

# **Nachhaltige Strategien in der Abwasserentsorgung - Dynamische Kostenvergleichsrechnung**

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Magister (FH)  
am Fachhochschul-Studiengang  
Finanz-, Rechnungs- und Steuerwesen

eingereicht von

**Peter Wiecec**

im August 2004, Wien

Betreuer

Dr. Christian Kreuzer

DI Markus Starkl

Ich versichere,

1. daß ich die Diplomarbeit selbständig verfaßt habe, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe,
2. daß ich diese Diplomarbeit bisher weder im In- oder Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe,
3. daß dieses Exemplar mit der beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im August 2004

Peter Wiecec

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	V
Abbildungsverzeichnis.....	VII
1. Einleitung .....	1
1.1. Problemstellung .....	1
1.2. Zielsetzung.....	1
1.3. Aufbau und Konzeption.....	2
2. Wasserwirtschaft.....	3
2.1. Siedlungswasserwirtschaft.....	3
2.2. Einflüsse auf die Gewässergüte.....	3
2.3. Derzeitige Situation bezüglich Abwasserableitung und -reinigung.....	6
2.3.1. Wasserrechtliche Vorschriften .....	7
2.3.2. Entwicklung der Wassergüte.....	8
2.4. Abwasserentsorgung und -behandlung.....	10
2.4.1. Kanalsystem .....	10
2.4.2. Mechanische Reinigung.....	11
2.4.3. Biologische Reinigung .....	11
2.4.4. Pflanzenkläranlagen .....	11
2.4.5. Schlammverwertung und -entsorgung .....	12
2.5. Kosten der Abwasserentsorgung und -behandlung .....	14
2.5.1. Planung der Abwasserentsorgungssysteme .....	14
2.5.2. Kosten der Abwasserableitung .....	15
2.5.3. Kosten der Abwasserreinigungsanlagen.....	15
2.5.4. Finanzierung der Abwasserentsorgung .....	16
2.5.5. Dimensionierung der Abwasserreinigungsanlagen.....	16
2.5.6. Die Besonderheiten des ländlichen Raums .....	17
2.5.7. Dichte Senkgruben .....	18
2.5.8. „Leistungsschwache“ Oberflächengewässer .....	18
2.6. Alternative, nachhaltige Abwasserkonzepte.....	19
2.6.1. Alternative Konzepte mit Stofftrennung.....	20
2.6.1.1. Getrennte Behandlung von Grau- und Schwarzwasser .....	21
2.6.1.2. Septic Tanks .....	22
2.6.1.3. Trennung von Gelbwasser (Urin-Separation) .....	22

2.6.1.4.	Landwirtschaftliche Ausbringung von häuslichem Abwasser.....	24
2.6.2.	Projekt zur Entwicklung neuer, nachhaltiger Sanitärkonzepte .....	25
3.	Finanzmathematische Theorie .....	30
3.1.	Definition „Investition“ .....	30
3.2.	Finanzwirtschaftliche Rechenmodelle .....	31
3.3.	Dynamische Investitionsrechnung.....	32
3.3.1.	Kalkulationszinssatz.....	33
3.3.2.	Absolute und relative Vorteilhaftigkeit .....	35
3.3.3.	Auf- und Abzinsung.....	36
3.4.	Kapitalwertmethode .....	38
3.4.1.	Zurechnung von Zahlungen zum Investitionsprojekt.....	38
3.4.2.	Berechnung des Kapitalwerts .....	39
3.4.3.	Beispiele zur Berechnung des Kapitalwerts .....	41
3.4.4.	Mängel der Kapitalwertmethode .....	44
3.4.4.1.	Unterschiedlicher Kapitaleinsatz .....	44
3.4.4.2.	Unterschiedliche Nutzungsdauern .....	46
3.4.4.3.	Kapitalwert von Investitionsketten.....	47
3.4.4.4.	Zusammenfassung .....	49
3.5.	Annuitätenmethode .....	49
3.5.1.	Annuitäten von Investitionsketten .....	51
3.5.2.	Annuitäten bei unterschiedlicher Nutzungsdauer.....	52
3.5.3.	Exkurs: Annuität mit jährlicher Steigerungsrate .....	53
3.6.	Interne Zinsfuß-Methode .....	54
3.7.	Dynamische Kostenvergleichsrechnung (LAWA-Leitlinien) .....	54
3.7.1.	Ermittlung der Auszahlungen .....	56
3.7.2.	Finanzmathematische Aufbereitung der Auszahlungen.....	59
3.7.3.	Vorteilhaftigkeitsvergleich .....	60
3.7.4.	Sensitivitätsanalyse und Ermittlung kritischer Werte.....	62
3.7.5.	Gesamtbeurteilung und Ergebnisinterpretation.....	63
4.	Durchführung der dynamischen Kostenvergleichsrechnung .....	65
4.1.	Zielsetzung.....	65
4.2.	Berechnung der Vorteilhaftigkeit mit Excel.....	66
4.3.	Kostenvergleichsrechnung für die Orte .....	70
4.4.	Allgemeine Variantenübersicht .....	71

4.5.	Dynamische Kostenvergleichsrechnung für Höf .....	72
4.5.1.	Beschreibung der Varianten .....	72
4.5.2.	Einteilung in Gruppen .....	76
4.5.3.	Ergebnis mit Werten der Landesregierungen .....	77
4.5.4.	Interpretation.....	79
4.5.5.	Anteil der Kanäle an den Investitionen.....	80
4.5.6.	Einfluß der Kanallängen und Anzahl der Kläranlagen.....	81
4.5.7.	Sensitivitätsanalyse .....	82
4.5.8.	Ergebnis mit Werten des Planungsbüros Flögl .....	82
4.5.9.	Genauere Untersuchung der Gruppe 2.....	83
4.6.	Dynamische Kostenvergleichsrechnung für Wallsee .....	84
4.6.1.	Beschreibung der Varianten .....	84
4.6.2.	Ergebnis mit Werten der Landesregierungen .....	88
4.6.3.	Interpretation.....	90
4.6.4.	Einfluß der Anzahl der Kläranlagen .....	90
4.6.5.	Sensitivitätsanalyse .....	91
4.7.	Gesamtergebnis der Untersuchung und Ausblick .....	91
5.	Anhang.....	93
6.	Literaturverzeichnis .....	105

## Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
”	Zoll
§	Paragraph
°C	Grad Celsius
Abs.	Absatz
AK	Ableitungskanal
ARA	Abwasserreinigungsanlage
AZ	Auszahlung(en)
Bd.	Band
BK	Betriebskosten
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BOKU	Universität für Bodenkultur
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
DI	Diplomingenieur
DL	Druckleitung
DN	Durchmesser
Dr.	Doktor
EG	Europäische Gemeinschaft
EGW	Einwohnergegenwert
EU	Europäische Union
EUR	Euro
EW	Einwohner
f.	folgende
ff	fortfolgende
FIRST	Fachhochschul-Studiengang für Finanz-, Rechnungs- und Steuerwesen
FS	Freispiegel
ggf.	gegebenenfalls
HK	Hauptkanal
Hrsg.	Herausgeber

