</sup> Vgl. Barjenbruch, M. (2004), S. 1.

<sup>213</sup> Vgl. Kämpfer, W. (2008), S. 79.

Probleme aufgrund von Geruch und Korrosion einfach zu vernachlässigen, da es zu einer Sanierung aus genannten Gründen verpflichtet ist.

Die Zugabe von Chemikalien zur Bekämpfung von Geruch und Korrosion würde bei einer Investitionsentscheidung mit der Möglichkeit verglichen, außer einer konventionellen Sanierung keine Maßnahmen gegen Geruch und Korrosion zu ergreifen. Statt durch den Chemikalieneinsatz erhöhter Betriebskosten wären bei einer konventionellen Sanierung häufigere Aufwendungen für die Instandhaltung in Kauf zu nehmen. Folglich kann von einer Option auf den Wechsel zwischen verwendeten Materialien gesprochen werden.<sup>214</sup> Da es sich bei der Chemikaliendosierung um ein vielfach angewandtes Verfahren zur Bekämpfung von Geruch und Korrosion in der Abwasserableitung<sup>215</sup> handelt, wird angenommen, dass diese Möglichkeit keine Konflikte mit dem Unternehmensumfeld hervorruft. Demzufolge ist das Kriterium Flexibilität für die Maßnahme erfüllt und eine Bewertung der Realoption kann durchgeführt werden.

Im Fall einer nachträglichen Sanierung der betroffenen Kanalisationskomponenten im Abschnitt B mit korrosionsbeständigem Material müssten die Kosten dieser Sanierungsart mit den häufigeren Aufwendungen für die konventionelle Instandhaltung verglichen werden. Demzufolge liegt auch hier eine Option vor, zwischen verschiedenen Materialien zu wechseln.<sup>216</sup> Allerdings würde das Unternehmen durch die weiterhin auftretende Geruchsentwicklung, ähnlich wie bei der konventionellen Sanierung der Anlagenkomponenten, den Ansprüchen von Mitarbeitern und Öffentlichkeit sowie den gesellschaftlichen Rahmenbedingungen widersprechen. Die Maßnahme kann nur dann als Realoption bezeichnet werden, wenn sie nicht wie eine konventionelle Sanierung sofort ausgeführt werden muss. Insofern kann der Entscheidungsträger nur bei einer nachträglichen Sanierung mit korrosionsbeständigen Materialien flexibel über den Durchführungszeitpunkt entscheiden.

Die Möglichkeit einer Systemverkleinerung kann als Option zur Abschwächung unternehmerischer Tätigkeiten interpretiert werden, da die operative Tätigkeit reduziert<sup>217</sup> würde. Es wird angenommen, dass ähnlich wie bei den diskutierten betrieblichen Anpassungsmaßnahmen die Ansprüche des Unternehmensumfelds gewahrt blieben.

Zusammenfassend werden folgende Handlungsoptionen aufgestellt, die das Kriterium Flexibilität des Entscheidungsträgers erfüllen und als Kandidaten für Realoptionen nachfolgend verglichen werden:

- Zudosierung von Chemikalien im Abschnitt A,
- Nachträgliche Sanierung mit korrosionsbeständigen Materialien im Abschnitt B bzw.
- Systemverkleinerung im Abschnitt A.

---

<sup>214</sup> Vgl. TRIGEORGIS, L. (2005), S. 30.

<sup>215</sup> Vgl. BARJENBRUCH, M. (2004), S. 9 f.; PÖLLMANN, C. (2008), S. 77; KLUGE (2003), S. A8 f.

<sup>216</sup> Vgl. TRIGEORGIS, L. (2005), S. 30.

<sup>217</sup> Vgl. TRIGEORGIS, L. (2005), S. 29.

Es wird unterstellt, dass die investiven Maßnahmen Y und Z mit hohen Baukosten verbunden sind und damit im Vergleich zur Maßnahme X höhere versunkene Kosten<sup>218</sup> hervorrufen. Die investiven Optionen weisen demnach einen höheren Grad an Irreversibilität und somit einen geringeren Flexibilitätswert als die betrieblichen Handlungsoptionen auf.<sup>219</sup>

### 4.3.3 Qualitativer Vergleich und Auswahlentscheidung

Zur qualitativen Bewertung und Auswahl der für das Unternehmen sinnvollen Realloptionen aus den ermittelten Kandidaten werden diese als eigenständige Geschäftseinheiten betrachtet,<sup>220</sup> deren finanzielle Leistung ebenso wie die der bestehenden Geschäftseinheiten A, B und C durch unsichere Faktoren beeinflussbar sind. Nachfolgend wird untersucht, inwiefern sowohl der Untersuchungsgegenstand als auch die Optionskandidaten durch unsichere Faktoren betroffen sind.

Die identifizierten Optionskandidaten sind unter anderem auf eine Reduzierung der Betroffenheit des Untersuchungsgegenstands durch die unsicheren Faktoren demografischer Wandel, Rückgang des industriellen und gewerblichen Wasserbedarfs sowie Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs ausgerichtet und sollten bei Verstärkung dieser Einflussfaktoren zur Verringerung der Betriebskosten bzw. zur Verbesserung der finanziellen Leistung führen.

Demgegenüber wären die Kandidaten Y und Z von der Realisierung dezentraler Anlagen infolge des technologischen Fortschritts negativ betroffen, da sie in diesem Fall nicht benötigt würden und durch irreversible Baukosten nicht ohne weiteres rückgängig zu machen wären. Unter der Annahme, dass die betriebliche Maßnahme nicht mit versunkenen Kosten verbunden ist, hätte dieser Einflussfaktor keinen Effekt auf Kandidat X.

Der Unsicherheitsfaktor ökologische Vorgaben könnte sich dann auf Option X auswirken, wenn die verwendeten Chemikalien nach neuen Vorgaben zur Nährstoffelimination bzw. zur Klärschlamm Entsorgung<sup>221</sup> zu einer Erhöhung der Betriebskosten in der Kläranlage führen würden. Die Kandidaten Y und Z wären nicht betroffen.

Die Energiepreisentwicklung beeinflusst die finanzielle Leistung der Kandidaten X und Z, da bei diesen beiden Optionen Betriebskosten durch Energieverbrauch entstehen. Option X wäre durch die Installation einer Dosieranlage als zusätzlicher Stromverbraucher<sup>222</sup> negativ von einer Preissteigerung betroffen. Dagegen würde sich der Vorteil der Anpassung der Pumpwerksleistung durch Option Z gegenüber der Möglichkeit ohne Anpassung bei einer Strompreissteigerung noch erhöhen.

---

<sup>218</sup> Vgl. MÜLLER, D. (2004), S. 94.

<sup>219</sup> Vgl. Schaub, H. (1996), S. 92 f.

<sup>220</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 102.

<sup>221</sup> Vgl. Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2006), S. 1269.

<sup>222</sup> Vgl. Barjenbruch, M. (2004), S. 15.

Im Idealfall würde die Geruchsentwicklung im Abschnitt B des Untersuchungsgegenstands bei Realisierung von X und Z verhindert und stellte nur bei Option Y weiterhin ein Problem dar.

Die in Unterkapitel 3.2.2 betrachteten sieben unsicheren Faktoren werden durch Faktoren ergänzt, die für die jeweilige Option von Bedeutung sind und für den bisherigen Untersuchungsgegenstand als unsichere Faktoren keine Rolle spielen. So werden die Betriebskosten für Kandidat X maßgeblich vom Chemikalienverbrauch und dem zugehörigen Preis beeinflusst,<sup>223</sup> während die finanzielle Leistung von Y und Z unberührt bleibt. Es wird angenommen, dass das Unternehmen bisher über wenig Erfahrung hinsichtlich der Optionskandidaten Y und Z verfügt und daher Unsicherheit bezüglich der tatsächlichen Baukosten für Y und Z besteht. Für beide Optionen spielt auch die Qualität der Bauausführung eine Rolle, da diese in großem Maße mitbestimmt, ob die veranschlagte Lebensdauer der Anlagen erreicht wird.

Tabelle 8 liefert Informationen über die Wirkung aller unsicheren Faktoren auf die drei identifizierten Realloptionen. Wie in Tabelle 7 bedeutet „+“ einen positiven<sup>224</sup> und „-“ einen negativen Zusammenhang mit der finanziellen Leistung. Die Kennzeichnung „0“ bedeutet, dass kein Effekt feststellbar ist. In der rechten Spalte ist der aus Tabelle 7 übernommene Gesamteffekt aller unsicheren Faktoren auf den bestehenden Untersuchungsgegenstand aufgeführt.

---

<sup>223</sup> Vgl. Barjenbruch, M. (2004), S. 10 ff.

<sup>224</sup> Z.B. führt eine Verstärkung des demografischen Wandels zu einer Erhöhung der Betriebskosten und damit zu einer Verschlechterung der finanziellen Leistung im Abschnitt A

Tabelle 8: Betroffenheit der Optionskandidaten durch unsichere Faktoren

(Eigene Darstellung)

Unsicherer Faktor	Optionen			Gesamt
	X	Y	Z	
<b>Demografischer Wandel</b>	+	+	+	-
<b>Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs</b>	+	+	+	-
<b>Rückgang des industriellen und gewerblichen Wasserbedarfs</b>	+	+	+	-
<b>Technologischer Fortschritt dezentraler Anlagen</b>	0	-	-	-
<b>Ökologische Vorgaben</b>	0	0	0	-
<b>Energiepreisentwicklung</b>	-	0	+	-
<b>Geruchsbelästigung durch H<sub>2</sub>S-Bildung</b>	+	-	+	-
<b>Preis für Chemikalien</b>	-	0	0	0
<b>Baukosten bei Einsatz neuer Materialien und Verfahren</b>	0	-	-	0
<b>Geplante Lebensdauer/Qualität neuer Materialien und Verfahren</b>	0	+	+	0

Als Auswahlkriterien legen Miller und Waller (2003) zunächst den Vergleich der Betroffenheit der einzelnen Kandidaten von allen Eventualitäten und danach die Risikopräferenz des Unternehmens zugrunde.<sup>225</sup>

Es gilt festzustellen, welche Optionen in ähnlicher Weise von unsicheren Faktoren betroffen sind und sich demnach in ihrer Wirkung verstärken und welche Optionen gegensätzlich betroffen sind und sich daher gegenseitig ausschließen.<sup>226</sup> So schließt sich die Verwirklichung der Option Y zusammen mit X oder Z aus, da der Faktor Geruchsbelästigung die Option Y im Vergleich zu den Optionen X und Z in entgegen gesetzter Richtung betrifft. Die Optionen X und Z wiederum schließen sich durch eine unterschiedliche Betroffenheit bezüglich des Faktors Energiepreisentwicklung gegenseitig aus. Zusammenfassend ergibt die Überprüfung des ersten Schrittes, dass nur einer der Kandidaten realisiert werden sollte.

Für den direkten Vergleich der sich ausschließenden Kandidaten wird die Betroffenheit der Optionen der Betroffenheit des aktuellen Untersuchungsgegenstands gegenübergestellt. Je nach Risikopräferenz des Managements soll entschieden werden, ob Optionen zur Verminderung oder zur Erhöhung der Betroffenheit des Systems verwirklicht werden sollen.<sup>227</sup> Nach Meinung des Verfassers ist das Versorgungsunternehmen bestrebt, bestehende Risiken zu

<sup>225</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 103.

<sup>226</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 103.

<sup>227</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 103.

vermindern. Es sollte demnach diejenigen Realoptionen verwirklichen, deren Betroffenheit durch unsichere Faktoren der Betroffenheit des Untersuchungsgegenstandes entgegen gesetzt ist. Andererseits sind die Realoptionen zu vermeiden, die eine gleich gerichtete Betroffenheit wie der Untersuchungsgegenstand haben. Neu hinzugewonnene Betroffenheiten durch weitere Faktoren sind ebenfalls zu minimieren.

Tabelle 9 gibt die Zählung der Effektvergleiche mit dem Untersuchungsgegenstand für jede Option an. Die Zahl entgegen gerichteter Effekte wird positiv, die der gleich gerichteten und neu erzielten Effekte dagegen negativ bewertet. In der rechten Spalte wird die Gesamtbewertung angegeben.

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Betroffenheit der Optionen  
(Eigene Darstellung)

Option	Anzahl der Effekte			Bewertung insgesamt
	Entgegengesetzt	Gleichgerichtet	Neu	
X	+ 4	- 1	- 1	+ 2
Y	+ 3	- 2	- 2	- 1
Z	+ 5	- 1	- 2	+ 2

Die Optionen X und Z stellen hinsichtlich ihrer Betroffenheit gegenüber unsicheren Faktoren für das um Risikoverminderung bemühte Management mit jeweils 2 Pluspunkten die besten Lösungen dar. Da jedoch durch die Option X hinsichtlich des Grades der Irreversibilität ein höheres Maß an Flexibilität für das Management zu erwarten ist, sollte diese Option als bevorzugte Lösung ausgewählt werden. Nachfolgend wird die Option einer quantitativen Bewertung unterzogen.

#### 4.4 Arbeitsschritt 4: Quantitative Bewertung mit Binomialmodell

Für die modellhafte Darstellung der Funktionsweise des Binomialmodells wird die in der qualitativen Analyse als Vorzugslösung bewertete Realoption der Zudosierung von Chemikalien zur Geruchs- und Korrosionsbekämpfung bewertet. Hierfür existieren verschiedene Möglichkeiten hinsichtlich der verwendbaren Chemikalien.<sup>228</sup> Die Variante einer Zudosierung von Eisensalz wird aufgrund vergleichsweise geringer anfallender Wartungs- und Betriebskosten<sup>229</sup> favorisiert. Wie beschrieben, wird eine Wechseloption zwischen verwendeten Materialien untersucht.

Bevor die Bewertung der Realoption mit dem Binomialmodell durchgeführt wird, soll auf die notwendigen Input-Parameter eingegangen werden. Danach erfolgt die Darstellung der Wertentwicklung für die Wechseloption im Binomialmodell sowie die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse zur Absicherung der Annahmen bezüglich der Input-Parameter. Daran anschlie-

<sup>228</sup> Für weitere Informationen zum Vergleich möglicher Maßnahmen siehe etwa BARJENBRUCH, M. (2004), S. 15 und FIEDLER, C.; LÜHRS, J. (2005), S. 1337 ff.

<sup>229</sup> Vgl. Eiting, R. (2006), S. 1347.

End werden die Ergebnisse der Bewertung vorgestellt und Handlungsempfehlungen formuliert.

#### 4.4.1 Eingangparameter der Berechnung

Es wird angenommen, dass das Recht auf eine Zudosierung von Chemikalien vom Versorgungsunternehmen nicht käuflich erworben werden muss. Insofern existiert kein Kaufpreis  $K$  für die Realloption und der minimale Optionswert ist gleich Null.

Die Realloption besitzt aufgrund der Notwendigkeit einer Entscheidung für den Untersuchungsgegenstand bis 2010 eine Gültigkeit  $T$  von 2 Jahren. Für den Optionswert ist außer der Gültigkeit  $T$  die Anzahl der Betrachtungsperioden in Abhängigkeit von der Zahl der Ausübungsmöglichkeiten des Projektes bedeutsam.<sup>230</sup> Es wird festgelegt, dass der Entscheidungsträger entweder heute, in einem Jahr oder in zwei Jahren über die Ausübung der Option entscheiden kann. Folglich wird das Binomialmodell in zwei Teilschritten  $t$  dargestellt.