IWGA	Institut für Wasserversorgung, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft
km	Kilometer
KW	Kapitalwert
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
l <sub>fm</sub>	Laufmeter
Lkw	Lastkraftwagen
LR	Landesregierung
LW	Landwirtschaft
m	Meter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Mio.	Million
MS	Microsoft
ND	Nutzungsdauer
NK	Nebenkanal
NÖ	Niederösterreich
OÖ	Oberösterreich
ÖWWV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (seit 1992 ÖWAV)
p.a.	per anno (pro Jahr)
PE	Polyäthylen (Kunststoff)
PKA	Pflanzenkläranlage
RL	Richtlinie
S.	Seite
Stmk	Steiermark
u.	und
u.ä.	und ähnliches
u.U.	unter Umständen
US	United States
v.	von
vgl.	vergleiche
WC	Wasserklosett (water closet)
zB	zum Beispiel

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gütebild der Flüsse Österreichs 1982 .....	9
Abbildung 2: Gütebild der Flüsse Österreichs 1995 .....	9
Abbildung 3: Abwasser-Teilströme .....	21
Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Septic Tank .....	22
Abbildung 5: Vergleichsszenarien Sanitärkonzepte .....	27
Abbildung 6: Pilotprojekt.....	28
Abbildung 7: Berechnung des Kapitalwerts .....	41
Abbildung 8: Einfluß des zeitlichen Anfalls der Zahlungsströme - Teil 1 .....	42
Abbildung 9: Einfluß des zeitlichen Anfalls der Zahlungsströme - Teil 2 .....	42
Abbildung 10: Relevanz späterer Zahlungen.....	43
Abbildung 11: Unsicherheit bei unterschiedlichem Kapitaleinsatz.....	44
Abbildung 12: Einfluß des Kapitalzinssatzes .....	45
Abbildung 13: Probleme bei unterschiedlichen Nutzungsdauern .....	46
Abbildung 14: Identisches Folgeprojekt.....	47
Abbildung 15: Verändertes Folgeprojekt .....	48
Abbildung 16: Errechnung Annuität aus dem Kapitalwert .....	50
Abbildung 17: Errechnung Barwert und Umformung in Annuität .....	51
Abbildung 18: Investitionsprojekte mit unterschiedlicher Nutzungsdauer .....	52
Abbildung 19: Screenshot - Excel-Arbeitsblatt Höf Variante B 3a .....	69
Abbildung 20: Screenshot - Eingabe von Nutzungsdauern und Zinssätzen .....	70
Abbildung 21: Nutzungsdauern der Systemkomponenten .....	71
Abbildung 22: Höf Variante A 1-1 .....	72
Abbildung 23: Höf Variante A 1-2 .....	72
Abbildung 24: Höf Variante A 2-1 .....	74
Abbildung 25: Höf Variante A 2-5 .....	74
Abbildung 26: Schema Höf Variante B 3 .....	76
Abbildung 27: Einteilung der Varianten Höf in Gruppen .....	77
Abbildung 28: Barwerte Höf - Werte LR Ausgangsbasis .....	78
Abbildung 29: Durchschnittliche Jahreskosten und Barwerte Höf .....	79
Abbildung 30: Kostenanteile an den Investitionskosten im Jahr 0 (in 1.000 EUR) ....	80
Abbildung 31: Länge der Kanäle und Anzahl der Kläranlagen Höf.....	81

Abbildung 32: Wallsee Variante A 1-1 .....	85
Abbildung 33: Wallsee Variante A 1-3 .....	85
Abbildung 34: Wallsee Variante A 2-1 .....	86
Abbildung 35: Wallsee Variante A 2-3 .....	86
Abbildung 36: Wallsee Variante A 2-5 .....	87
Abbildung 37: Wallsee Varianten B 1 .....	87
Abbildung 38: Wallsee Varianten B 2 .....	88
Abbildung 39: Wallsee Varianten B 3 .....	88
Abbildung 40: Barwerte Wallsee - Werte LR .....	89
Abbildung 41: Durchschnittliche Jahreskosten und Barwerte Wallsee .....	90
Abbildung 42: Anzahl der Kläranlagen Wallsee .....	91

# **1. Einleitung**

## **1.1. Problemstellung**

Wasser ist ein knappes und wertvolles Gut, mit dem verantwortungsbewußt und sorgsam umgegangen werden muß. Herkömmliche Methoden zur Abwasserentsorgung werden diesem Anspruch jedoch nicht oder nur zum Teil gerecht. Nachhaltige Strategien der Wasserwirtschaft dürfen Abwasser nicht nur als Abfall betrachten, sondern müssen es im Sinne eines vollständigen Stoffkreislaufs sehen. Es gibt mittlerweile verschiedenste technische Lösungen um im Abwasser enthaltene Nährstoffe entsprechend zu verwerten, es liegen jedoch noch kaum Langzeit-Erfahrungen vor.

Österreich hatte schon bisher wesentlich strengere Reinigungsanforderungen an das Abwasser als der EU-Standard. Die relativen Jahreskosten zur Erfüllung dieser strengeren Anforderungen sind jedoch kaum höher, was zu einer fast 50 % höheren relativen Kosteneffizienz führt (vgl. *BMLFUW 2002*, S. 15 f.). Deshalb ist es schon alleine in Hinblick auf eine möglicherweise noch höhere Kosteneffizienz interessant nachhaltige Strategien wirtschaftlich genauer zu untersuchen.

## **1.2. Zielsetzung**

Das interdisziplinäre Projekt „Nachhaltige Strategien in der Abwasserentsorgung“ wird im Auftrag des Ministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft durchgeführt und beschäftigt sich mit wirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Fragestellungen zu diesem Thema.

Ziel des Projektes, das von der Abteilung für Siedlungswasserbau an der Universität für Bodenkultur Wien koordiniert wird, ist es, anhand von ländlichen Modellgemeinden nachhaltige Strategien in der Abwasserentsorgung unter Berücksichtigung der Abfall- und Landwirtschaft aufzuzeigen sowie anhand technischer, ökonomischer, umweltbezogener, organisatorischer und sozialer Indikatoren zu bewerten und zu optimieren. Insbesondere soll untersucht werden, ob langfristig gesehen eine Verbesserung und Anpassung der bestehenden Optionen, oder ein Umstieg auf neue Systeme, die auf einer getrennten Erfassung von Urin und Fäkalien beruhen, erfolgen soll. Diese Systeme zeichnen sich dadurch aus, daß eine bessere Verwertung der Nährstoffe im Sinne einer Kreislaufwirtschaft möglich ist.

Diese Diplomarbeit entsteht im Rahmen einer Kooperation zwischen der Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien und dem Fachhochschul-Studiengang Finanz-, Rechnungs- und Steuerwesen Wien (FIRST). Betreuer sind DI Markus Starkl (BOKU) von der Abteilung für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz des Instituts für Wasserversorgung, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft (IWGA) auf der technischen Seite, und Dr. Christian Kreuzer (FIRST) für den wirtschaftlichen Bereich.

Aufgabe der Diplomarbeit ist es, verschiedene herkömmliche und alternative Varianten der Abwasserentsorgung für die Modellgemeinden im Rahmen eines finanzmathematischen Vergleichs (Barwertmethode) auf ihre Vorteilhaftigkeit hin zu untersuchen, um Empfehlungen hinsichtlich ihrer konkreten Umsetzung zu geben. Die dazu notwendigen Daten werden von der BOKU als Koordinator bereitgestellt.

### **1.3. Aufbau und Konzeption**

Das erste Kapitel widmet sich der Einführung in das Thema der Diplomarbeit, der Forschungsfragestellung und Zielsetzung sowie deren Methodik und Aufbau. Ausgehend von der erläuterten Problemstellung und Zielsetzung beschäftigt sich diese Diplomarbeit mit folgenden Schwerpunkten.

In Kapitel zwei geht es um Wasserwirtschaft, rechtliche Rahmenbedingungen, technische Möglichkeiten und Kosten herkömmlicher Abwasserbehandlung sowie alternativer Systeme unter besonderer Rücksichtnahme auf den ländlichen Raum.

Thema des dritten Kapitels sind finanzmathematische Grundlagen und Anwendung der Kapitalwertmethode, Annuitätenmethode sowie der diesen Verfahren zugrundeliegenden Barwertermittlung.

Kapitel vier umfaßt die praktische Anwendung der Barwertmethode und damit die Errechnung und Interpretation der Barwerte sowie durchschnittlichen Jahreskosten von verschiedenen Varianten zur Abwasserentsorgung in Modellgemeinden mit Hilfe des Spreadsheet-Programms Microsoft Excel.

## **2. Wasserwirtschaft**

Unter Wasserwirtschaft versteht man die Bewirtschaftung des Wassers durch den Menschen, wobei die drei folgenden Bereiche unterschieden werden: Bewirtschaftung von Gewässern, Trinkwassergewinnung und -verteilung und Bewirtschaftung von Abwässern (vgl. *Wikipedia* 2004).

### **2.1. Siedlungswasserwirtschaft**

Die Siedlungswasserwirtschaft stellt einen Teilbereich der Wasserwirtschaft dar, in dem die Tätigkeiten eines Bauingenieurs mit den Anforderungen und Aufgabengebieten des Umweltschutzes verschmelzen. Die Aufgabenbereiche dieses Fachbereichs umfassen unter anderem:

- Wasserversorgung,
- Siedlungsentwässerung,
- Abwasserreinigung/-behandlung,
- Abfallwirtschaft.

Zur Lösung siedlungswasserwirtschaftlicher Fragestellungen, wie sie Abwasserentsorgungssysteme darstellen, sind einerseits ingenieurtechnisches Wissen und naturwissenschaftliche Grundlagen notwendig, andererseits wirtschaftliche und soziale Aspekte zu berücksichtigen (vgl. *Kaiserslautern* 2003)

### **2.2. Einflüsse auf die Gewässergüte**

Die Gewässergüte wird durch natürliche und anthropogene (durch den Menschen verursachte) Einflüsse bestimmt. Ein sauberes Gewässer zeichnet sich dadurch aus, daß die Nahrungsversorgung der Biozönose (der Lebensgemeinschaft von Pflanzen und Tieren) gering ist, so daß sich eine Nahrungskette bildet, die durch Nahrungsmangel in ihrer Entfaltung begrenzt ist. Dadurch ist die Konzentration an Wasserinhaltsstoffen gering, was für gute Wasserqualität sorgt. Dies ist auch Voraussetzung für die Nutzbarkeit der Gewässer durch den Menschen (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 1).

Es werden drei Gruppen von Abwasserinhaltsstoffen unterschieden:

- Mineralische bzw. anorganische Stoffe, zB Metalle,

- Organische oder abbaubare Stoffe, zB Tenside, und
- Organismen, zB Viren, Bakterien, Algen, Pilze (vgl. *Kuhnert 1996, S. 3*).

In den 50er Jahren fand man heraus, daß Gewässergüte unter anderem durch die Phosphorbelastung bestimmt wird. Ab einer kritischen Belastung, vor allem durch häusliches Abwasser, kommt es zu einer dauerhaften Beeinträchtigung der Güte, so daß die Einleitung von Abwasser vor allem in stehende Gewässer zu unterbinden ist (vgl. *BMLFUW 2002, S. 1*).

Die Einleitung von organisch leicht abbaubaren Abwasserinhaltsstoffen in ein Fließgewässer führt zu einer Veränderung der dortigen Lebensgemeinschaft durch rasche Zunahme von Mikroorganismen, die diese organischen Substanzen verwerten und abbauen. Durch „Selbstreinigung“ werden organische Stoffe und anorganische Nährstoffe in den natürlichen Stoffkreislauf einbezogen, abgebaut, mineralisiert und langfristig ausgeschieden. Dadurch kann sich ein Gewässer mit Hilfe einer sich von selbst entwickelnden artenreichen Freßkette sauber halten, wobei Sauerstoff verbraucht wird. Vor allem in kleinen Gewässern kann die massive Einleitung von unge reinigten Abwässern zu Fischsterben führen. Lange davor kommt es jedoch zu einer massiven Verschlechterung der biologischen Gewässergüte (vgl. *BMLFUW 2002, S. 3*).

Im Fließgewässer ist nicht alleine die Mischungskonzentration der organischen Belastung durch Abwasser entscheidend, sondern auch die Art der Verschmutzung. Biologisch nicht gereinigtes Abwasser führt nicht nur zu hohem Sauerstoffverbrauch im Wasser, sondern auch zu Bildung von Bakterien, was sich negativ auf viele wichtige Organismen in einem biologisch intakten Gewässer auswirkt. Daher ist eine weitgehende Entfernung der Kohlenstoffverbindungen aus dem Abwasser notwendig (vgl. *BMLFUW 2002, S. 1*).

Stickstoff spielt in allen natürlichen Systemen eine wichtige Rolle, da dessen chemische Verbindungen negativen Einfluß auf die Biozönose der Gewässer haben. Kritisch sind vor allem die Stickstoffverbindungen Ammonium und Ammoniak, was für Fische giftig ist (vgl. *BMLFUW 2002, S. 4*).