Die Höhe der risikolosen Verzinsung  $i$  wird mit 5 % festgesetzt und, den grundlegenden Vorgaben des Binomialmodells folgend, über alle Perioden hin als konstant angenommen.<sup>231</sup> Aus Vereinfachungsgründen wird die Inflation vernachlässigt, weshalb keine Kosten durch Warten entstehen können.<sup>232</sup>

Der Ausübungspreis  $X$  und die zur Berechnung des Basiswertes  $B$  betrachteten Einzahlungsüberschüsse entsprechen den veränderten Zahlungsreihen, die durch eine Investitionshandlung ausgelöst würden. Demzufolge wird zur Berechnung dieser Größen über den Planungshorizont hinweg eine Unternehmenssituation bei Durchführung der Realloption mit einer Situation im Status quo, also einer Situation ohne Projektdurchführung, verglichen. Die Investitionsauszahlungen entsprechen dem Ausübungspreis  $X$  und den zusätzlich durch das Projekt ausgelösten zukünftigen Ein- und Auszahlungen.<sup>233</sup> Die Dauer des Planungshorizonts einer Investition orientiert sich an deren technischer Nutzungsdauer.<sup>234</sup>

Die Investitionszahlungen beinhalten die Kosten für die Anschaffung einer Station zur Eisensalzdosierung. Diese setzen sich aus Aufwendungen für Behälter, Dosierpumpe, Einbau und Probetrieb<sup>235</sup> zusammen und betragen laut Eiting (2006) ca. 3.000 €. <sup>236</sup> Der Ausübungspreis sollte aus Vereinfachungsgründen über die Projektlaufzeit als sichere, da allzeit bekannte Variable aufgefasst werden und bleibt während der Gültigkeit der Option konstant.<sup>237</sup>

---

<sup>230</sup> Vgl. ODENING, M.; MUBHOFF, O. (2001), S. 485 f.

<sup>231</sup> Vgl. Cox, J.C.; Ross, S.A.; Rubinstein, M. (1979), S. 232.

<sup>232</sup> Vgl. Garvin, M.J.; Cheah, C.J.Y. (2006), S. 381.

<sup>233</sup> Vgl. Baum, H.G.; Coenenberg, A.G.; Günther, E. (Hrsg.) (1999), S. 20.

<sup>234</sup> Vgl. Perridon, L.; Steiner, M. (2007), S. 34.

<sup>235</sup> Vgl. Barjenbruch, M. (2004), S. 15.

<sup>236</sup> Vgl. Eiting, R. (2006), S. 1349.

<sup>237</sup> Vgl. Garvin, M.J.; Cheah, C.J.Y. (2006), S. 381.

Demgegenüber liegt dem Binomialmodell die Annahme zugrunde, dass zu jedem Zeitpunkt Unsicherheit bezüglich der Entwicklung des Basiswertes  $B$  der Option besteht. Es wird unterstellt, dass die Entwicklung des Basiswertes einem binomialen Prozess folgt, wodurch die für möglich erachteten Ausprägungen mit Hilfe der konstanten Veränderungsfaktoren  $u$  und  $d$  ständig wiedergegeben werden können.<sup>238</sup> Die für die Darstellung des Basiswertes zu ermittelnden zukünftigen Cash Flows ergeben sich aus der Gegenüberstellung der durch die Investition generierten zusätzlichen jährlichen Kosten und der durch die Investition eingesparten jährlichen Kosten. Im Fall einer optimalen Zudosierung zur vollständigen Geruchs- und Korrosionsbekämpfung könnte durch die Maßnahme ein Teil der hohen Kosten für Reparatur, Wartung und Instandhaltung korrodierter Kanalisationskomponenten eingespart werden.<sup>239</sup> Als Bestandteil der jährlich durch die Dosierung erzeugten Kosten sind dagegen folgende Komponenten zu beachten:<sup>240</sup>

- Produktverbrauch an Eisensalz,
- Strombedarf der Dosierpumpe und
- gegebenenfalls Kosten für Miete der Dosieranlage und eventuell Mehrkosten im Bereich der Schlamm Entsorgung.

Vereinfachend wird angenommen, dass die Höhe der jährlichen Kosten und damit die Höhe der entstehenden Einzahlungsüberschüsse vor allem vom Verbrauch an Eisensalz pro Kubikmeter behandeltes Abwasser abhängen, da andere Kostenkomponenten keinen größeren Schwankungen unterliegen. Eiting (2006) gibt die Kosten für Eisenchlorid bei Lieferantenbefüllung mit ca. 8 Cent pro Kubikmeter behandeltes Abwasser an.<sup>241</sup> Die anfallende Abwassermenge im vorhandenen Abwassertrennsystem wiederum wird direkt durch die Zahl angeschlossener kommunaler und industrieller Verbraucher sowie deren spezifischem Verbraucherverhalten beeinflusst. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass bei einer Realisierung der Realoption während der Nutzungsdauer jährliche Cash Flows in Höhe von 250 € zu verzeichnen sind. Diese Einzahlungsüberschüsse entstehen konstant über die gesamte technische Nutzungsdauer der Dosieranlage, welche laut LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (Hrsg.) (2005) 15 Jahre beträgt.<sup>242</sup>

Der Basiswert  $B_0$  entspricht dem Barwert  $PV$ <sup>243</sup> der durch das Projekt über den gesamten Planungszeitraum generierten zukünftigen Einzahlungsüberschüsse zum Zeitpunkt  $t = 0$  und wird mit Hilfe der Gleichung (7) ermittelt.<sup>244</sup>

<sup>238</sup> Vgl. KRUSCHWITZ, L. (1999), S. 275.

<sup>239</sup> Vgl. EITING, R. (2006), S. 1347; die Instandhaltungskosten steigen vor allem dadurch, dass betroffene Bauwerke in kürzeren Zeiträumen als vorgesehen saniert werden müssen.

<sup>240</sup> Vgl. Barjenbruch, M. (2004), S. 15.

<sup>241</sup> Vgl. EITING, R. (2006), S. 1349; bei Einbau eines Speicherbehälters und Selbstbefüllung wäre mit noch geringeren Betriebskosten zu rechnen.

<sup>242</sup> Angaben für „Dosier-Misch-Einrichtungen, Chemikalienbehälter“ vgl. LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (Hrsg.) (2005), S. Anlage 1-2.

<sup>243</sup> Englisch „present value“.

$$(7) \quad PV = \sum_{j=1}^N \frac{CF}{(1+i)^j}$$

Die Berechnung dieses Wertes erfolgt unter Festsetzung einer 15-jährigen Nutzungsdauer  $N$  der Anlage, jährlichen Cash Flows  $CF$  in Höhe von 250 € und eines Diskontierungszinssatzes  $i$  in Höhe der risikolosen Verzinsung von 5 %. Die Diskontierung erfolgt über alle Jahre innerhalb der Nutzungsdauer, also von  $j = 1, \dots, N$ . Der Basiswert  $B_0$  beträgt 2.594,91 €. <sup>245</sup>

Die Bestimmung der Volatilität des Basiswertes gilt als eine der größten Herausforderungen bei der Anwendung des quantitativen Realoptionsansatzes. <sup>246</sup> Unter der Annahme, dass die Höhe der Cash Flows besonders von den Materialkosten und damit von der zu behandelnden Abwassermenge anhängt, kommt den unsicheren Faktoren demografische Entwicklung, Änderung des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs sowie Verringerung des spezifischen Wasserbedarfs die entscheidende Bedeutung bei der Bestimmung der Volatilität zu. Das Abwasser der angeschlossenen Gemeinden Krauschwitz und Weißkeißel wird erst seit dem Jahr 2008 über das System entwässert, wobei noch nicht alle Anwohner an die zentrale Abwasserentsorgung angeschlossen sind. <sup>247</sup> Insofern könnte es zukünftig, konträr zu eventuellen Bevölkerungsrückgängen und einem rückläufigen spezifischen Verbrauch, auch zu einer Erhöhung der Abwassermenge kommen. Ebenso ist die Entwicklung des Abwasseraufkommens durch das angeschlossene Industriegebiet mit Unsicherheit behaftet. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass die Volatilität des Basiswertes durch die möglicherweise schwankende Abwassermenge 20 % beträgt.

Zusammengefasst ergeben sich für die Anwendung des Binomialmodells die in Tabelle 10 aufgelisteten Eingangsparameter. Diese werden nachfolgend verwendet, um die Wertentwicklung der Realoption während ihrer Gültigkeit darzustellen.

<sup>244</sup> Vgl. KRUSCHWITZ, L. (1999), S. 76.

<sup>245</sup> Berechnung mit Hilfe der Microsoft Office-Anwendung Excel.

<sup>246</sup> Vgl. ARBOLEDA, C.A.; ABRAHAM, D.M. (2006), S. 261; COPELAND, T.; TUFANO, P. (2004), S. 94; TRIANTIS, A.G.; BORISON, A. (2001), S. 14; Zur Abschätzung der Volatilität bietet sich das Verfahren der Monte-Carlo-Simulation an, welches eine Schätzung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der wichtigsten unsicheren Variablen eines Projektes benötigt.

<sup>247</sup> Vgl. Hülse, M. (2008c), o. S.

Tabelle 10: Eingangsdaten der Beispielrechnung mit Binomialmodell

(Eigene Darstellung)

Variable	Bedeutung	Wert
<b>K</b>	Kaufpreis der Option	0 €
<b>T</b>	Laufzeit der Option	2 Jahre
<b>t</b>	Anzahl der Teilschritte	2
<b>i</b>	Risikolose Verzinsung	5 %
<b><math>\sigma</math></b>	Volatilität des Basiswertes	20 %
<b>X</b>	Ausübungspreis	3.000 €
<b>B<sub>0</sub></b>	Basiswert/ Barwert zukünftiger Cash Flows bei t = 0	2.594,91 €

#### 4.4.2 Darstellung der Wertentwicklung

Während der ersten Phase des Binomialmodells erfolgt die Entwicklung der Basiswerte durch die Multiplikation mit Gleichung (1) zur Ermittlung des Aufwärtsfaktors  $u$  bzw. mit Gleichung (2)<sup>248</sup> zur Ermittlung des Abwärtsfaktor  $d$ . Die Berechnung von  $u$  ergibt den Faktor 1,2214, die von  $d$  den Faktor 0,8187. Der Basiswert  $B_{ud}$  zum Zeitpunkt  $t = 2$  berechnet sich somit durch die aufeinander folgende Multiplikation des Basiswertes  $B_0$  mit den Faktoren  $u$  und  $d$  und beträgt 2.594,91 €.

Die zweite Phase des Modells beinhaltet die retrograde Bestimmung der Projektwerte zu jedem möglichen Entscheidungszeitpunkt während der Gültigkeit der Realoption. Die zur Berechnung benötigte risikoneutrale Wahrscheinlichkeit  $p$  wird mit Hilfe von Gleichung (3) bestimmt<sup>249</sup> und beträgt 57,75 %. Die Projektwerte an jedem Knotenpunkt können in Analogie zu den Gleichungen (4), (5) und (6) bestimmt werden.<sup>250</sup> So wird für die Ermittlung des Projektwertes  $V_{ud}$  zum Zeitpunkt  $t = 2$  der höhere Wert aus den beiden möglichen Werten Null (Kaufpreis) und der Differenz aus Basiswert  $B_{ud}$  und Ausübungspreis  $X$  von - 405,10 € ausgewählt. Folglich erhält  $V_{ud}$  den Wert 0.

Abbildung 12 gibt die Entwicklung der Basis- und Projektwerte für jeden Zeitschritt  $t$  wieder. Zum besseren Verständnis der Handlungsempfehlungen wird jeder Entscheidungspunkt um den jeweils berechneten Kapitalwert, Differenz zwischen Ausübungspreis  $X$  und Basiswert  $B$ , ergänzt. Jedem Entscheidungspunkt wird zudem eine Handlungsempfehlung zugeordnet.

<sup>248</sup> Beide Gleichungen werden in Punkt 3.3.2.2, S. 31 vorgestellt.

<sup>249</sup> Siehe Punkt 3.3.2.2, S. 31.

<sup>250</sup> Siehe Punkt 3.3.2.2, S. 32.

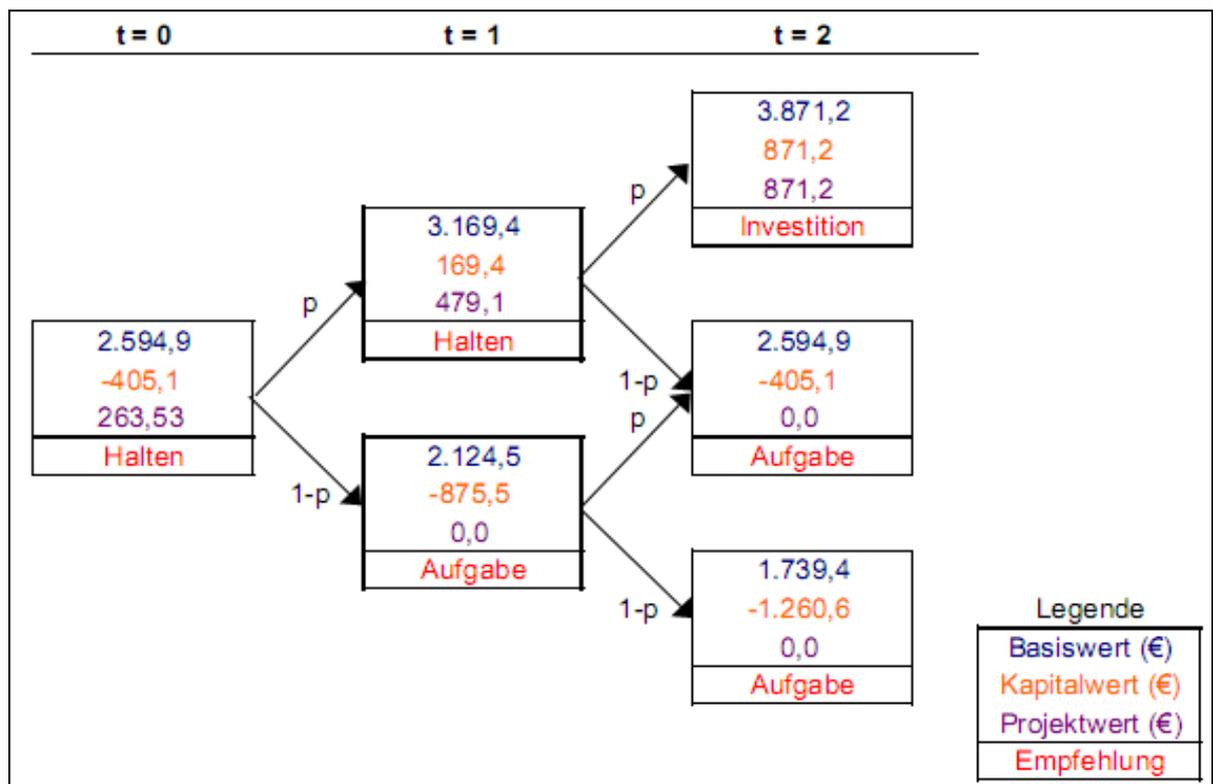


Abbildung 12: Binomialprozess im Beispiel

(Eigene Darstellung)

Im Rahmen dieser quantitativen Bewertung wird abschließend untersucht, wie sensibel der für die Option entscheidende Projektwert auf die Änderung je einer der Eingangsgrößen Cash Flows, Zinssatz, Volatilität und Ausübungspreis reagiert. In Abhängigkeit von der Veränderung der Parameter um 10, 20 und 50 Prozent wird der sich ändernde Projektwert in Tabelle 11 dargestellt. Die linke Spalte gibt dabei jeweils den Faktor wieder, der als einziger mit der beschriebenen Variation versehen wird. Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse ist lediglich eine isolierte Betrachtung der einzelnen Eingangsparameter möglich.<sup>251</sup>

Tabelle 11: Sensitivitätsanalyse von Eingangsgrößen

(In Anlehnung an Günther, T. (1997), S. 326)

Parameter	Variation der Eingangswerte						
	-50 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	50 %
Cash Flows	0,0	29,3	146,4	263,5	280,6	548,1	1244,0
Risikolose Verzinsung	450,6	322,5	293,4	263,5	233,0	201,8	104,7
Ausübungspreis	1240,7	531,3	354,3	263,5	172,8	82,0	0,0
Volatilität	82,1	199,7	232,4	263,5	293,6	322,9	407,2

<sup>251</sup> Vgl. GÜNTHER, T. (1997), S. 327.