Die Nitrifikation (Umwandlung von Ammonium in Nitrat), die als Begleiterscheinung eines weitgehenden Abbaues der Kohlenstoffverbindungen auftritt, ist eine wichtige Voraussetzung eines vorsorgenden Gewässerschutzes. In den 70er Jahren konnte gezeigt werden, daß stark mit Abwasser belastete Flüsse erst durch die biologische Reinigung aller eingeleiteten Abwässer bis zur weitgehenden Nitrifikation die angestrebte Gewässergüte erreichten (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 1).

Um die Giftwirkung des Ammoniaks und auch den Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation im Gewässer zu vermeiden, ist in Österreich im Gegensatz zur EU die weitgehende Nitrifikation im Rahmen der Abwasserreinigung als Mindeststandard definiert. In Stauräumen von Fließgewässern kann es zu kritischen Nitritgehalten kommen. Nitrit, das durch unvollständige Nitrifikation oder bei der Stickstoffentfernung durch Denitrifikation im Gewässer entstehen kann, ist für Fische etwa zehnmals so giftig wie Ammoniak (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 4).

Durch die anorganischen Abwasserinhaltsstoffe und Endprodukte des Selbstreinigungsprozesses, vor allem durch Stickstoff- und Phosphorverbindungen, kommt es aufgrund von Lichteinwirkung zu Algenwachstum. Bei übermäßigem Wachstum von Algen spricht man von Eutrophierung, was die Gewässergüte beeinträchtigt (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 3 und 4).

In den 70er Jahren wurden die Grundlagen zur einfachen Stickstoffentfernung aus dem Abwasser in großtechnischen biologischen Kläranlagen erforscht. Seitdem werden in allen größeren Kläranlagen Stickstoff und Phosphor entfernt. In der Industrie hat man bereits früh erkannt, daß die Bekämpfung der Gewässerbelastung nicht „end of pipe“, sondern bei Vermeidung und Verwertung bei der Abwasserentstehung („front of pipe“) beginnen muß. Einsatz sauberer Rohstoffe, Vermeidung von Rohstoffverlusten und neue Produktionstechniken werden durch Abwasserreinigung ergänzt (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 2).

Aktuelle Forschungen beschäftigen sich unter anderem mit neuen Methoden der Wasserver- und -entsorgung mit dem Ziel durch Trennung der Wasserströme Stoffkreisläufe zu schließen und den Wasserbedarf zu reduzieren (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 2).

### 2.3. Derzeitige Situation bezüglich Abwasserableitung und -reinigung

Es gibt zwar Daten darüber, wie viele Österreicher an ein Kanalsystem angeschlossen sind, jedoch keine Zielwerte für die Erweiterung. Ein Anschlußgrad von 100 % ist aufgrund der Siedlungsstruktur (Streulagen, Einzelobjekte) unrealistisch, weil zu teuer. Deshalb können oder wollen viele Haushalte nicht angeschlossen werden (vgl. *Umweltbundesamt 2004*).

Gemäß Gewässerschutzbericht 1998 waren etwa 81,5 % der österreichischen Bevölkerung an öffentliche Kanalsysteme und biologische Kläranlagen angeschlossen. Das bedeutet jedoch nicht, daß Abwasser außerhalb kanalisierter Gebiete keiner Behandlung nach dem Stand der Technik unterliegt. Von den etwa 1,5 Millionen Österreichern, die nicht an eine zentrale Abwasserentsorgung angeschlossen sind, wurden 1998 ca. 520.000 über Hauskläranlagen, ca. 920.000 über Senkgruben und ca. 50.000 über unbekannte Anlagen entsorgt (vgl. *BMLFUW 2002*, S. 5). Laut Österreichischem Bericht 2001 zur kommunalen Abwasserrichtlinie der EU 91/271/EWG (vgl. *BMLFUW 2002*, S. 6) hat sich der Anschlußgrad bis 2001 auf rund 85 % erhöht. Die Schwerpunkte für weitere Anschlüsse liegen in Oberösterreich, Niederösterreich, der Steiermark und Kärnten. Je nach örtlicher Situation handelt es sich dabei um:

- Objekte, die im Bereich bereits bestehender oder geplanter Kanalnetze liegen, welche bereits mit einer bestehenden Kläranlage verbunden sind.
- Objekte, wo sich die Gemeinde für die Entsorgung zuständig erklärt hat, wo aber die Entscheidung über zentrale oder dezentrale Lösung noch offen ist.
- Objekte, wo die Eigentümer selbst für die Abwasserentsorgung verantwortlich sind.

Dabei ist zu beachten, daß nicht der Anschluß an ein öffentliches Kanalnetz, sondern die Qualität der Abwasserbehandlung vor der Ableitung in die Umwelt wichtig ist. Obwohl aus den bisher vorliegenden Daten nicht ersichtlich ist, für wie viele der 15 % nicht an ein öffentliches Kanalsystem angeschlossenen Österreicher eine Abwasserreinigung nach dem Stand der Technik erfolgt, ist nicht anzunehmen, daß für diesen Teil der Bevölkerung keinerlei Abwasserbehandlung durchgeführt wird. Objekte, die Abwasser in dichten Senkgruben sammeln und zur Gänze zu Kläranlagen nach dem

Stand der Technik bringen, sind zwar nicht im Anschlußgrad berücksichtigt, haben aber dennoch eine ausreichende Abwasserentsorgung (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 6).

Ein wesentlicher Mißstand sind die immer noch zahlreich vorhandenen undichten Senkgruben, wo überwiegend nur die abgesetzten Feststoffe abgeführt werden, während der flüssige Anteil des Abwassers das Grundwasser vergiftet. Deshalb gibt es Handlungsbedarf, um eine gute Grundwasserqualität sicherzustellen (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 6).

Um derartigen Mißständen vorzubeugen bzw. sie zu beseitigen gibt es eine Vielzahl von wasserrechtlichen Vorschriften.

### **2.3.1. Wasserrechtliche Vorschriften**

Bundesweite wasserwirtschaftliche Vorgaben sind:

- Gesetze: Wasserrechtsgesetz (WRG), Umweltförderungsgesetz
- Verordnungen: Emissionsverordnung, Nitratverordnung, Pestizidverordnung, Grundwasserschwellenwertverordnung, Immissionsverordnung
- Richtlinien: Förderungsrichtlinien für Siedlungswasserwirtschaft und betriebliche Abwassermaßnahmen (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 15).