Die Sensitivitätsanalyse für die untersuchten Eingangsdaten lässt sich zum Beispiel mit Hilfe der so genannten Hoechst Spinne grafisch darstellen (vgl. Abbildung 13).<sup>252</sup>

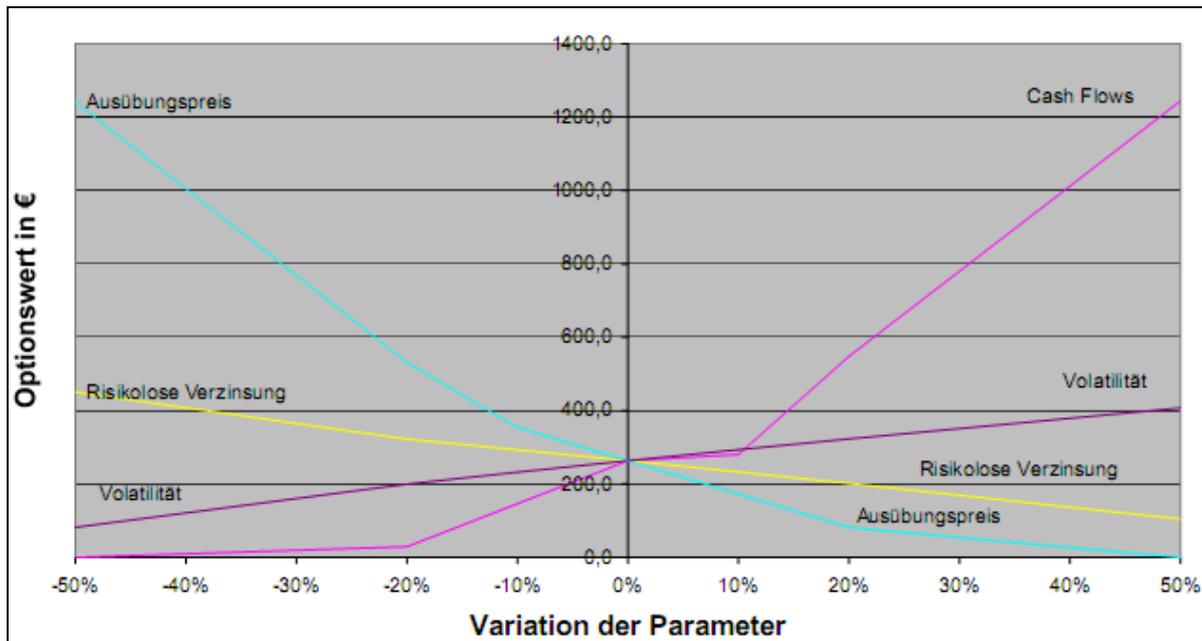


Abbildung 13: Visualisierung der Sensitivitätsanalyse

(In Anlehnung an Günther, T. (1997), S. 326)

Die Sensitivitätsanalyse kann nicht in gleicher Weise für die Eingangsparameter Gültigkeitsdauer der Option, Optionskaufpreis und Anzahl der Teilschritte des Binomialprozesses durchgeführt werden, da eine prozentuale Änderung dieser Parameter keine sinnvollen Werte ergäbe. Die Ausführungen von Odening und Mußhoff (2001) legen jedoch nahe, dass sowohl die Gültigkeitsdauer als auch die Zahl der Ausübungsmöglichkeiten den Optionswert generell erhöhen.<sup>253</sup> Eine Erhöhung des Kaufpreises hingegen bewirkt, wie in Abbildung 13 dargestellt, eine nicht konstante, aber stetige Verringerung des Optionswertes.

<sup>252</sup> Vgl. GÜNTHER, T. (1997), S. 326.

<sup>253</sup> Vgl. ODENING, M.; MUBHOFF, O. (2001), S. 485 f.

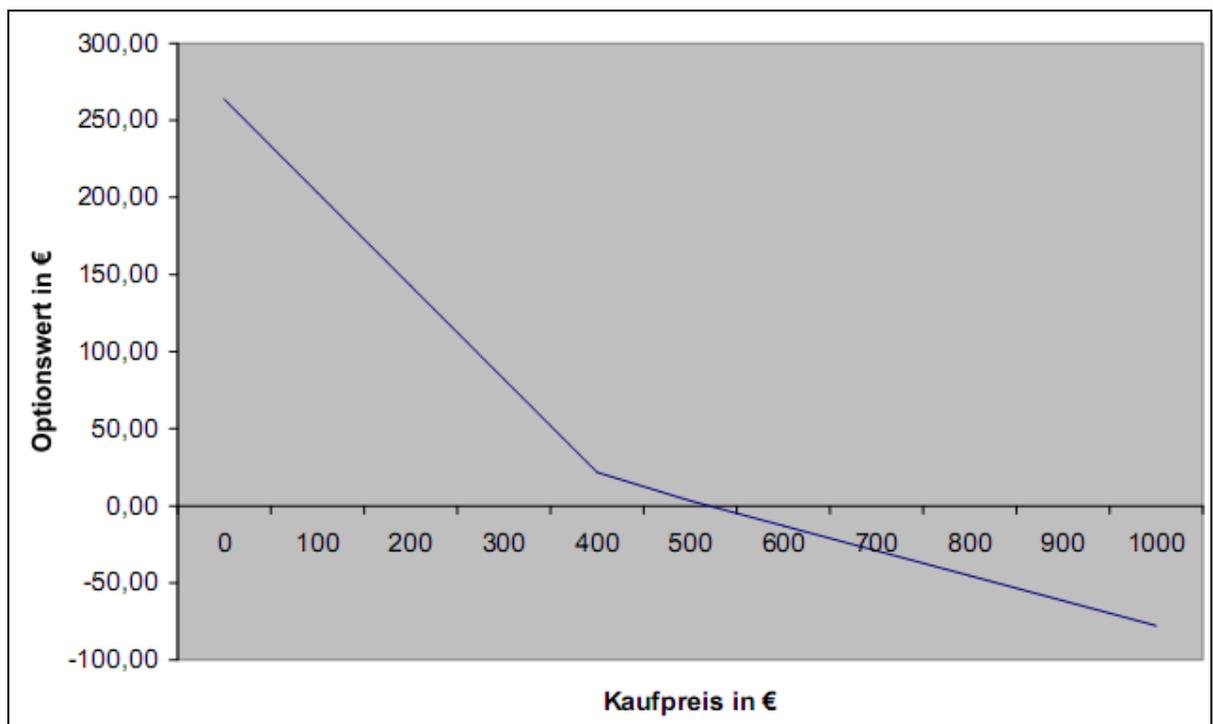


Abbildung 14: Beeinflussung des Optionswertes durch den Kaufpreis  
(Eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der quantitativen Bewertung werden nachfolgend zusammengestellt und es werden Handlungsempfehlungen zum Umgang mit der Wechseloption formuliert.

#### 4.4.3 Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

Der Gesamtwert der Option auf den Wechsel zwischen verwendeten Materialien wird durch Projektwert  $V_0$  wiedergegeben und beträgt 263,50 €. Er setzt sich, wie in Kapitel 2.2.2 gesehen, aus dem auf traditionelle Weise berechneten Kapitalwert von -405,10 € und dem projektinhärenten Flexibilitätswert von 668,60 € zusammen. Aufgrund des negativen Kapitalwertes sollte die Investition zum Zeitpunkt  $t = 0$  nicht durchgeführt werden. Der positive Projektwert deutet jedoch darauf hin, dass die Option einen hohen Flexibilitätswert besitzt und die Investition damit wirtschaftlich attraktiv sein kann.<sup>254</sup> Die Realloptionstheorie argumentiert folglich für das Halten der Realoption, da diese die Chance wahrt, von positiven zukünftigen Entwicklungen profitieren zu können. Der Wert dieser Möglichkeit<sup>255</sup> beträgt 668,60 €.

Der Zusammenhang zwischen den berechneten Größen Flexibilitätswert, Gesamtwert der Option und Kapitalwert wird in Abbildung 15 grafisch hergeleitet. Darin wird deutlich, dass der Wert der Flexibilität den negativen Kapitalwert kompensiert und zu einem positiven Optionswert führt.

<sup>254</sup> Vgl. TRIGEORGIS, L. (2005), S. 230.

<sup>255</sup> Vgl. Brealey, R.A.; Myers, S.C.; Allen, F. (2006), S. 598.

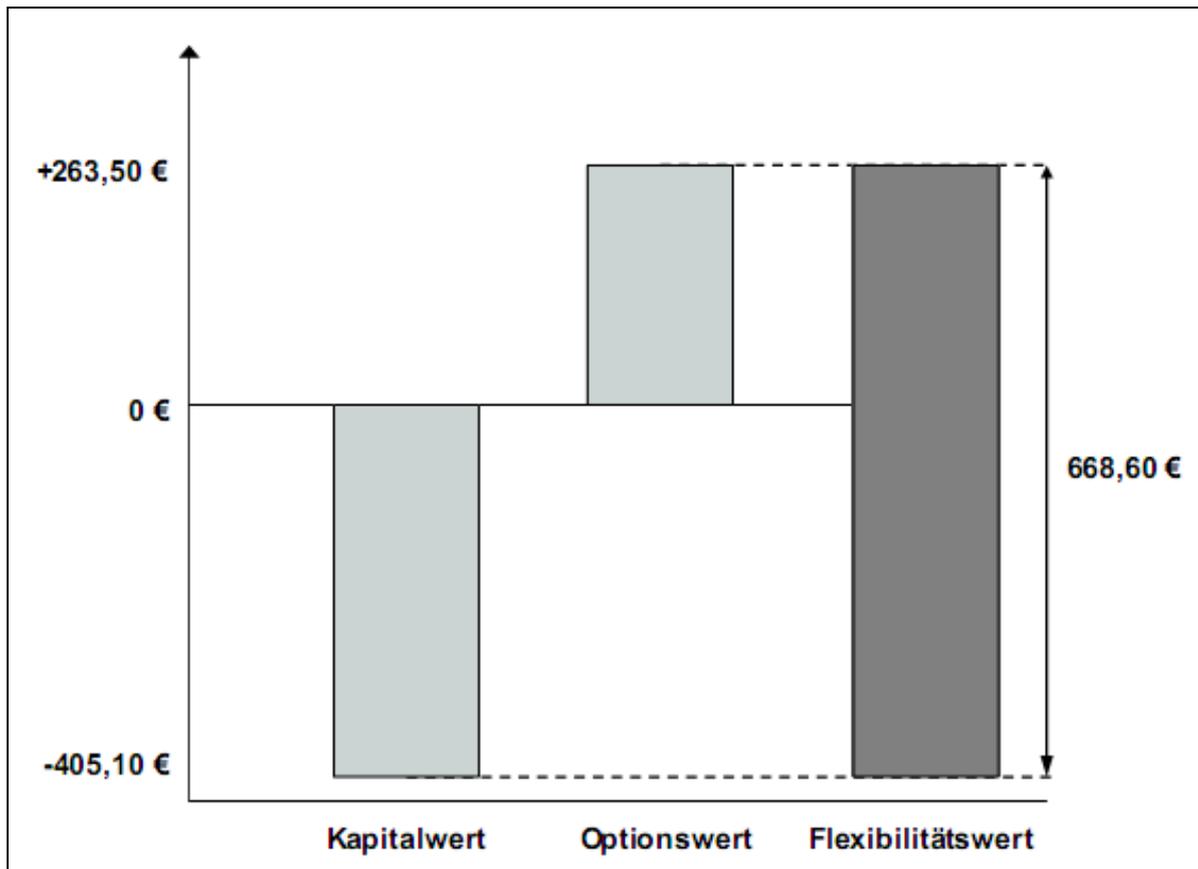


Abbildung 15: Grafische Darstellung des Flexibilitätswertes

(Eigene Darstellung)

Am Zeitpunkt  $t = 1$  empfiehlt sich selbst nach einer Aufwärtsbewegung mit  $p$  hin zum oberen Entscheidungspunkt noch immer keine Realisierung, sondern weiteres Warten und Halten der Option. Wird dagegen bei  $t = 1$  der unten stehende Entscheidungspunkt nach Abwärtsbewegung erreicht, könnte sich zum darauf folgenden Zeitpunkt kein positiver Kapitalwert mehr ausbilden und die Option sollte aufgegeben werden. Erst im oberen Entscheidungspunkt des Zeitpunktes  $t = 2$  wäre eine Realisierung der Realloption sinnvoll, da erst dann ein positiver Kapitalwert erreicht werden könnte. Eine sinnvolle Investition ist frühestens zum Zeitpunkt der Fälligkeit der Option möglich. Demgegenüber sollte am mittleren und am unteren Entscheidungspunkt aufgrund der berechneten negativen Kapitalwerte keine Investition durchgeführt werden und die Option ist aufzugeben.

Es bleibt festzuhalten, dass die Aufgabe des Investitionsprojektes für das Unternehmen nicht bereits bei  $t = 0$ , sondern frühestens zum Zeitpunkt  $t = 1$  geschehen sollte. Zudem zeigt die Beispielberechnung, dass eine Investition mit einem anfänglich negativen Kapitalwert bei Hinauszögern der Entscheidung zu einem sinnvollen Projekt werden kann.

Tabelle 12 beschreibt den Effekt der Änderung eines Eingangsparameters auf den Optionswert.

Tabelle 12: Wirkung der Steigerung der Parameter  
(Eigene Darstellung)

Steigerung des Parameters	Wert der Wechseloption
<b>Kaufpreis der Option</b>	sinkt
<b>Laufzeit der Option</b>	steigt
<b>Anzahl der Teilschritte</b>	steigt
<b>Risikolose Verzinsung</b>	sinkt
<b>Volatilität des Basiswertes</b>	steigt
<b>Ausübungspreis</b>	sinkt
<b>Barwert zukünftiger Cash Flows bei <math>t = 0</math></b>	steigt

Die Darstellung der Sensitivitätsanalyse (in Abbildung 13) zeigt außerdem, dass die Linien der Parameter Ausübungspreis und zukünftige Einzahlungsüberschüsse die größten Steigungen aufweisen. Demnach stellen die beiden Parameter, die die sich durch eine Investition verändernden Zahlungsreihen repräsentieren, unter den vier untersuchten Größen der Sensitivitätsanalyse die empfindlichsten Eingangswerte der Projektwertberechnung dar. Der Optionswert reagiert dagegen stabiler auf Variationen von Zinsrate und Volatilität. Abbildung 13 veranschaulicht ferner, dass selbst unter sehr ungünstigen Bedingungen, etwa bei starker Überschätzung von Parametern wie Volatilität bzw. zukünftigen Cash Flows oder alternativ bei Unterschätzung von Eingangswerten wie Ausübungspreis und Verzinsung der Wert der Realoption nicht unter den Kaufpreis von Null sinken kann. Die Grafik bestätigt damit beispielhaft die Entstehung asymmetrischer Erlösfunktionen für Inhaber von Realoptionen.