Die Wasserrechtsgesetznovelle 1990 führte zu einer Neugestaltung der Rechtsordnung für die Wasserwirtschaft und zu einem verstärkten Gewässerschutz. Dadurch kam es unter anderem zu einer Emissionsregelung für Direkteinleiter und Indirekteinleiter, zur Sanierungspflicht für Altanlagen, Beobachtung des Wasserzustandes, Sanierung belasteter Gewässer, Neuregelung des Rechtes der wassergefährdenden Stoffe, zur Befristung neuer Wasserrechte, Einführung und strikte Beachtung des Begriffs „Stand der Technik“ und erweiterte Eingriffsmöglichkeiten der Wasserrechtsbehörden in bestehende Rechte (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 17). Der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft schreibt vor, welchem Stand der Technik die Abwasserreinigung der verschiedenen Abwasserherkunftsbereiche zu entsprechen hat und erläßt Emissionsverordnungen. Der „Stand der Technik“ ist im § 12a der Wasserrechtsgesetznovelle definiert: „Der Stand der Technik ist der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher technologi-

scher Verfahren, Einrichtungen, Bau- und Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen, Bau- oder Betriebsweisen heranzuziehen“ (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 18). Es gibt branchenspezifische Emissionsverordnungen für industrielle Abwässer, existiert für einen Abwasserherkunftsbereich keine solche Verordnung, so ist die allgemeine Abwasseremissionsverordnung maßgeblich (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 20 u. 22).

In der Wasserrahmenrichtlinie der EU (RL 2000/60/EG) wie auch im österreichischen Wasserrechtsgesetz (WGR) findet sich der sogenannte kombinierte Ansatz, das ist eine Kombination von Emissions- und Immissionsprinzip. Im WRG sind durch das Emissionsprinzip Grenzwerte nach dem Stand der Technik für Abwasserableitung und -reinigung festgelegt. Zusätzlich sind aufgrund des Immissionsprinzips Qualitätsstandards für die Gewässer definiert. Österreich hat sich bei Festlegung der Anforderungen am nationalen Reinhalteziel einer flächendeckenden Nährstoffentfernung bzw. eines flächendeckend hohen Schutzes der nationalen Gewässer orientiert (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 3).

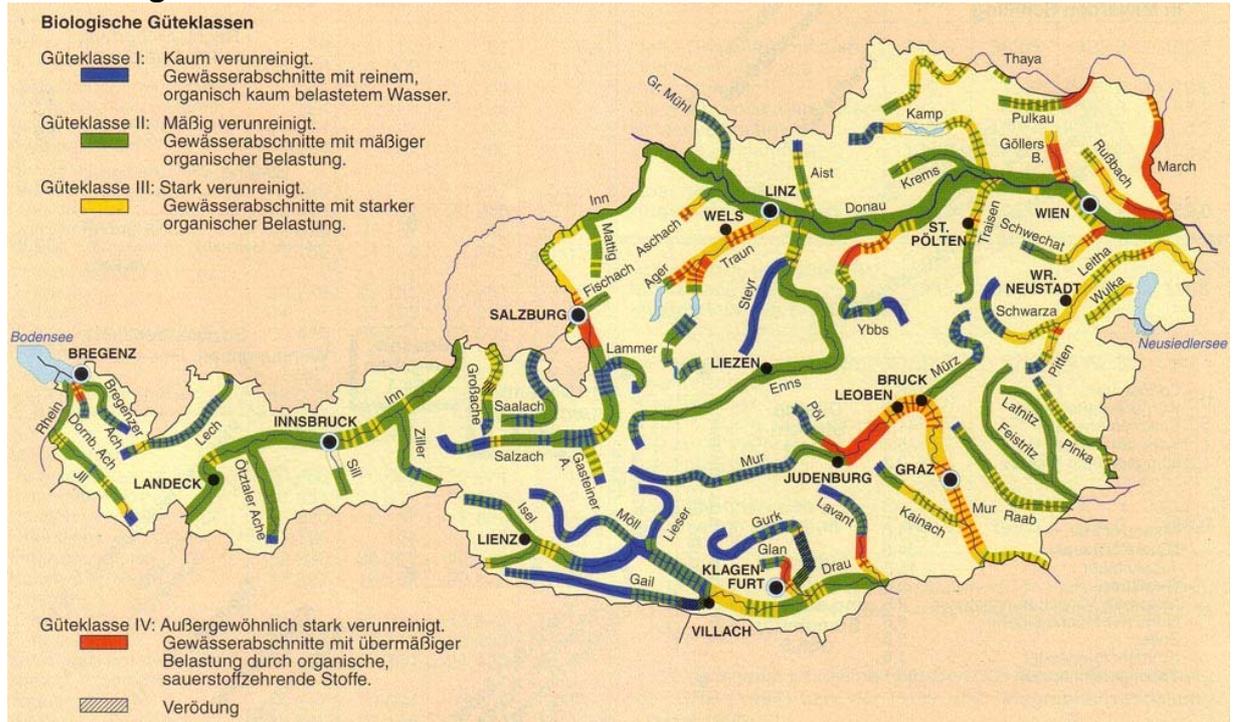
Wesentliche wasserwirtschaftliche Zielsetzungen (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 3) sind:

- die Reinhaltung der Gewässer einschließlich der Grundwasservorkommen,
- die Erreichung und Erhaltung eines ökologisch funktionsfähigen, natürlichen Gewässers,
- ein Verschlechterungsverbot (BGBl. II Nr. 398/2000, RL 2000/60/EG).