Der nächste Arbeitsschritt beschäftigt sich mit der Implementierung des Realoptionsansatzes in das Unternehmensgeschehen.

#### 4.5 Arbeitsschritt 5: Implementierung

Dieser Arbeitsschritt enthält Handlungsempfehlungen zur Implementierung der Theorie des Realoptionsansatzes in den Unternehmensalltag. Mit ihrer Hilfe soll eine dauerhafte Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels und auch anderer wichtiger Einflussfaktoren auf die Siedlungsentwässerung gewährleistet werden.

Die Implementierung des Ansatzes zielt auf die Erhöhung des organisatorischen Reaktionsvermögens auf die das Unternehmen umgebenden Eventualitäten durch unsichere Faktoren ab. Dazu sollte eine ständige Überwachung der für ein Unternehmen bedeutsamsten Eventualitäten durch hierfür ernannte Personen oder organisatorische Einheiten erfolgen, um den Verantwortlichen für finanzielle Planung und Risikoabsicherung aktuelle Trends zu übermitteln.<sup>256</sup> Die mit dieser Aufgabe betraute(n) Institution(en), etwa eine Abteilung für Risikoma-

<sup>256</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 103.

nagement, wäre(n) im gegebenen Kontext für Sammlung und Dokumentation von Informationen hinsichtlich der bestehenden unsicheren Faktoren

- demografischer Wandel,
- regionale gewerbliche und industrielle Entwicklung,
- spezifische Wasserverbrauchsentwicklung,
- Entwicklung von Technologien der Siedlungsentwässerung,
- neue ökologische Bestimmungen,
- Energiepreisentwicklung und
- Beschwerden von Anwohnern aufgrund von Geruchsproblemen

verantwortlich. Die qualitative Beurteilung der Betroffenheit des Unternehmens durch die Eventualitäten sollte dabei immer wieder aktualisiert werden, um die Bedeutung unsicherer Faktoren bei sich ändernden Umweltbedingungen dauerhaft richtig einschätzen zu können.<sup>257</sup> Eine solche zentrale Bündelung von Wissen über unsichere Faktoren erfordert außerdem, dass auch neue, bisher noch nicht relevante Faktoren beachtet werden. Die auf diese Weise zusammen getragenen Informationen müssen an die für die Projektausübung zuständigen Abteilungen, etwa Rechnungswesen und strategische Entwicklung, übermittelt werden.

Zusätzlich zur dauerhaften Überwachung der Entwicklung unsicherer Faktoren empfiehlt sich mehr Flexibilität im Unternehmensgeschehen, z. B. durch die Schaffung einer flexiblen Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen, durch die ständige Weiterbildung von Mitarbeitern und durch das Vorantreiben von Investitionen in materielle und immaterielle Vermögensgegenstände.<sup>258</sup> Folgende Maßnahmen könnten hilfreich sein:

- Herstellung neuer Kontakte und Zusammenarbeit mit innovativen Firmen und Entwicklern,
- Verkürzung der Vertragslaufzeiten mit bisherigen Geschäftspartnern<sup>259</sup> zur flexibleren Zusammenarbeit auch mit anderen Unternehmen,
- Schulung von Mitarbeitern bzw. Erlangung von externem Know-how durch Einstellung entsprechender Mitarbeiter zur besseren Einschätzung unsicherer Faktoren bzw. zur Erlangung neuer Erkenntnisse über mögliche Anpassungsmaßnahmen,
- Investition in neue Produktlinien, z.B. für Kleinkläranlagen oder in die Weiterentwicklung dezentraler Lösungen und
- Bildung finanzieller Sicherheitsbestände<sup>260</sup> zur Berücksichtigung von Investitionen, z.B. in Anpassungsmaßnahmen.

---

<sup>257</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 104.

<sup>258</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 103 f.

<sup>259</sup> Vgl. Schaub, H. (1996), S. 91.

<sup>260</sup> Vgl. Schaub, H. (1996), S. 91.

Für die Entscheidungsträger über Realoptionen sollten konkrete Vorgaben existieren, unter welchen Bedingungen wie mit Realoptionen umzugehen ist. Das bedeutet, dass konkrete Ereignisse bzw. Zeitpunkte festgelegt werden sollten, an denen Investitionsprojekte auszuführen, zu verzögern oder zu verwerfen sind.<sup>261</sup> Hierbei kann vor allem die quantitative Bewertung mit dem Binomialmodell genutzt werden, da diese konkrete Vorgaben zur Ausübung, zum Halten oder zum Verwerfen von Realoptionen liefert.

#### **4.6 Fazit zur Analyse und Handlungsempfehlungen**

Nach der Analyse von Anpassungsmaßnahmen werden im Folgenden die dabei gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und Handlungsempfehlungen für den Untersuchungsgegenstand ausgesprochen.

Die während des ersten Arbeitsschrittes der Analyse durchgeführte Prüfung des Kriteriums Unsicherheit legt offen, dass für den Untersuchungsgegenstand Abwasserinfrastruktur Weißwasser-Süd eine große Zahl unsicherer Faktoren relevant ist. Die Unterteilung des Systems in einzelne Abschnitte macht dabei deutlich, dass dieses System der Siedlungsentwässerung in unterschiedlicher Weise von unsicheren Faktoren betroffen ist. Die Gesamtbetrachtung aller Einzeleffekte im zweiten Arbeitsschritt der Analyse führt zu der Schlussfolgerung, dass die Verschärfung jedes einzelnen unsicheren Faktors zu einer Verschlechterung der finanziellen Leistung des Untersuchungsgegenstandes führt. Die geringe Anzahl gegenläufiger Effekte durch die betrachteten Eventualitäten lässt den Schluss zu, dass das bestehende System sehr homogen konzipiert ist und in seiner derzeitigen Form wenig flexibel auf veränderliche Einflussfaktoren reagieren kann.

Im dritten Arbeitsschritt lassen sich mit Hilfe der Betrachtung des Auswahlkriteriums Flexibilität und unter Berücksichtigung des Unternehmensumfelds die folgenden drei für das Versorgungsunternehmen exklusiven Realoptionen identifizieren:

- Zudosierung von Chemikalien im APW vor den korrosionsgefährdeten Anlagenkomponenten als Option auf den Wechsel zwischen eingesetzten Materialien,
- Nachträgliche Sanierung korrosionsgefährdeter Anlagenkomponenten mit korrosionsbeständigen Materialien ebenfalls als Option auf den Wechsel zwischen eingesetzten Materialien bzw.
- Systemverkleinerung der Druckentwässerung als Option zur Abschwächung unternehmerischer Tätigkeiten.

Für insgesamt drei Maßnahmen sind die Kriterien Unsicherheit und Flexibilität erfüllt, was die Anwendung des Realoptionsansatzes im gegebenen Kontext rechtfertigt.

Die zur Verfügung stehenden Realoptionen sind in erster Linie auf die Reduzierung der Betroffenheit des Untersuchungsgegenstands von den Faktoren demografischer Wandel, Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs und Veränderung des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs gerichtet. Neben diesen Faktoren könnten, z.B. durch die Schließung von Ver-

---

<sup>261</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 104.

trägen mit innovativen Anbietern oder die Bildung finanzieller Sicherheitsreserven, auch Grundlagen für den Umgang mit möglichen technologischen und gesetzlichen Neuerungen geschaffen werden.

Die Untersuchung der Betroffenheit der drei Realoptionen von den zurzeit betrachteten bzw. von den hinzugekommenen unsicheren Faktoren führt zu dem Schluss, dass alle Kandidaten nur einzeln verwirklicht werden sollten. Nach der Prüfung des Grades der Irreversibilität sowie dem Vergleich der Betroffenheit jedes einzelnen Kandidaten mit der Betroffenheit des gesamten Untersuchungsgegenstandes wird die Realoption der Zudosierung von Chemikalien zur Geruchs- und Korrosionsbekämpfung im betroffenen Abschnitt B als die für das Unternehmen sinnvollste Option erachtet.

Diese Realoption wird im vierten Arbeitsschritt mit Hilfe des Binomialmodells bewertet. Dafür müssen zum einen die Parameter Kaufpreis, Gültigkeit und Zahl der Ausübungspunkte der Option ermittelt werden. Zum anderen sind der Ausübungspreis, der Barwert zukünftiger Cash Flows, die Volatilität dieses Barwertes und die risikolose Verzinsung zu bestimmen. Unter Umständen müssen diesbezüglich Annahmen getroffen werden, welche durch eine Sensitivitätsanalyse abzusichern sind.

Das Binomialmodell liefert konkrete Vorgaben über für den Optionswert und die optimale Ausübungsstrategie der Realoptionen. So besitzt eine Realoption zwar im Beispiel einen negativen Kapitalwert, deutet jedoch durch ihren Flexibilitätswert darauf hin, dass das Unternehmen zu einem späteren Zeitpunkt eine sinnvolle Investition tätigen könnte. Die Überprüfung der Eingangswerte des Modells macht deutlich, dass die Parameter Gültigkeitsdauer, Anzahl der Ausübungspunkte, Volatilität und Basiswert der Cash Flows in positivem Zusammenhang mit dem Optionswert stehen, wohingegen der Kaufpreis, die risikolose Verzinsung und der Ausübungspreis mit dem Optionswert negativ in Beziehung stehen. Der Sensitivitätsvergleich für die Parameter Volatilität, Basiswert der Cash Flows, risikolose Verzinsung und Ausübungspreis zeigt, dass die in die Bewertung aufgenommenen Zahlen der Cash Flows und des Ausübungspreises besonders kritisch zu hinterfragen sind.

Die Vorgabe von Entscheidungsgrundlagen zur Handhabung von Realoptionen durch die quantitative Analyse ist hilfreich für die Implementierung der Realoptionstheorie ins Unternehmensgeschehen. Es wird deutlich, dass die vorgestellte Methode einen iterativen und kontinuierlich andauernden Prozess darstellt. Die fortwährende Neubeurteilung und Überwachung der das Unternehmen umgebenden unsicheren Faktoren erfordert eine ständige Wiederholung und Aktualisierung aller Arbeitsschritte.

Gegenstand des nächsten Kapitels sind die kritische Würdigung der angewandten Methode und ein Ausblick zur weiteren Behandlung des Themengebietes.

## **5 Diskussion und Ausblick**

Die angewandte Methode erfordert eine kritische Reflexion der Grundlagen der Analyse und der während der Durchführung getroffenen Annahmen. In diesem Kapitel werden sowohl positive Aspekte als auch Schwachstellen der Analyse angesprochen und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt. Anschließend erfolgt ein Ausblick hinsichtlich weiterer Untersuchungen

des Themengebietes in der Praxis, bei dem auch Vorschläge zur Verbesserung der in dieser Arbeit entwickelten Methode präsentiert werden.

## 5.1 Kritische Würdigung

Die kritische Würdigung konzentriert sich insbesondere auf das qualitative Vorgehen in den Schritten eins bis drei sowie auf die quantitative Bewertung im Schritt vier.

### 5.1.1 Qualitatives Vorgehen

Im ersten Arbeitsschritt der Methode wird die typischerweise für den qualitativen Realoptionsansatz vorgesehene Szenarioanalyse stark verkürzt durchgeführt. Stattdessen erfolgen eine Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes und die Identifikation von unsicheren Faktoren. Um zusätzliche Informationen zu allen beteiligten Akteuren, möglichen Entwicklungspfaden und den Interaktionen aller Akteure innerhalb plausibler Szenarien erhalten zu können, empfiehlt sich in der Praxis die Durchführung einer vollständigen Szenarioanalyse.<sup>262</sup>

Für die Gewichtung der Effekte unsicherer Faktoren auf die finanzielle Leistung des gesamten Untersuchungsgegenstandes werden die anteiligen Betriebskosten auf der Grundlage von durchschnittlichen Kennzahlen nach Reicherter (2003) verwendet, was eine sehr grobe Abschätzung der tatsächlich anfallenden Kosten pro Abschnitt darstellt. Im Praxisfall wären diese möglichst exakt zu bestimmen.

Bei der darauf folgenden Ermittlung der Betroffenheit des Systems durch unsichere Faktoren sowie dem qualitativen Vergleich der Realoptionen im dritten Arbeitsschritt werden qualitative Regressionskoeffizienten zur Darstellung der durch die Eventualitäten hervorgerufenen Effekte auf die finanzielle Leistung jedes Systemabschnittes bzw. jeder Realoption festgelegt. Die Bestimmung dieser Koeffizienten ist stark vereinfachend und eindimensional, da nur kontinuierliche Zusammenhänge zwischen zwei Variablen betrachtet werden können.

Durch eine derart simple Festlegung der Koeffizienten ist der Benutzer nicht in der Lage, komplizierte Zusammenhänge, auch mit vielen Einflussvariablen, wiederzugeben. So wird zum Beispiel von einem linearen und kontinuierlich positiven Zusammenhang zwischen der finanziellen Leistung von Option X und dem demografischen Wandel ausgegangen („+“). Einerseits führt eine Verstärkung des demografischen Wandels c. p. zu einer geringeren Schmutzfracht und damit zu einer geringeren Menge an zu dosierendem Eisensalz. Andererseits kann ein Bevölkerungsanstieg eine Erhöhung der Wassermenge bewirken, was zur Verringerung der Aufenthaltszeit des Abwassers und möglicherweise zur Abschwächung der H<sub>2</sub>S-Bildung führen würde.<sup>263</sup> Letztendlich könnte also sowohl eine Verstärkung als auch eine Umkehrung des demografischen Wandels zur Verringerung des Verbrauchs an Eisensalz führen.

---

<sup>262</sup> Vgl. etwa das Vorgehen in MILLER, K.D.; WALLER, H.G. (2003), S. 95 f.

<sup>263</sup> Die Fließzeit des Abwassers ist eine der Einflussgrößen der H<sub>2</sub>S-Bildung, vgl. DWA DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (Hrsg.) (2004), S. 13.

Sollten sich, wie bei diesem Beispiel der Chemikaliendosierung, unterschiedliche Effekte in Abhängigkeit von der Ausprägung eines unsicheren Faktors ergeben, könnte eine Unterteilung des Faktors, z.B. in prozentuale Steigerungen in Abhängigkeit von Effektgrenzen, erfolgen. Dies setzt voraus, dass die Wirkung der Faktoren nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ untersucht wird.

Die Überprüfung des Kriteriums Flexibilität geschieht im dritten Arbeitsschritt zur Identifikation von Realoptionen. Hierbei sind gemäß den grundsätzlichen Merkmalen von Realoptionen die Projekte auszuwählen, welche nicht verpflichtend realisiert werden müssen und über deren Durchführungszeitpunkt variabel entschieden werden kann. Vor allem der Zeitfaktor, der in der nachfolgenden quantitativen Bewertung eine wichtige Rolle für die Ermittlung des Flexibilitätswertes spielt, wird im gesamten Konzept von Miller und Waller (2003) nicht beachtet, d.h. es spielt keine Rolle, wann welche Maßnahmen durchgeführt werden sollten.<sup>264</sup> Demzufolge könnten auch so genannte „Jetzt-oder-Nie“- Projekte als Realoptionen betrachtet werden, was eine quantitative Realoptionsbewertung unnötig machen würde.

So könnte etwa die Option Y, eine nachträgliche Sanierung geschädigter Komponenten mit korrosionsbeständigen Materialien, auch als sofortige Maßnahme qualitativ bewertet werden. Die nachfolgende quantitative Bewertung unterscheidet sich jedoch nicht von einer Bewertung mit Kapitalwertmethode, da das Projekt keinen Flexibilitätswert besäße. Insofern bleibt festzuhalten, dass sich das quantitative und das qualitative Verständnis hinsichtlich der Definition von Realoptionen unterscheiden und deshalb nicht reibungslos miteinander kombiniert werden können.

Der Vergleich möglicher Realoptionskandidaten basiert lediglich auf qualitativen Regressionskoeffizienten und nicht auf quantitativen Daten zu Investitions- und Betriebskosten. Dieser Nachteil der fehlenden quantitativen Einschätzung der Alternativen<sup>265</sup> kann durch den Anschluss des Binomialmodells im vierten Arbeitsschritt der Methode kompensiert werden.

Wenngleich die Analyse bis zu diesem Punkt wenig quantifizierbare Informationen verwendet, führt sie doch zu einem strukturierten Umgang mit Investitionsprojekten, zum besseren Verständnis der Interaktionen zwischen allen Einflussfaktoren und zur genaueren Betrachtung des in Projekten enthaltenen nicht quantifizierbaren Wertes.<sup>266</sup> Des Weiteren dienen die Identifikation und auch der qualitative Vergleich von Investitionskandidaten als methodische Vorarbeit zur quantitativen Bewertung der Realoptionskandidaten.

### **5.1.2 Quantitative Bewertung und Binomialmodell**

Die Optionsbewertung mit dem Binomialmodell und die anschließende Sensitivitätsanalyse lassen erkennen, dass der Wert einer Realoption von einer Vielzahl von Parametern abhängt.

---

<sup>264</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 105.

<sup>265</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 105.

<sup>266</sup> Vgl. Alessandri, T.M. u. a. (2004), S. 764 f.

Ein wichtiger Kritikpunkt an der quantitativen Bewertung ist der Mangel an quantifizierbaren Daten<sup>267</sup> und damit die Notwendigkeit stark vereinfachender Annahmen.

Da das Binomialmodell die Entwicklung des Basiswertes nur von einer unsicheren Variable abhängig machen kann, werden andere Faktoren wie die Energiepreisentwicklung und die Preisentwicklung für Eisensalz vernachlässigt. Um weitere Faktoren in die Optionsbewertung einzubeziehen, könnten Simulationsverfahren oder die Methode genetischer Algorithmen anstelle des Binomialmodells Anwendung finden.<sup>268</sup>

Vor allem im Hinblick auf die getroffenen Annahmen zu Volatilität, Basiswertentwicklung und Diskontierungszinssatz ist mit fehlerhaften Festlegungen zu rechnen. So ist die einfache Schätzung der Volatilität in der Praxis sehr fragwürdig.<sup>269</sup> Zudem kann die Volatilität von Projekten mit negativen Cash Flows durch eine Grundannahme des Binomialmodells, einer logarithmischen Normalverteilung möglicher Basiswerte, nicht fehlerfrei bestimmt werden, da kein natürlicher Logarithmus einer negativen Zahl gebildet werden kann.<sup>270</sup> Insbesondere die Annahme einer logarithmischen Normalverteilung bzw. einer geometrischen Brown'schen Bewegung im Binomialmodell sind hinsichtlich ihrer Praxisnähe zu hinterfragen.<sup>271</sup>

In der Beispielrechnung wird die Volatilität für mehrere unsichere Faktoren zusammengefasst. Dies ist deshalb problematisch, weil bei steigender Anzahl unsicherer Quellen mit einem Anstieg der Volatilität zu rechnen ist.<sup>272</sup> Die Volatilität des Basiswertes beruht im Beispiel einzig auf Schwankungen des Produktverbrauches an Eisensalz. Diese Annahme ist stark vereinfachend, da die Zudosierung der Chemikalie nicht nur von der Abwassermenge, sondern auch von der H<sub>2</sub>S-Bildung und von weiteren Faktoren<sup>273</sup> abhängt.

Die Berechnung des Basiswertes erfolgt bei der quantitativen Bewertung auf Grundlage jährlich konstanter Einzahlungsüberschüsse, die durch die Investition erzeugt würden. In der Realität ist mit konstant auftretenden Cash Flows jedoch nicht zu rechnen und es sollte ein detailliertes Cash Flow Modell<sup>274</sup> zur Berechnung der Einzahlungsüberschüsse aufgestellt werden. Mithilfe eines solchen Modells wäre es möglich, den Einfluss von Inflation und von Determinanten des Optionswertes, wie etwa Abschreibungen und risikolose Verzinsung,<sup>275</sup> genauer abzubilden.

---

<sup>267</sup> Vgl. ALLESSANDRI, T.M. u. a. (2004), S. 764.

<sup>268</sup> Vgl. ODENING, M.; MUSSHOF, O. (2001), S. 484 f.

<sup>269</sup> Vgl. Gibson, W.; Morrell, P. (2004), S. 432.

<sup>270</sup> Vgl. Gibson, W.; Morrell, P. (2004), S. 432.

<sup>271</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 104; Odening, M.; Mußhoff, O. (2001), S. 485 f.; Yiu, C.Y.; Tam, C.S. (2006), S. 477; Garvin, M.J.; Cheah, C.J.Y. (2004), S. 382.

<sup>272</sup> Vgl. Arboleda, C.A.; Abraham, D.M. (2006), S. 271 f.

<sup>273</sup> Unter anderem auch von Leitungsdurchmesser sowie Fließzeit und Temperatur des Abwassers, vgl. DWA DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (Hrsg.) (2004), S. 12 f.

<sup>274</sup> Siehe z.B. Garvin, M.J.; Cheah, C.J.Y. (2004), S. 378 f.

<sup>275</sup> Vgl. ODENING, M.; MUBHOFF, O. (2001), S. 485 f.

Eine Grundannahme der Realloptionstheorie ist, dass der Inhaber keinen Einfluss auf die Unsicherheiten haben kann, die den Wert einer Realloption beeinflussen. Diese Annahme wird nach Meinung von Autoren wie Adner und Levinthal (2004) sowie Alessandri u. a. (2004) dadurch widerlegt, dass Optionsinhaber durch die Anwendung des Realloptionsansatzes die projektbezogenen Unsicherheiten manipulieren und damit die Entwicklung des Basiswertes beeinflussen können.<sup>276</sup>

Zwei andere grundsätzliche Nachteile des quantitativen Bewertungsansatzes, die isolierte Betrachtung einzelner Investitionsprojekte und das Unvermögen zur Identifikation von Realloptionen, können dagegen mit Hilfe der vorgeschlagenen Methode durch die Einbindung in eine qualitative Analyse behoben werden.

Die quantitative Investitionsbewertung mit Hilfe des Realloptionsansatzes macht im Gegensatz zu traditionellen Bewertungsmethoden deutlich, dass Risiken und Unsicherheiten bei Vorhandensein von Flexibilität nicht nur etwas Negatives darstellen, sondern auch Chancen für ein Unternehmen bedeuten können.<sup>277</sup> Des Weiteren ermöglicht die quantitative Bewertung und besonders das dafür verwendete Binomialmodell Vorgaben und Hilfestellungen für das Management zum Umgang mit Realloptionen und zu Entscheidungsprozessen bei Investitionsprojekten.<sup>278</sup>

Wenngleich die Zahl unsicherer Faktoren für die Anwendung des Binomialmodells sehr begrenzt ist, ist die geringe mathematische Komplexität des Verfahrens von Vorteil. Wie gesehen erfordert das Binomialmodell weder höhere mathematische Kenntnisse noch komplexere technische Instrumente als die Investitionsbewertung mit traditionellen Verfahren. Sollte eine größere Anzahl unsicherer Faktoren in die Optionsbewertung einbezogen werden, könnte sich der jeweilige Benutzer mit komplexeren Verfahren, wie etwa der finiten Differenzierung, vertraut machen.

Die Übertragbarkeit der Optionspreistheorie von finanziellen auf reale Güter kann dann eingeschränkt sein, wenn identifizierte Realloptionen nicht exklusiv sind und auch das Verhalten von Konkurrenzunternehmen Einfluss auf den Optionswert nehmen kann.<sup>279</sup> Da die Versorgungsunternehmen der Abwasserbranche zumindest während der Laufzeit des Geschäftsbesorgungsvertrages eine Art Monopolstellung einnehmen, sind solche Bedenken im Kontext dieser Arbeit nicht begründet.

## **5.2 Ausblick**

Ausgehend von den während der Analyse gesammelten Erkenntnissen zu Anwendbarkeit bzw. zu Vor- und Nachteilen der Analysemethode gibt dieses Unterkapitel einen Ausblick hinsichtlich weiterer Untersuchungen des Themengebietes in der Praxis.

---

<sup>276</sup> Vgl. Adner, R.; Levinthal, D.A. (2004), S. 76 ff.; Alessandri, T.M. u. a. (2004), S. 764.

<sup>277</sup> Vgl. Yiu, C.Y.; Tam, C.S. (2006), S. 477; Triantis, A.G.; Borison, A. (2001), S. 11.

<sup>278</sup> Vgl. Yiu, C.Y.; Tam, C.S. (2006), S. 477.

<sup>279</sup> Vgl. Odening, M.; Musshoff, O. (2001), S. 487.

Die grundlegende Anwendung des Realloptionsansatzes auf den Zusammenhang zwischen dem demografischen Wandel und der Siedlungsentwässerung gestaltet sich dadurch schwierig, dass dazu bisher keine Literatur vorhanden ist.<sup>280</sup> Insofern besitzt diese Arbeit einen Modellcharakter und sollte als Ausgangsbasis für weitere Forschungsanstrengungen zum Thema gesehen werden.

Die Bewertung von Investitionsprojekten in der Siedlungswasserwirtschaft ist deshalb sinnvoll, weil Realloptionen in dieser Branche durch den unvollständigen Wettbewerb als exklusiv eingeschätzt werden können. Außerdem sind die Kriterien Flexibilität und Unsicherheit in vielen Fällen erfüllt und legitimieren demzufolge die Anwendung des Realloptionsansatzes. Wie an den Fallbeispielen Görlitz und Weißwasser erkennbar, wirkt sich der demografische Wandel regional sehr unterschiedlich auf die Systeme der Abwasserinfrastruktur aus und muss im Einzelfall untersucht werden.

Die Untersuchung des Einflusses der Bevölkerungsentwicklung sollte sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht unter Einbezug auch anderer Einflussfaktoren auf die Siedlungsentwässerung durchgeführt werden, um den jeweiligen Gesamteffekt unsicherer Faktoren sowie Interdependenzen innerhalb der Eventualitäten betrachten zu können. Vor allem die qualitative Realloptionsbewertung plädiert für eine Gesamtbetrachtung aller Eventualitäten auf Unternehmensebene und spricht für eine gleichzeitige Analyse möglicher Anpassungsmaßnahmen an unsichere Faktoren.

Die voranzustellende Szenarioanalyse sollte in der Praxis ausführlich betrieben werden. Zudem ist für die Analyse der Betroffenheit des Unternehmens und für den Vergleich möglicher Realloptionen ein angepasstes System zu schaffen, welches die Effekte unsicherer Faktoren sinnvoller charakterisiert als die einfache Darstellung durch „positive“, „negative“ und „nicht vorhandene“ Zusammenhänge.

Zum besseren Verständnis und für eine weitere Verbreitung von qualitativem und quantitativem Realloptionsansatz bietet sich in der Praxis die Durchführung weiterer Fallbeispiele an, für die eine ausführliche Datengrundlage zu erstellen wäre. Neben der genauen Aufstellung möglicher Zahlungsreihen durch Investitionsprojekte könnten Verantwortliche damit auch Erfahrungen mit dem quantitativen Bewerten im Allgemeinen und den Optionsbewertungstechniken wie dem Binomialmodell und der Methode der finiten Differenzierung im Speziellen sammeln. Auf diesem Wege könnten die Fähigkeiten zu besserer Einschätzung von Parametern wie Volatilität und risikolose Verzinsung sowie der zugrunde liegenden stochastischen Prozesse verbessert werden.

Für die Entscheidungsträger im Umgang mit unsicheren Faktoren bedeutet die Realloptionstheorie nicht nur die Erkenntnis, dass das Hinauszögern von Investitionsentscheidungen das Risiko von Verlusten minimiert.<sup>281</sup> Vielmehr macht der Realloptionsansatz für das Management deutlich, welchen Einfluss die sich aus Unsicherheit ergebenden Eventualitäten auf den

---

<sup>280</sup> Näheres hierzu siehe Literaturrecherche in Anhang A1.

<sup>281</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 104.

Wert von Anlagen haben.<sup>282</sup> Um den Ansatz anwenden zu können, müssen Verantwortliche über ein detailliertes Verständnis der Wechselwirkungen des Unternehmens mit unsicheren Faktoren verfügen, wodurch sie gezwungen sind, Annahmen und Erwartungen hinsichtlich aller Eventualitäten explizit zu äußern.<sup>283</sup> Außerdem erhöht die Implementierung der Realoptionstheorie in Unternehmen die Anforderungen an Kommunikation und Beurteilung unsicherer Faktoren. Das Risikomanagement erlangt durch die Verwendung der Realoptionstheorie nicht mehr nur eine dezentrale, sondern eine Strategie bildende Verantwortung.<sup>284</sup>

## **6 Schlusswort**

Grundsätzlich existieren zwei unterschiedliche Ansätze der Realoptionstheorie: Auf der einen Seite besteht die Möglichkeit, mit Hilfe des quantitativen Ansatzes vereinzelte Investitionsprojekte isoliert und in Ergänzung zur traditionellen Kapitalwertmethode zu bewerten. Auf der anderen Seite kann im Rahmen des qualitativen Realoptionsansatzes eine Untersuchung der Unsicherheiten durchgeführt werden, die ein Unternehmen umgeben. Darauf aufbauend können Realoptionen identifiziert und nach qualitativen Gesichtspunkten evaluiert werden. Der Verfasser dieser Arbeit ist der Meinung, dass sich beide Ansätze miteinander kombinieren lassen, um Schwachstellen zu kompensieren und von den Vorzügen beider Sichtweisen zu profitieren.

Dieser Argumentation folgend wird eine Methode zur Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels vorgeschlagen, bei der eine quantitative Realoptionsbewertung in die qualitative integriert wird. Die Analysemethode ist in fünf Arbeitsschritte unterteilt. Für die quantitative Bewertung bietet sich vor allem das Binomialverfahren an, da es durch ein intuitives Vorgehen gekennzeichnet ist und zur Optionsbewertung vergleichsweise geringe mathematische Kenntnisse erfordert.

Kriterien zur Anwendung des Realoptionsansatzes sind das Vorhandensein von Unsicherheit hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen und die Flexibilität des Entscheidungsträgers bezüglich der Realisierung von Investitionen für Anpassungsmaßnahmen. Die Prüfung dieser beiden Kriterien wird in Arbeitsschritt eins bzw. drei der Analysemethode durchgeführt.