### **2.3.2. Entwicklung der Wassergüte**

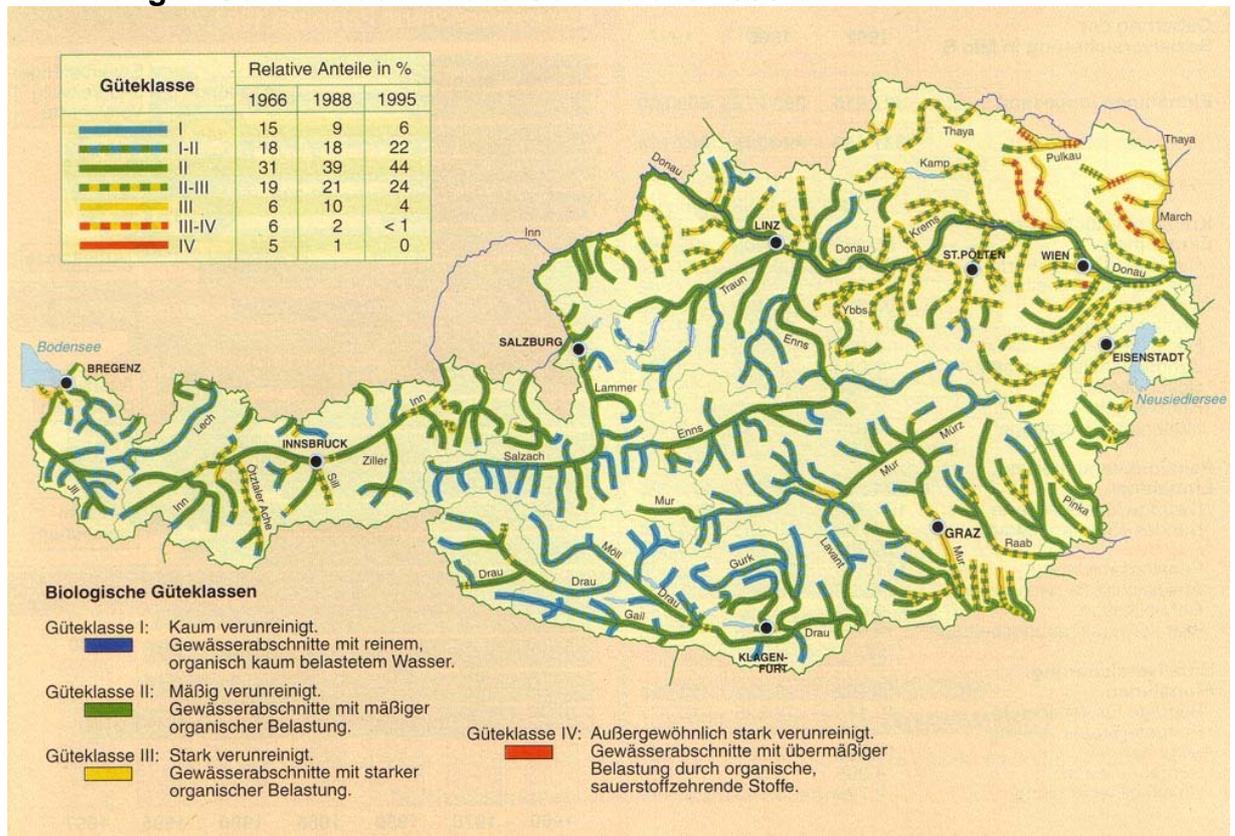
Beim Vergleich der Grafiken, die die Wassergüte der Flüsse Österreichs in den Jahren 1982 bzw. 1995 zeigen, sieht man, daß sich die Wasserqualität verbessert hat. Aus der Tabelle in der Grafik für 1995 ist ersichtlich, daß zwar nur noch 6 % der Flüsse Güteklasse I aufweisen, im Vergleich zu 15 % im Jahr 1966 bzw. 9 % im Jahr 1988, dafür konzentriert sich 1995 der Großteil der Flüsse um Güteklasse II, während nur noch ein sehr geringer Anteil die schlechteren Güteklassen betrifft. In den Jahren davor war noch ein wesentlich höherer Anteil der Flüsse in den Güteklassen III und IV zu finden. Somit zeigt sich, daß die Anstrengungen, die Wasserqualität zu verbessern bzw. zu erhalten, erfolgreich sind.

**Abbildung 1: Gütebild der Flüsse Österreichs 1982**



Quelle: Docekal 1999, S. 58

**Abbildung 2: Gütebild der Flüsse Österreichs 1995**



Quelle: Docekal 1999, S. 59

## **2.4. Abwasserentsorgung und -behandlung**

### **2.4.1. Kanalsystem**

Von den Hausanschlüssen wird das häusliche Abwasser über Nebenkanäle (NK) zum Hauptkanal (HK) geleitet. Der Durchmesser des Hauptkanals ist meist größer als der der Nebenkanäle, in den kleineren Ortschaften sind die Durchmesser jedoch gleich, da es nur geringen Abwasseranfall gibt. Alle Kanäle haben einen Mindestdurchmesser (DN 150), da dies für die Kamera-Befahrung im Rahmen der regelmäßigen Kanalkontrolle (Wartung) notwendig ist.

Ein Freispiegelkanal ist nur bei Ableitung bergab möglich. Sind Steigungen im unregelmäßigen Gelände zu überwinden, so ist eine Druckleitung bzw. Vakuumleitung notwendig. Bei einer Druckleitung kommen Pumpen zum Einsatz, während bei der Vakuumleitung sogenannte Vakuumstationen das Abwasser ansaugen.

Das in den Kanalsystemen gesammelte Abwasser setzt sich einerseits zusammen aus Abwasser von Haushalten, Industrie und Gewerbe, andererseits auch aus Fremdwasser wie Grund- oder Quellwasser, das bei Trockenwetter ins Kanalnetz gelangt, sowie Regenwasser aufgrund von Niederschlägen (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 3).

Die Abwässer werden daraufhin in Kläranlagen gereinigt und danach in Oberflächengewässer geleitet. Die Niederschläge, die aufgrund der zunehmenden Versiegelung des Bodens durch die weiterhin anhaltende Siedlungstätigkeit durch Kanäle abgeleitet werden, belasten die Kläranlagen und wirken sich negativ auf die Effizienz der Sonderbauwerke aus (vgl. *Schönböck* 1995, S. 246).

Der Abwasseranfall wird in Einwohnerwerten bzw. Einwohnergleichwerten gemessen. Der Einwohnerwert (EW) gibt die tägliche Abwasserbelastung pro Einwohner an. In diesem Zusammenhang können hydraulische Belastung, organische Belastung und Feststoffanteil als Meßgrößen herangezogen werden. Der Einwohnergleichwert (EGW) wird zum Vergleich der organischen Belastung von betrieblichem mit häuslichem Abwasser verwendet. Dazu wird das Abwasser auf die Einwohnerzahl umgelegt (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 13).

### **2.4.2. Mechanische Reinigung**

Das Abwasser wird aus der Kanalisation zunächst in die mechanische Reinigungsstufe der Kläranlage geleitet. Hier werden aus dem Abwasser zunächst grobe Bestandteile und Sand mit Hilfe von Grob- und/oder Feinrechen, Sieben und Sandfang entfernt. Im Öl- und Fettabscheider werden danach Öle und fettartige Stoffe vom Abwasser getrennt. Zuletzt wird das Abwasser im Absetzbecken vorgeklärt, wo sich ungelöste, absetzbare Schwebestoffe absetzen und als Schlamm in beheizte Faultürme gepumpt werden, wo dieser mit Hilfe von anaeroben Methanbakterien ausfällt. Da durch die mechanische Reinigung nur ungefähr ein Drittel der organischen Stoffe entfernt wird, dient sie in der Regel als Vorstufe zur biologischen Reinigung (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 9).

### **2.4.3. Biologische Reinigung**

Im ersten Schritt werden bei der biologischen Reinigung Bakterien mit den Schmutzstoffen des Abwassers gefüttert, wobei sie sich vermehren. In einem zweiten Schritt wird der Schlamm mit den Bakterien vom gereinigten Abwasser getrennt. Für diese Abbauvorgänge müssen die Bakterien mit Sauerstoff versorgt werden (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 10).

### **2.4.4. Pflanzenkläranlagen**

Neben der Anwendung für die Nachreinigung von biologisch gereinigtem Abwasser sind Pflanzenkläranlagen (PKA) auch als Hauptreinigungsstufen geeignet. Für beide Einsatzfälle von bepflanzten Bodenfiltern gibt es bereits umfangreiche Betriebsergebnisse, so daß sie als Stand der Technik angesehen werden können (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 29).