Für die empirische Überprüfung der Methode bietet sich als Untersuchungsgegenstand die Abwasserinfrastruktur des Plattenbaugebietes Weißwasser-Süd an, da dort, im Gegensatz zu den Untersuchungsgebieten von Görlitz, vielfältige Probleme infolge des demografischen Wandels auftreten und Anpassungsmaßnahmen nötig sind. Das System der Siedlungsentwässerung ist von einer Fülle unsicherer Faktoren wie dem demografischen Wandel, dem Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs, möglichen ökologischen Vorgaben und der Entwicklung des industriellen und gewerblichen Wasserbedarfs betroffen und erfüllt damit das erste Kriterium zur Anwendung des Realoptionsansatzes, Unsicherheit hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen.

---

<sup>282</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 104.

<sup>283</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 105.

<sup>284</sup> Vgl. Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), S. 105.

Die sich bietenden Anpassungsmaßnahmen werden auf das Kriterium Flexibilität des Entscheidungsträgers hin überprüft. Mehrere Maßnahmen erfüllen das Kriterium und können demzufolge als Realoptionen bezeichnet werden. Beide Kriterien zur Anwendung des Realoptionsansatzes sind damit erfüllt und die Anwendung der Methode ist gerechtfertigt.

Die Analyse offenbart mehrere Handlungsempfehlungen für den Umgang mit unsicheren Einflussfaktoren auf die Siedlungsentwässerung. So stellt sich beim Vergleich der zur Verfügung stehenden Realoptionen heraus, dass die Option auf eine Zudosierung von Chemikalien zur Verhinderung von Geruch und Korrosion als vorteilhafteste Lösung gilt und nur allein verwirklicht werden sollte. Die anschließende quantitative Bewertung dieser Realoption zeigt, dass selbst bei einem zum jetzigen Zeitpunkt negativen Kapitalwert die Option auf die Investition nicht sofort verworfen werden sollte, da durch Warten von zukünftigen Entwicklungen profitiert werden könnte.

Die Implementierung der Realoptionstheorie verlangt die dauerhafte Überwachung und Weitergabe von Informationen über die Entwicklung der unsicheren Einflussfaktoren. Im gegebenen Fall betrifft das die Einflussfaktoren demografischer Wandel, regionale gewerbliche und industrielle Entwicklung, Entwicklung des spezifischen Wasserverbrauchs, Entwicklung von Technologien der Siedlungsentwässerung, neue ökologische Bestimmungen, Energiepreisentwicklung und Beschwerden durch Anwohner aufgrund von Geruchsproblemen. Auch neue, bisher noch nicht relevante Faktoren sollten Beachtung finden. Neben dieser dauerhaften Überwachung sollte die Reaktionsfähigkeit eines Unternehmens auf neue Entwicklungen, etwa durch flexiblere Verträge mit anderen Unternehmen und durch die Weiterbildung von Mitarbeitern, erhöht werden. Für den Umgang mit Realoptionen empfiehlt es sich, die konkreten Vorgaben des Binomialmodells bezüglich Ausübung, Verwerfen und Halten einer Option zu nutzen.

Die Analyse liefert neben Handlungsempfehlungen wichtige Erkenntnisse über Vor- und Nachteile der gewählten Methode. So ist für den Ablauf der Analysemethode problematisch, dass die der quantitativen Optionsbewertung vorgeschaltete qualitative Bewertung dem Kriterium Flexibilität nicht explizit Beachtung schenkt. Dieses Manko sollte bei der Weiterentwicklung des Modells behoben werden.

Die Anwendung der Methode bringt jedoch auch zahlreiche Vorteile mit sich, da das Unternehmen mit ihrer Hilfe eine dauerhafte Implementierung der Realoptionstheorie verwirklichen kann und sich durch sie ein Umdenken bezüglich des Verständnisses von Risiko erreichen lässt. Des Weiteren sind Versorgungsunternehmen bei Einführung der Methode an einer ständigen Aktualisierung und Überwachung der eigenen Betroffenheit durch unsichere Faktoren interessiert und können gleichzeitig ihr technisches Know-how hinsichtlich der Instrumente Szenarioanalyse und Optionsbewertungsverfahren erweitern.

## Anhang

### A 1 Dokumentation der Literaturrecherche

Den Startpunkt der Literaturrecherche bilden die vom Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Betriebliche Umweltökonomie<sup>285</sup> zur Verfügung gestellten wissenschaftlichen Artikel zum Thema Realoptionen.<sup>286</sup> Für die erweiterte Suche zum gesamten Themengebiet werden die vom Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Betriebliche Umweltökonomie bereitgestellte Refworks-Datenbank,<sup>287</sup> der verfügbare Bestand von Literatur der Sächsischen Landesbibliothek- Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB)<sup>288</sup> sowie die zur Verfügung stehenden Artikel der Datenbanken Business Source Complete,<sup>289</sup> ScienceDirect,<sup>290</sup> Wiso Wissenschaften/ Wirtschaftswissenschaften<sup>291</sup> und Scopus<sup>292</sup> verwendet.

Die folgenden Übersichten dokumentieren die Stichwortsuche in den Datenbanken und im Bestand der SLUB. Dabei sind nur die verfügbaren und in dieser Arbeit zitierten Quellen als relevant vermerkt.

<b>Business Source Complete, 28.05.2008</b>	<b>Anzahl Quellen</b>	<b>Davon relevant</b>
Suche: „wastewater“ and „real options“	0	0
Suche: „real options“ and „demographic“	3	0
Suche: „real options“ and „population“	6	0
Suche: „wastewater“ and „demographic“	4	0
Suche: „demographic change“ and „infrastructure“	15	0
<b>Gesamt Business Source Complete:</b>		<b>0</b>

<sup>285</sup> LEHRSTUHL FÜR BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE, INSB. BETRIEBLICHE UMWELTÖKONOMIE, Prof. Dr. Edeltraud Günther, Technische Universität Dresden, [www.tu-dresden.de/wwwblbu](http://www.tu-dresden.de/wwwblbu), Dresden 2008.

<sup>286</sup> Diese umfassen folgende Quellen: Busch, T.; Hoffmann, V.H. (2006), Copeland, T.; Tufano, P. (2004), Luehrman, T.A. (1998a,b), Miller, K.D.; Waller, H.G. (2003), Spinler, S.; Huchzermeier, A. (2004), Trigeorgis, L. (2005).

<sup>287</sup> REFSHARE-SEITE DER TU DRESDEN, <http://www.refworks.com/refshare/?site=036321138953600000/RWWS2A1194769/005751185268763000>, 2008.

<sup>288</sup> SÄCHSISCHE LANDESBIBLIOTHEK- STAATS- UND UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK DRESDEN (SLUB), <http://www.slub-dresden.de>, Dresden 2008.

<sup>289</sup> EBSCO Industries, Inc., [ejournals.ebsco.com](http://ejournals.ebsco.com), © 2008.

<sup>290</sup> Elsevier Science Direct, [www.sciencedirect.com/science](http://www.sciencedirect.com/science), © 2008.

<sup>291</sup> GBI- Genios Deutsche Wirtschaftsdatenbank GmbH, [www.wiso-net.de/r\\_zwiw/ZWIW.ein](http://www.wiso-net.de/r_zwiw/ZWIW.ein), © 2008.

<sup>292</sup> Elsevier B.V., [www.scopus.com/scopus/home.url](http://www.scopus.com/scopus/home.url), © 2008.

<b>Science Direct, 28.05.2008</b>	<b>Anzahl Quellen</b>	<b>Davon relevant</b>
Suche: „wastewater“ and „real options“	9	0
Suche: „real options“ and „demographic“	3	0
Suche: „real options“ and „population“	33	0
<b>Science Direct, 28.05.2008</b>	<b>Anzahl Quellen</b>	<b>Davon relevant</b>
Suche: „wastewater“ and „demographic“	9	0
Suche: „demographic change“ and „infrastructure“	16	0
<b>Gesamt Science Direct:</b>		<b>0</b>

<b>Wiso, 30.05.2008</b>	<b>Anzahl Quellen</b>	<b>Davon relevant</b>
Suche: „real options wastewater“	10	0
Suche: „real options demographic“	46	0
Suche: „real options population decline“	41	0
Suche: „wastewater demographic“	12	0
Suche: „demographic change infrastructure“	49	0
<b>Gesamt Wiso:</b>		<b>0</b>

<b>Scopus, 30.05.2008</b>	<b>Anzahl Quellen</b>	<b>Davon relevant</b>
Suche: „real options“ and „wastewater“	38	1
→ Ergebnis: ARBOLEDA, C.A.; ABRAHAM, D.M. (2006)		
Suche: „real options“ and „demographic“	45	0
Suche: „wastewater“ and „demographic“	15	0
Suche: „demographic change“ and „infrastructure“	326	1
→ Ergebnis: HUMMEL, D.; LUX, A. (2007)		
<b>Gesamt Scopus:</b>		<b>2</b>

<b>SLUB, 30.05.2008</b>	<b>Anzahl Quellen</b>	<b>Davon relevant</b>
Suche: „real options“	15	3
→ Ergebnis: TRIGEORGIS, L. (1997); AMRAM, K.; KULATILAKA, N. (1999); SCHWARTZ, E.S.; TRIGEORGIS, L. (2004)		
<b>Gesamt SLUB:</b>		<b>3</b>

Folgende Übersicht stellt die Literatursuche in der erwähnten RefWorks-Datenbank dar. Die Recherche erfolgt nicht mit einer Stichwortsuche, sondern anhand der bereits angelegten Ordner der Datenbank.

<b>Refworks, 15.08.2008</b>	<b>Anzahl Quellen</b>	<b>Davon relevant</b>
Ordner: „Realoptionen“	6	1
→ Ergebnis: DRIOUCHI, T.; LESEURE, M.; BENNETT, D. (2007)		
Ordner: „Demografie“	49	2
→ Ergebnis: GEO (Hrsg.) (2004); HEILAND, S.; REGENER, M.; STUTZRIEMER, S. (2004)		
Ordner: „Folgen des demografischen Wandels Siedlungsentwässerung“	93	6
→ Ergebnis: ARBEITSGEMEINSCHAFT ZUKUNFTSFÄHIGE WASSERVERSORGUNG UND ABWASSERENTSORGUNG IN BRANDENBURG (Hrsg.) (2007a;b); HILLENBRAND, T.; HIESSL, H. (2007); HILLENBRAND, T.; HIESSL, H. (2006); INTER 3 GMBH, INSTITUT FÜR RESSOURCENMANAGEMENT (Hrsg.) (2006); KLUGE, T. u. a. (2003)		
<b>Gesamt Refworks:</b>		<b>9</b>

Neben der direkten Suche über Stichworte bzw. die Kombination von Begriffen bietet sich die indirekte Recherche an. Dazu werden die Literaturverzeichnisse bereits gefundener Quellen durchsucht. Beispiele für ergiebige Sekundärquellen sind Busch und Hoffmann (2006),<sup>293</sup> Driouchi, Leseure und Bennett (2007)<sup>294</sup> sowie Arboleda und Abraham (2006).<sup>295</sup>

<sup>293</sup> Die gefundenen relevanten Werke sind Adner, R.; Levinthal, D.A. (2004), Cornelius, P.; Romani, M.; Van de Putte, A. (2005) und Trigeorgis, L. (1997).

<sup>294</sup> Die gefundenen relevanten Werke sind Martzoukos, S.H.; Trigeorgis, L. (2002), Triantis, A.G.; Borison, A. (2001), Alessandri, T.M. u. a. (2004), Busby, J.S.; Pitts, C.G.C. (1997)

<sup>295</sup> Die gefundenen relevanten Werke sind Black, F.; Scholes, M. (1973), Garvin, M.J.; Cheah, C.J.Y. (2004) und Ho, S.P.; Liu, L.Y. (2001).

## A 2 Bild des Schachtbauwerkes in Weißwasser-Süd

Die folgende Abbildung zeigt ein Foto des korrodierten Abwasserschachtes in Abschnitt B des Untersuchungsgegenstands.



Abbildung 16: Bild des korrodierten Abwasserschachtes  
(Eigene Darstellung)

## **Literaturverzeichnis**

ADAMCZYK, F. u. a. (1982): Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik- Band II: Entwurf und Bau von Kanalisationen und Abwasserpumpwerken, 3., überarbeitete Auflage, Berlin 1982.

ADNER, R.; LEVINTHAL, D.A. (2004): What is not a Real Option: Considering Boundaries for the Application of Real Options to Business Strategy, In: Academy of Management Review, 29. Jg., 2004, Heft 1, S. 71-85.

ALESSANDRI, T.M. u. a. (2004): Managing Risk and Uncertainty in Complex Capital Projects, In: The Quarterly Review of Economics and Finance, 44. Jg., 2004, Heft 5, S. 751-767.

AMRAM, K.; KULATILAKA, N. (1999): Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World, Boston 1999.

AMT FÜR ÖFFENTLICHE ORDNUNG GÖRLITZ (Hrsg.) (2008): Stand der Bevölkerung von Görlitz nach Stadt- und Ortsteilen: Unterlagen nach persönlicher Anfrage, SG Einwohnermeldewesen, Kommunale Statistikstelle.

ARBEITSGEMEINSCHAFT ZUKUNFTSFÄHIGE WASSERVERSORGUNG UND ABWASSERENTSORGUNG IN BRANDENBURG (Hrsg.) (2007a): Teil II: Finanzierungsstrukturen unter Berücksichtigung des demografischen Wandels, Positionspapier der Arbeitsgemeinschaft. Online im Internet. [http://www.stk.brandenburg.de/media/lbm1.a.4856.de/papier\\_fin.pdf](http://www.stk.brandenburg.de/media/lbm1.a.4856.de/papier_fin.pdf), Stand: o. A., Abfrage: 07.07.2008, 12:10 Uhr.

ARBEITSGEMEINSCHAFT ZUKUNFTSFÄHIGE WASSERVERSORGUNG UND ABWASSERENTSORGUNG IN BRANDENBURG (Hrsg.) (2007b): Teil III: Planungskonzepte unter Berücksichtigung des demografischen Wandels, Positionspapier der Arbeitsgemeinschaft. Online im Internet. [http://www.inter3.de/de/pfh/downloads/positionspapier\\_planung.pdf](http://www.inter3.de/de/pfh/downloads/positionspapier_planung.pdf), Stand: o. A., Abfrage: 07.07.2008, 12:10 Uhr.

ARBOLEDA, C.A.; ABRAHAM, D.M. (2006): Evaluation of Flexibility in Capital Investments of Infrastructure Systems, In: Engineering, Construction and Architectural Management, 13. Jg., 2006, Heft 3, S. 254-274.

ARIKAN, A.M.; ARIKAN, I; KIOUSIS, P.K. (2004): Technical Investment Decisions: Implications for Real Options Logic, Publikation der Boston University. Online im Internet. [www.realoptions.org/papers2004/ArikanTechnologicalInvest.pdf](http://www.realoptions.org/papers2004/ArikanTechnologicalInvest.pdf), Stand: o. A. , Abfrage: 18.06.2008, 13:55 Uhr.

BALSARA, N.J.; VIDOZZI, A.; VIDOZZI, L. (2005): A Range-Based Finite Difference Approach to Valuing Options in Markov Switching Regimes, In: The Engineering Economist, 50. Jg., 2005, Heft 3, S. 231-246.

BARJENBRUCH, M. (2004): Methoden zur Verminderung von Geruch und Korrosion im Kanal: Ergebnisse aus einem LAWA-Forschungsbericht, Symposium 15. Magdeburger Abwassertage, 2004.

BAUM, H.G.; COENENBERG, A.G.; GÜNTHER, E. (Hrsg.) (1999): Betriebliche Umweltökonomie in Fällen: Band 1: Anwendung betriebswirtschaftlicher Instrumente, München 1999.