Pflanzenkläranlagen haben folgende Vorteile (vgl. *SWAMP* 2004b):

- einfache Bauweise,
- keine komplizierten elektrischen oder mechanischen Geräte,
- Nutzung örtlich verfügbarer Bauverfahren,
- leicht verfügbares Baumaterial,
- große Toleranz gegenüber Belastungsschwankungen,
- hohe Reinigungsleistung, hygienisch,

- gute Einbettung in die natürliche Umgebung,
- einfache Wartung,
- geringer Energieverbrauch und geringe Betriebskosten.

#### **2.4.5. Schlammverwertung und -entsorgung**

Das gereinigte Abwasser wird in der Regel in ein Oberflächengewässer eingeleitet, der bei der Klärung des Abwassers anfallende Klärschlamm muß jedoch ebenfalls behandelt, verwertet oder entsorgt werden. Das Wasserrechtsgesetz schreibt mit dem Reinhaltegebot für Gewässer die Notwendigkeit der Abwasserreinigung vor und damit auch die Klärschlamm Entsorgung. Langfristig ist es wichtig, die wertvollen Stoffe im Klärschlamm, wie Phosphor und Stickstoff, wieder zurück in die Landwirtschaft zu bringen, was jedoch aufgrund der immer mehr enthaltenen und für den Boden gefährlichen Inhaltsstoffe schwierig ist. Je geringer die Schadstoffbelastung des Abwassers ist, desto besser ist die Qualität des Klärschlammes. Rechtlich wird Klärschlamm als Abfall behandelt. Übersteigt die Verwendung von Dünger auf landwirtschaftlichen Nutzflächen eine bestimmte Grenze, so ist dafür laut Wasserrechtsgesetz eine wasserrechtliche Bewilligung notwendig, wobei auch ausdrücklich Klärschlamm als Dünger zu verstehen ist (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 11 u. 68 f.).

Laut Düngemittelgesetz darf in Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsstoffen und Pflanzenhilfsmitteln kein Klärschlamm enthalten sein, jedoch darf nasser oder entwässerter Schlamm im Rahmen der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung trotzdem auf Feldern ausgebracht werden (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 70 f.).

Die Akzeptanz von landwirtschaftlicher Klärschlammverwertung dürfte sinken, da dessen Behandlung durch Dritte eingeschränkt wurde und auch landwirtschaftliche Förderungen dessen Verwendung ausschließen (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 71).

In den Bundesländern Burgenland, Niederösterreich, Oberösterreich, Steiermark und Vorarlberg gibt es Bodenschutz- oder Klärschlammgesetze und Verordnungen, in Tirol und Salzburg Richtlinien, in Kärnten wird das ÖWWV-Regelblatt 17 angewendet

und für Wien gibt es keine Regelungen, da der gesamte Klärschlamm verbrannt wird (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 72).

Deponierung mit einem Anteil von 35 % und Verbrennung mit 34 % waren 1991 in Österreich die wichtigsten Entsorgungswege. Mit 18 % hatte die landwirtschaftliche Verwertung eine untergeordnete Bedeutung (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 75 f.).

Die Ablagerung des Schlammes in Deponien ist ein wichtiger Entsorgungsweg. Allerdings gibt es einerseits Schwierigkeiten, neue Standorte für Deponien zu finden, und andererseits werden die Anforderungen an den Reinigungsgrad des Schlammes immer höher, so daß das Volumen des Schlammes möglichst gering gehalten werden muß (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 11 u. 68 f.).

Das Abfallwirtschaftsgesetz 1990 zielt mit § 1 Abs. 1 darauf ab schädliche Einwirkungen auf die Umwelt gering zu halten, Ressourcen zu schonen, das Deponievolumen gering zu halten und nach dem Vorsorgeprinzip nachfolgende Generationen durch Abfälle nicht zu gefährden. Daraus folgen die in § 1 Abs. 2 AWG genannten Grundsätze der Abfallvermeidung, Abfallverwertung und Abfallentsorgung. Wichtig ist vor allem auch die Reihenfolge, es soll zunächst möglichst vermieden werden überhaupt Abfälle zu produzieren, vor einer Abfallentsorgung muß der Abfall verwertet werden, so die Mehrkosten nicht unverhältnismäßig sind (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 69).

Zur Schlammbehandlung gibt es die Möglichkeiten den Schlamm zu stabilisieren, einzudicken und zu entwässern oder ihn zu entseuchen. Bei der Stabilisierung wird der Schlamm in einen Zustand gebracht, in dem er nicht mehr anfault und die Umwelt nicht mehr belasten kann. Bei der Eindickung und Entwässerung wird der Wassergehalt reduziert, wodurch das Volumen kleiner wird und man ein breiiges bis streufähiges Produkt erhält. Bei landwirtschaftlicher Verwertung ist die Entseuchung von Bedeutung. Dazu werden im Schlamm enthaltene Krankheitserreger durch thermische oder chemische Verfahren abgetötet (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 12).

Da die Eigenschaften und Inhaltsstoffe des Klärschlammes stark von den Abwasserleitungen abhängen, ist es wichtig, daß Betriebe ihre Abwässer schon an Ort und

Stelle behandeln, bevor sie die Abwässer in das Kanalnetz einleiten (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 13).

Obwohl es große Schwankungen der Kosten je nach Kläranlage und Region gibt, ist die landwirtschaftliche Verwertung von Naßschlamm am billigsten, dann folgt Kompostierung und Vererdung, Verbrennung inklusive Restdeponierung, während Deponierung inklusive Entwässerung am teuersten ist (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 77).

Da die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung aufgrund der Schadstoffe nur eingeschränkt möglich ist und auch die Deponierung von entwässertem Klärschlamm nur als Übergangslösung angesehen werden kann, ist es langfristig das Ziel der Gesetzgebung, nur den Schlamm, der nicht in den Stoffkreislauf rückgeführt werden kann, zu verbrennen und abzulagern. Die entstehende thermische Energie soll genutzt und die Rückstände dem Grundwasserschutz entsprechend endgelagert werden, was jedoch zusätzliche Kapazitäten an Verbrennungsanlagen erfordert. Die aktuellste Deponieverordnung schreibt einen Kohlenstoffgehalt von unter 5 % vor, der im Schlamm jedoch auf jeden Fall höher ist. Somit steht die Möglichkeit der Deponierung nicht mehr zur Verfügung, es bleibt nur noch die Verbrennung oder Verbringung in der Landwirtschaft (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 78).

## **2.5. Kosten der Abwasserentsorgung und -behandlung**

### **2.5.1. Planung der Abwasserentsorgungssysteme**

Wirtschaftlichkeit, geringe Umweltbelastungen, Nachhaltigkeit, sowie minimaler Betriebs- und Wartungsaufwand bei geforderter Qualität sind wichtige Kriterien bei Planung, Bau und Betrieb von Abwasserentsorgungssystemen. Deshalb müssen die Auszahlungen für alle Teilprozesse kostenübersichtlich gegliedert und die vielen Einflußfaktoren berücksichtigt werden (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 18).