- BLACK, F.; SHOLES, M. (1973): The Pricing of Options and Corporate Liabilities, In: Journal of Political Economy, 81. Jg., 1973, Heft 3, S. 637-654.
- BOTTERON, P. (2001): On the Practical Application of the Real Options Theory, In: Thunderbird International Business Review, 43. Jg., 2001, Heft 3, S. 469-479.
- BRAND, M. (2008a): Interview vom 08. Juli 2008, Uhrzeit: 13:00 – 15:00 Uhr, Görlitz 2008.
- BRAND, M. (2008b): Interview vom 26. Juni 2008, Uhrzeit: 10:00 – 13:00 Uhr, Görlitz 2008.
- BREALEY, R.A.; MYERS, S.C.; ALLEN, F. (2006): Principles of Corporate Finance, 8. Auflage, New York 2006.
- BUSBY, J.S.; PITTS, C.G.C. (1997): Real Options in Practice: an Exploratory Survey of how Finance Officers Deal with Flexibility in Capital Appraisal, In: Management Accounting Research, 8. Jg., 1997, Heft 2, S. 169-186.
- BUSCH, T.; HOFFMANN, V.H. (2006): Sustainability Related Uncertainties and Real Options, Publikation der Professur für Nachhaltigkeit und Technologie, ETH Zürich. Online im Internet. [www.ctw-congress.de/ifsam/download/track\\_9/pap00522.pdf](http://www.ctw-congress.de/ifsam/download/track_9/pap00522.pdf), Stand: September 2006, Abfrage: 18.06.2008, 14:07 Uhr.
- COPELAND, T.; TUFANO, P. (2004): A Real-World Way to Manage Real Options, In: Harvard Business Review, 2004, März, S. 90-99.
- CORNELIUS, P.; ROMANI, M.; VAN DE PUTTE, A. (2005): Three Decades of Scenario Planning in Shell, In: California Management Review, 48. Jg., 2005, Heft 1, S. 95-109.
- CORTAZAR, G. (2000): Simulation and Numerical Methods in Real Options Valuation, In: Schwartz, E.S.; Trigeorgis, L. (Hrsg.): Real Options and Investment under Uncertainty: Classical Readings and Recent Contributions, Cambridge/USA 2004, S. 601-620.
- CORTAZAR, G.; SCHWARTZ, E.S. (1998): Monte Carlo Evaluation Model of an Undeveloped Oil Field, In: Journal of Energy Finance and Department, 3. Jg., 1998, Heft 1, S. 73-84.
- COX, J.C.; ROSS, S.A.; RUBINSTEIN, M. (1979): Option Pricing: A Simplified Approach, In: Journal of Financial Economics, 7. Jg., 1979, S. 87-106.
- DOLL, H.; NEUBERT, V. (2008): Schachtsanierungen mit Hilfe von GfK-Rohren bzw. GfK-Elementen, In: 3R international, 47. Jg., 2008, Heft 3-4, S. 204-207.
- DRIOUCHI, T.; LESEURE, M.; BENNETT, D. (2007): A Robustness Framework for Monitoring Real Options under Uncertainty, In: Omega, in press, 2007.
- DWA DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (Hrsg.) (2008): Demografischer Wandel: Herausforderungen und Chancen für die Deutsche Wasserwirtschaft, Bamberg 2008.
- DWA DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (Hrsg.) (2004): ATV-DVWK-M 154: Geruchsemissionen aus Entwässerungssystemen- Vermeidung und Verminderung, Hennef 2004.
- EITING, R. (2006): Geruchsprobleme erfolgreich bekämpft: Kostengünstige Maßnahmen im Kanalnetz der Gemeinde Rastede, In: KA-Betriebs-Info, 36. Jg., 2006, Heft 1, S. 1347-1349.

ETSCHKEIT, G. (2008): Abbau Ost: Hau weg, die Häuser! In: Die Zeit, Nr. 2, 31. Januar 2008, S. 11.

FIEDLER, C.; LÜHRS, J. (2005): Geruchsproblematik – Erfahrungen aus der Praxis: Versuchsreihe zur H<sub>2</sub>S-Elimination in Wismar, In: KA-Betriebs-Info, 35. Jg., 2005, Heft 4, S. 1337-1340.

GARVIN, M.J.; CHEAH, C.J.Y. (2004): Valuation Techniques for Infrastructure Investment Decisions, In: Construction Management and Economics, 22. Jg., 2004, Heft 4, S. 373-383.

GEO (Hrsg.) (2004): Kreise und Städte im Test- Der Demographische Wandel: Daten, Trends und Analysen, In: GEO-Beilage zu den demografischen Perspektiven Deutschlands, 2004, Heft 5, S. 4-31.

GESKE, R.; SHASTRI, K. (1985): Valuation by Approximation: A Comparison of Alternative Option Valuation Techniques, In: Schwartz, E.S.; Trigeorgis, L. (Hrsg.): Real Options and Investment under Uncertainty: Classical Readings and Recent Contributions, Cambridge/USA 2004, Sp. 571-599.

GIBSON, W.; MORRELL, P. (2004): Theory and Practice in Aircraft Financial Evaluation, In: Journal of Air Transport Management, 10. Jg., 2004, Heft 6, S. 427-433.

GULESIAN, M. (2006): Capital Budgeting: Rational Outsourcing Decision in VoIP Projects, Online im Internet. [http://www.developer.com/mgmt/article.php/11085\\_3621006\\_4](http://www.developer.com/mgmt/article.php/11085_3621006_4), Stand: o. A., Abfrage: 04.08.2008, 12:48 Uhr.

GÜNTHER, E. (1994): Ökologieorientiertes Controlling: Konzeption eines Systems zur ökologieorientierten Steuerung und empirische Validierung, München 1994.

GÜNTHER, T. (1997): Unternehmenswertorientiertes Controlling, München 1997.

HEILAND, S.; REGENER, M.; STUTZRIEMER, S. (2004): Folgewirkungen der demografischen Entwicklung in Sachsen im Geschäftsbereich der SMUL, Publikation des Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) Dresden, Online im Internet. [http://www2.ioer.de/recherche/pdf/2004\\_heiland\\_etal\\_567\\_endbericht\\_demografie\\_umwelt.pdf](http://www2.ioer.de/recherche/pdf/2004_heiland_etal_567_endbericht_demografie_umwelt.pdf), Stand: o. A., Abfrage: 10.07.2008, 13:48 Uhr.

HILLENBRAND, T.; HIESSL, H. (2007): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme – Teil 2: Technologischer Fortschritt und sonstige Veränderungen, In: KA – Abwasser, Abfall, 54. Jg., 2007, Heft 1, S. 47-53.

HILLENBRAND, T.; HIESSL, H. (2006): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme – Teil 1: Klimawandel, demographischer Wandel, neue ökologische Anforderungen, In: KA – Abwasser, Abfall, 53. Jg., 2006, Heft 12, S. 1265-1271.

HO, S.P.; LIU, L.Y. (2001): An Option Pricing-based Model for Evaluating the Financial Viability of Privatized Infrastructure Projects, In: Construction Management and Economics, 20. Jg., 2001, Heft 2, S. 143-156.

HÜLSE, M. (2008c): Unterlagen nach persönlicher Datenanfrage für APW Süd, Weißwasser 2008.

- HÜLSE, M. (2008b): Interview vom 18. August 2008, Uhrzeit: 10:00 – 12:30 Uhr, Weißwasser 2008.
- HÜLSE, M. (2008a): Interview vom 08. Juli 2008, Uhrzeit: 11:00 – 12:30 Uhr, Weißwasser 2008.
- HUMMEL, D.; LUX, A. (2007): Population Decline and Infrastructure: The Case of the German Water Supply System, In: Vienna Yearbook of Population Research 2007, S. 167-191.
- INTER 3 GMBH, INSTITUT FÜR RESSOURCENMANAGEMENT (Hrsg.) (2006): Zukunftsfähige Infrastrukturangebote für schrumpfende Regionen: Unternehmenskonzepte und Regulierungsinnovationen am Beispiel von Wasser und Verkehr in Brandenburg, Abschlußbericht zur Vorstudie. Online im Internet. <http://www.inter3.de/de/pfh/downloads/vorstudie.pdf>, Stand: o. A., Abfrage: 07.07.2008, 12:07 Uhr.
- KABISCH, S.; PETER, A.; BERNT, M. (2007): Stadtumbau Ost aus Sicht der Bewohner: Wahrnehmungen, Erwartungen, Partizipationschancen, dargestellt anhand von Fallbeispielen, In: Informationen zur Raumentwicklung, 2007, Heft 1, S. 37-47.
- KÄMPFER, W. (2008): Kanalzustand und Erneuerungsbedarf im Freistaat Thüringen, In: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (Hrsg.): Demografischer Wandel: Herausforderungen und Chancen für die Deutsche Wasserwirtschaft, Bamberg 2008, S. 83-98.
- KAYALI, M.M. (2006): Real Options as a Tool for Making Strategic Investment Decisions, In: The Journal of American Academy of Business, Cambridge, 8. Jg., 2006, Heft 1, S. 282-286.
- KIRBACH, R. (2004): Die letzten Kinder, In: Die Zeit, Nr. 41, 30. September 2004, S. 15.
- KLUGE, T. u. a. (2003): Netzgebundene Infrastruktur unter Veränderungsdruck: Sektoranalyse Wasser. Unter Mitarbeit von Becker, S., netWORKS-Papers, Berlin 2003.
- KOZIOL, M.; WALTHER, J. (2006): Ökonomische Schwellenwerte bei der Rücknahme von technischer Infrastruktur in der Stadt, In: Informationen zur Raumentwicklung, 2006, Heft 5, S. 259-269.
- KRUSCHWITZ, L. (1999): Finanzierung und Investition, 2., überarbeitete Auflage, München 1999.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (Hrsg.) (2005): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, Berlin 2005.
- LUEHRMAN, T.A. (1998a): Strategy as a Portfolio of Real Options, In: Harvard Business Review, September-Oktober, S. 89-99.
- LUEHRMAN, T.A. (1998b): Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers, In: Harvard Business Review, Juli-August, S. 51-67.
- MARTZOUKOS, S.H.; TRIGEORGIS, L. (2002): Real (Investment) Options with Multiple Sources of Rare Events, In: European Journal of Operational Research, 136. Jg., 2002, Heft 3, S. 696-706.

MILLER, K.D.; WALLER, H.G. (2003): Scenarios, Real Options and Integrated Risk Management, In: Long Range Planning, 36. Jg., 2003, Heft 1, S. 93-107.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (2007): Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft: Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen. Online im Internet. <http://www.wasser.rlp.de/servlet/is/486/Energieeffizienz.pdf?command=downloadContent&filename=Energieeffizienz.pdf>, Stand: 2008, Abfrage: 16.09.2008, 11:30 Uhr.

MÜLLER, D. (2004): Realoptionsmodelle und Investitionscontrolling im Mittelstand: Eine Analyse am Beispiel umweltfokussierter Unternehmen, 1. Auflage, Wiesbaden 2004.

MYERS, S.C. (1977): Determinants of Corporate Borrowing, In: Journal of Financial Economics. 5. Jg., 1977, Heft 2, S. 147-175.

ODENING, M.; MÜBHOFF, O. (2001): Reale Optionen und landwirtschaftliche Betriebslehre-oder: Kann man mit der Optionspreistheorie arbitrieren? In: Agrarwirtschaft, 50. Jg., 2001, Heft 8, S. 480-489.

PERRIDON, L.; STEINER, M. (2007): Finanzwirtschaft der Unternehmung, 14., überarbeitete und erweiterte Auflage, München 2007.

PÖLLMANN, C. (2008): Umgang mit Korrosion in Freispiegel-Abwasserkanälen, In: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (Hrsg.): Demografischer Wandel: Herausforderungen und Chancen für die Deutsche Wasserwirtschaft, Bamberg 2008, S. 65-82.

PREISENDÖRFER, P. (1996): Umweltbewußtsein in Deutschland, Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage, Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Bonn 1996.

RAGNITZ, J. (2004): Demographischer Wandel in Sachsen - Teilbereich Staatliche Handlungsfähigkeit/finanzielle Ressourcen - Teil III: Implikationen für die Wirtschaftsförderung und den Infrastrukturaufbau, Gutachten des Instituts für Wirtschaftsforschung Halle im Auftrag der Sächsischen Staatskanzlei. Online im Internet. [http://iwh-halle.de/d/publik/sonst/ragnitz\\_gutachten\\_demo\\_wandel.pdf](http://iwh-halle.de/d/publik/sonst/ragnitz_gutachten_demo_wandel.pdf), Stand: o. A., Abfrage: 20.09.2008, 10:30 Uhr.

REICHERTER, E. (2003): Untersuchungen zu Kennzahlen als Grundlage für Kostenbetrachtungen in der Abwasserentsorgung, München 2003.

SÄCHSISCHE STAATSKANZLEI (Hrsg.) (o. J.): Den demographischen Wandel gestalten: Die Herausforderung. Online im Internet. <http://www.demographie.sachsen.de/de/bf/demograph/hf/index.html>, Stand: o. A., Abfrage: 05.09.2008, 9:30 Uhr.

SALZWEDEL, J. (1982): Haftungsrechtliche Fragen undichter Kanäle, In: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung, 1. Jg., 1982, Sonderheft 1, S. 23-30.

SCHAUB, H. (1996): Sunk Costs, Rationalität und ökonomische Theorie, Diss., Dresden 1996.

SCHWARTZ, E.S.; TRIGEORGIS, L. (2004): Real Options and Investment under Uncertainty: Classical Readings and Recent Contributions, Cambridge/USA 2004, S. 1-16.

- SCHWENTKER, B. (2008): Geburtenrate: Und sie bewegt sich doch, In: Zeit Online, 20.08.2008, 16:47 Uhr. Online im Internet. <http://www.zeit.de/online/2008/34/geburtenanstieg-analyse>, Stand: o. A., Abfrage: 29.10.2008, 12:10 Uhr.
- SMIT, H.T.J., TRIGEORGIS, L. (2006): Strategic Planning: Valuing and Managing Portfolios of Real Options, In: R&D Management, 36. Jg., 2006, Heft 4, S. 403-419.
- SPINLER, S.; HUCHZERMEIER, A. (2004): Realloptionen: Eine marktbasierende Bewertungsmethodik für dynamische Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit, In: Zeitschrift für Controlling & Management, 2004, Sonderheft 1, S. 66-71.
- STADTVERWALTUNG WEIßWASSER (Hrsg.) (o. J.): Projekte: Integriertes Stadtentwicklungskonzept für Weißwasser. Online im Internet. <http://www.weisswasser.de/de/wirtschaft/projekte.php>, Stand: o. A., Abfrage: 05.09.2008, 09:30 Uhr.
- STADTWERKE WEIßWASSER GMBH (Hrsg.) (2008d): Abwasser. Online im Internet. <http://www.stadtwerke-weisswasser.de/produkte/abwasser>, Stand: o. A., Abfrage: 05.09.2008, 11:35 Uhr.
- STADTWERKE WEIßWASSER GMBH (Hrsg.) (2008c): Das Entsorgungsgebiet der Stadtwerke Weißwasser GmbH, Bereich Abwasser. Online im Internet. <http://www.stadtwerke-weisswasser.de/produkte/abwasser/entsorgungsgebiet>, Stand: o. A., Abfrage: 05.09.2008, 10:35 Uhr.
- STADTWERKE WEIßWASSER GMBH (Hrsg.) (2008b): Der Abwasserzweckverband „Mittlere Neiße – Schöps“ in Zusammenarbeit mit der Stadtwerke Weißwasser GmbH. Online im Internet. <http://www.stadtwerke-weisswasser.de/unternehmen/partner>, Stand: o. A., Abfrage: 25.08.2008, 12:30 Uhr.
- STADTWERKE WEIßWASSER GMBH (Hrsg.) (2008a): Die Stadtwerke Weißwasser GmbH: Ihr Versorger in der Lausitz. Online im Internet. <http://www.stadtwerke-weisswasser.de/unternehmen>, Stand: o. A., Abfrage: 25.08.2008, 12:35 Uhr.
- STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN (Hrsg.) (2008): 4. Regionalisierte Bevölkerungsprognose für den Freistaat Sachsen bis 2020. Online im Internet. <http://www.statistik.sachsen.de/bevprog/pdf/Tabellenheft.pdf>, Stand: o. A., Abfrage: 24.07.2008, 12:10 Uhr.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (2008): Umwelt - Wasserabgabe der öffentlichen Wasserversorgung. Online im Internet. [http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de\\_jb10\\_jahrtabu2.asp](http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_jb10_jahrtabu2.asp), Stand: 18.10.2007, Abfrage: 14.07.2008, 15:30 Uhr.
- STEIN, D.; NIEDEREHE, W. (1992): Instandhaltung von Kanalisationen, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin 1992.
- TRIANIS, A.G.; BORISON, A. (2001): Real Options: State of the Practice, In: Journal of Applied Corporate Finance, 14. Jg., 2001, Heft 2, S. 8-24.

TRIGEORGIS, L. (2005): Making Use of Real Options Simple: An Overview and Applications in Flexible/Modular Decision Making, In: *The Engineering Economist*, 50. Jg., 2005, Heft 1, S. 25-53.

TRIGEORGIS, L. (1997): *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, Cambridge/USA 1997.

WINKLER, A. (1999): *Privatisierungshemmnisse- dargestellt am Beispiel der deutschen Abwasserwirtschaft*, Diss., Hamburg 1999.

YIU, C.Y.; TAM, C.S. (2006): Rational Under-pricing in Bidding Strategy: A Real Options Model, In: *Construction Management and Economics*, 24. Jg., 2006, Heft 5, S. 475-484.

YUAN, F.C. (2007): *Simulation-optimization Mechanism for Expansion Strategy Using Real Option Theory*, In: *Expert Systems with Applications*, in press, Taiwan 2007.

## **Abstract**

### *Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung mit Hilfe des Realloptionsansatzes*

Für Versorgungsunternehmen der Siedlungsentwässerung bringt der derzeit in Deutschland stattfindende demografische Wandel eine Vielzahl von Problemen mit sich. Um sich vor allem in den neuen Bundesländern an den demografischen Wandel und an andere Entwicklungen, wie die Verringerung des spezifischen Trinkwasserverbrauchs und den Rückgang des gewerblichen und industriellen Wasserbedarfs anzupassen, stehen den Unternehmen verschiedene Anpassungsmöglichkeiten in Form von Investitionen zur Verfügung.

Für die Bewertung der Anpassungsmaßnahmen bietet sich insbesondere der Realloptionsansatz an, da er im Gegensatz zu traditionellen Methoden der Investitionsbewertung die Flexibilität von Entscheidungsträgern und die Unsicherheit bezüglich zukünftiger Entwicklungen berücksichtigen kann. Diese Arbeit konzentriert sich auf die Auswahl einer sinnvollen Analyseverfahren auf Basis des Realloptionsansatzes zur Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung.

In der Literatur finden unterschiedliche Bewertungstechniken und verschiedene Bewertungsansätze der Realloptionstheorie Anwendung. Die in dieser Arbeit entwickelte Analyseverfahren kombiniert den qualitativen und den quantitativen Bewertungsansatz miteinander und plädiert für die Bewertungstechnik des Binomialmodells. Es wird eine Methode in fünf Arbeitsschritten vorgestellt, in der Kriterienüberprüfungen hinsichtlich des Vorhandenseins von Unsicherheit und Flexibilität vorgesehen sind.

Zur empirischen Anwendung der Analyseverfahren bietet sich als Untersuchungsgebiet die Abwasserinfrastruktur des Plattenbaugebietes Weißwasser-Süd an, da dort vielfältige Probleme infolge des demografischen Wandels auftreten. Die Analyse zeigt, dass die Kriterien zur Anwendung der entwickelten Methode, Unsicherheit und Flexibilität, hinsichtlich mehrerer Einflussfaktoren und Anpassungsmaßnahmen erfüllt sind und somit die Anwendung des Realloptionsansatzes gerechtfertigt ist. Die Anwendung der Analyseverfahren auf das Untersuchungsgebiet in Weißwasser offenbart für das Versorgungsunternehmen vielfältige Handlungsmöglichkeiten zum Umgang mit bestehenden Problemen und zur Anpassung an beeinflussende unsichere Faktoren. Weiterhin können mit Hilfe der Analyse die Vor- und Nachteile der ausgewählten Methode aufgezeigt werden, was für weitere Untersuchungen des Themengebietes hilfreich sein kann.

Stichwörter: *Demografischer Wandel, Siedlungsentwässerung, Anpassungsmaßnahmen, Realloptionsansatz, Unsicherheit, Flexibilität, Weißwasser*

In dieser Reihe sind bisher erschienen:

<i>Nummer</i>	<i>Autoren</i>	<i>Titel</i>
01/1996	Günther, T. / White, M. / Günther E. (Hrsg.)  Schill, O.	Ökobilanzen als Controllinginstrument  <a href="#">Download</a>
02/1998	Günther, E. (Hrsg.)  Salzmann, O.	Revisionäre Zeit- und Geschwindigkeitsbetrachtungen im Dreieck des Sustainable Development  <a href="#">Download</a>
I/2000	Günther, E. (Hrsg.)  Schmidt, A.	Auszug aus der Diplomarbeit: Umweltmanagement und betriebswirtschaftlicher Nutzen. Eine theoretischen Analyse und empirische Untersuchung am Beispiel ÖKOPROFIT München  <a href="#">Download</a>
03/2000	Günther, E. / Schill, O. (Hrsg.)  Klauke, I.	Kommunales Umweltmanagement: Theoretische Anforderungen und Einordnung vorhandener Ansätze  <a href="#">Download</a>
04/2000	Günther, E. (Hrsg.)  Krebs, M.	Aufgaben- und Organisationsstruktur der Umweltpolitik in der Bundesrepublik Deutschland  <a href="#">Download</a>
05/2000	Günther, E. / Schill, O. (Hrsg.)  Sicker, B.	Umweltfreundliche Beschaffung und Abfallmanagement in öffentlichen Einrichtungen - Eine Untersuchung am Landratsamt Bautzen und Klinikum Bautzen-Bischofswerda  <a href="#">Download</a>
	Günther, E. / Thomas, P. (Hrsg.)  Wollmann, R.	Integration des Instrumentes Environment-oriented Cost Management in die Controllingprozesse von Unternehmen in Entwicklungsländern  Ergebnisse der Zusammenarbeit mit dem Pilotvorhaben zur Unterstützung umweltorientierter Unternehmensführung in Entwicklungsländern (P3U) der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)  Erschienen in den Dresdner Beiträge zur Betriebswirtschaftslehre Nr. 50/01  <a href="#">Download</a>

Fortsetzung:

06/2001	Günther, E. / Berger, A. (Hrsg.)  Kaulich, S.	Ermittlung kritischer Erfolgsfaktoren für die Implementierung der Umwelleistungsmessung in Unternehmen, insbesondere für die Maschinenbaubranche   <a href="#">Download</a>
07/2001	Günther, E. / Berger, A. (Hrsg.)  Scheibe, L.	Konzeption eines Umweltkennzahlensystems zur Umwelleistungsmessung für Prozesse unter Beachtung der in Unternehmen vorliegenden Rahmenbedingungen   <a href="#">Download</a>
08/2001	Krebs, P. / Günther, E. / Obenaus, G. (Hrsg.)  Bölter, C.	Regenwassernutzung im nicht privaten Bereich  Eine technische und wirtschaftliche Analyse dargestellt am Beispiel des Fraunhofer-Institutszentrum Dresden   <a href="#">Download</a>
09/2001	Krause, W. / Günther, E. / Schulze, L. (Hrsg.)  Huber, V.	Ökologische Bewertung von Reinigungsprozessen in der Oberflächentechnik - Möglichkeiten zum Einsatz integrierter Umweltschutztechnologien   <a href="#">Download</a>
10/2001	Wingrich, H. / Günther, E. / Reißmann, F. / Kaulich, S. / Kraft, A. (Hrsg.)  Seidel, T.	Vergleichende Untersuchungen zur Wasseraufbereitung mit getauchten Membranen   <a href="#">Download</a>
11/2002	Koch, R. / Günther, E. / Fröhlich, J. / Jetschny, W. / Klauke, I. (Hrsg.)  Sauer, T.	Aufbau eines integrierten Umweltmanagementsystems im universitären Bereich   <a href="#">Download</a>
12/2003	Günther, E. / Berger, A. / Hochfeld, C. (Hrsg.)  Tröltzsch, J.	Treibhausgas-Controlling auf Unternehmensebene in ausgewählten Branchen   <a href="#">Download</a>

Fortsetzung:

<p>13/2003</p>	<p>Günther, E. / Neuhaus, R. / Kaulich, S. (Hrsg.)  Becker, S. / Kornek, S. / Kreutzfeldt, C. / Opitz, S. / Richter, L. / Ulmschneider, M. / Werner, A.</p>	<p>Entwicklung von Benchmarks für die Umweltleistung innerhalb der Maschinenbaubranche  Eine Benchmarkingstudie im Auftrag der Siemens AG   <a href="#">Download</a></p>
	<p>Günther, T. / Günther, E. (Hrsg.)  Hoppe, H.</p>	<p>Umweltaspekte und ihre Wertrelevanz für die Unternehmen: Eine Zusammenfassung existierender empirischer Forschungsergebnisse. Erschienen in den Dresdner Beiträgen zur Betriebswirtschaftslehre Nr. 81/04   <a href="#">Download</a></p>
<p>14/2004</p>	<p>Günther, E. / Klauke, I. (Hrsg.)  Kreutzfeldt, C.</p>	<p>Herausforderungen für die nachhaltige öffentliche Beschaffung in der Tschechischen Republik im Zuge der EU-Osterweiterung   <a href="#">Download</a></p>
<p>15/2004</p>	<p>Günther, E. / Farkavcová, V. / Hoppe, H. (Hrsg.)  Jacobi, R. / Scholz, F. / Umbach, F. / Wagner, B. / Warmuth, K.</p>	<p>Entwicklung eines integrierten Managementsystems bei einem mittelständischen Unternehmen der Entsorgungswirtschaft  Verknüpfung von Umweltmanagement und Qualitätsmanagement unter besonderer Berücksichtigung der Transportprozesse in der Entsorgungsbranche   <a href="#">Download</a></p>
<p>16/2004</p>	<p>Günther, E. / Will, G. / Hoppe, H. (Hrsg.)  Ulmschneider, M.</p>	<p>Life Cycle Costing (LCC) und Life Cycle Assessment (LCA) – eine Übersicht bestehender Konzepte und deren Anwendung am Beispiel von Abwasserpumpstationen   <a href="#">Download</a></p>
<p>17/2005</p>	<p>Günther, E. / Hoppe, H. / Klauke, I. (Hrsg.)  Deuschle, T. / Friedemann, J. / Kutzner, F. / Mielecke, T. / Müller, M.</p>	<p>Einweg- und Mehrwegtextilien im Krankenhaus – das Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie   <a href="#">Download</a></p>

Fortsetzung:

18/2005	Günther, T. / Günther, E. / Hoppe, H. (Hrsg.)  Mahlendorf, M.	Entwicklung eines Entscheidungsmodells zur Anwendung von Umweltkostenrechnungssystemen: Aktuelle Entwicklungen und Anwendungsbereiche   <a href="#">Download</a>
19/2006	Günther, E. / Kaulich, S. (Hrsg.)  Kornek, S.	Entwicklung einer Methodik eines integrierten Managementsystems von Umwelt-, Qualitäts- und Arbeitsschutzaspekten unter besonderer Betrachtung des Risikomanagements   <a href="#">Download</a>
20/2006	Günther, E. / Lehmann-Waffenschmidt, W. (Hrsg.)  Bolze, C. / Ernst, T. / Greif, S. / Krügler, S. / Nowotnick, M. / Schneider, A. / Steneberg, B.	Entschleunigung von Konsum- und Unternehmensprozessen   <a href="#">Download</a>
21/2006	Günther, E. / Farkavcovà, V. (Hrsg.)  König, J	Ökologische Bewertung von Transportprozessen - Systematisierung und Analyse existierender Bewertungsverfahren und Studien   <a href="#">Download</a>
22/2006	Günther, E. / Becker, U. J. / Farkavcovà, V. (Hrsg.)  Kutzner, F.	Emissionshandel im Verkehr - Konsequenzen aus einzelwirtschaftlicher Perspektive   <a href="#">Download</a>
23/2006	Günther, E. / Hoppe, H. (Hrsg.)  Mielecke, T.	Erstellung einer Sachbilanz-Studie und Modellierung des Lebensweges von Operationstextilien   <a href="#">Download</a>
24/2007	Günther, E. / Scheibe, L. (Hrsg.)  Laitenberger, K. / Meier, K. / Poser, C. / Röthig, D. / Stienen, J. / Tobian, S.	Umweltkennzahlen zur Prozessbewertung   <a href="#">Download</a>

Fortsetzung:

25/2007	Günther, E. / Bilitewski B. / Hoppe, H. / Janz, A.(Hrsg.)  Greif, S.	Ökonomische Analyse der Rückgewinnung von hochwertigen Metallen aus elektrischen und elektronischen Altgeräten in Deutschland   <a href="#">Download</a>
26/2007	Günther, E. (Hrsg.)  Steneberg, B.	Beschleunigung und Entschleunigung – eine empirische Untersuchung der Zahlungsbereitschaft für Entschleunigung.   <a href="#">Download</a>
27/2007	Günther, E. / Becker, U./ Gerike, R. / Nowack, M. (Hrsg.)  Friedemann, J.	Analyse von Verteilungswirkungen externer Effekte im Verkehr   <a href="#">Download</a>
28/2007	Günther, E. / Hoppe, H. (Hrsg.)  Poser, C.	Komponenten und Einflussfaktoren der Umweltleistung eines Unternehmens: Strukturierung und Strukturanalyse auf Basis theoretischer und empirischer Ergebnisse   <a href="#">Download</a>
29/2007	Günther, E./ Hoppe, H. (Hrsg.)  Laitenberger, K.	Der Einfluss des Umweltschutzes auf die Wettbewerbsfähigkeit von Ländern und Industrien   <a href="#">Download</a>
30/2008	Günther, E. (Hrsg.)  Meier, K.	Die Umweltleistung in der Umweltberichterstattung von Unternehmen und deren Zusammenhang mit der ökonomischen Leistung   <a href="#">Download</a>
31/2008	Günther, E./ Tränckner, J./ Nowack, M. (Hrsg.)  Röthig, D.	Betriebswirtschaftliche Analyse der Kapazitätsauslastung in der Siedlungsentwässerung   <a href="#">Download</a>
32/2008	Günther, E. / Tränckner, J. / Nowack, M. (Hrsg.)  Gaitzsch, G.	Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung mit Hilfe des Realoptionsansatzes   <a href="#">Download</a>