In der Planungsphase eines Projektes hat der Planer die Möglichkeit, die Kosten entscheidend zu beeinflussen. Fehler und falsche Planungskonzepte können während und nach der Ausführung nicht mehr ausgeglichen werden, weshalb einer guten Planung große Bedeutung zukommt. Während der Planung werden Erfahrungswerte oder allgemein zugängliche Kostenkennwerte verwendet. Etwaige Erschwernisse,

die von durchschnittlichen Kostendaten abweichen, müssen dabei berücksichtigt werden (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 19).

### **2.5.2. Kosten der Abwasserableitung**

Die Kanalisation an sich macht den größten Anteil an den Investitionen für die Abwasserentsorgung aus, auf anzuschließende Einwohner bezogen rund 80 %. Die Höhe der Investitionen ist daher vor allem von der Ableitung abhängig, mögliche Kostensenkungen hängen stark von der Siedlungsstruktur des zu entsorgenden Gebietes ab. Daraus ergibt sich auch, daß vor allem in der Planungsphase eines Abwasserentsorgungsprojekts an der Kostenschraube gedreht werden kann. Auch die Art der Erstellung von Bebauungs- und Flächenwidmungsplänen hat großen Einfluß auf die später entstehenden Kosten der Abwasserentsorgung (vgl. *Schönbäck* 1995, S. 67).

### **2.5.3. Kosten der Abwasserreinigungsanlagen**

Die Dimensionierung der Abwasserreinigungsanlagen ist abhängig von der Abwassermenge, dem Anfall von Abwasserinhaltsstoffen und den Anforderungen an den Ablauf der Reinigung. Durch verschiedene gesetzliche Vorschriften sind die Anforderungen an die Reinigung stark gestiegen, insbesondere ist biologische Abwasserreinigung mit Kohlenstoff- und Phosphorentfernung seit 1990 zwingend vorgeschrieben (vgl. *Schönbäck* 1995, S. 68).

Die Betriebskosten sind von Anlage zu Anlage sehr unterschiedlich und müssen im Einzelfall für zukünftige Investitionsvorhaben geschätzt werden. Obwohl die Betriebskosten von kleineren Anlagen pro Einwohner im Durchschnitt höher sind als von größeren, kann es durchaus Sinn machen, kleinere dezentrale Wiederaufbereitungsanlagen zu bauen, da ja das Leitungssystem einen Großteil der Kosten ausmacht (vgl. *Schönbäck* 1995, S. 72 f. u. 86).

Schon wegen der Höhe der Investitionen ist auf eine gute Bauausführung und damit auch lange Nutzungsdauer zu achten, um die vorgegebenen Ziele zu erreichen (vgl. *Schönbäck* 1995, S. 91).

#### **2.5.4. Finanzierung der Abwasserentsorgung**

Die Finanzierung der Errichtung und Erhaltung von Anlagen zur Abwasserentsorgung erfolgt durch eigene Einnahmen der Gemeinden, insbesondere aus Anschluß- und Benutzungsgebühren. Dazu gibt es Zuschüsse des Bundes, des jeweiligen Landes, Darlehen des Umwelt- und Wasserwirtschaftsfonds für Abwasserentsorgung, Darlehen des Landes und sonstige Darlehen. Die Förderung hat jedoch keinen Einfluß auf die Entscheidung zwischen zwei Investitionsprojekten, da diese prozentuell von der Investitionssumme erfolgt. Weiters sind jeweils Teile des Aufkommens der Einkommensteuer, der Lohnsteuer, der Kapitalertragsteuer und der Umsatzsteuer für die Siedlungswasserwirtschaft zweckgebunden (vgl. *Schönböck* 1995, S. 126 f., 129 f. u. 151). Da die Benutzungsgebühren, Zuschüsse und sonstige Einnahmen der Gemeinden als Betreiber der Abwasserentsorgung gleich sind bzw. anteilmäßig gleich bleiben, egal welches Investitionsprojekt gewählt wird, können die Einnahmen beim Alternativenvergleich vernachlässigt werden. Es macht nur Sinn solche Einnahmen zu berücksichtigen, die nicht auf alle Investitionsprojekte gleichermaßen zutreffen. Rund die Hälfte der Gemeinden verwendet als Basis zur Berechnung der Benutzungsgebühr für die Abwasserentsorgung den aktuellen Wasserverbrauch des Haushaltes (vgl. *Schönböck* 1995, S. 174 u. 176 f.).

#### **2.5.5. Dimensionierung der Abwasserreinigungsanlagen**

Vom Standpunkt des Gewässerschutzes ist es prinzipiell vorteilhafter, wenige größere Kläranlagen für kommunales Abwasser zu verwenden, da die gesetzlich geforderte Reinigungsleistung mit der Anlagengröße steigt. Größere Anlagen weisen auch eine stabilere Reinigungsleistung auf. Mit steigender Anlagengröße sinken die spezifischen Bau- und Betriebskosten. Überwachungskosten für die Reinigung sind primär von der Anzahl der Anlagen, weniger von ihrer Größe abhängig, was ebenfalls geringere spezifische Kosten bei größeren Anlagen nach sich zieht (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 28).

Wegen der häufig aufgelockerten Siedlungsstruktur im ländlichen Raum ist es wegen der erforderlichen langen Kanalstrecken oft nicht wirtschaftlich, die Abwässer aller Objekte einer Gemeinde oder Region zu einer zentralen Kläranlage zu leiten. Die

Alternative ist die Errichtung von vielen kleinen Kläranlagen (50 - 500 EW) oder Kleinkläranlagen ( $\leq 50$  EW), was das Kanalnetz reduzieren kann.

Probleme bei der Abwasserentsorgung über kleine Kläranlagen können auftreten, da für diese als Mindestanforderung keine Phosphorelimination vorgesehen ist. Das Phosphoraufkommen kann jedoch schon bei geringer Siedlungsdichte Gewässer stark belasten, so daß es auch bei kleinen Kläranlagen notwendig sein kann, den Phosphor aus dem Abwasser zu entfernen.

Bei diesen Kläranlagen ist die Überwachung und Wartung für eine gesicherte Reinigungsleistung besonders bedeutsam. Ein Verantwortlicher und ein Stellvertreter, die speziell eingeschult werden, können die Routineüberprüfung anhand der einfachen Bestimmung der Ammoniumkonzentration im Ablauf vornehmen, da die Nitrifikation das Reinigungsziel darstellt. Wartung und Instandhaltung der technischen Einrichtungen der Anlagen muß durch Fachpersonal durchgeführt werden. Dazu kann entweder ein Wartungsvertrag mit dem Hersteller abgeschlossen werden, oder ein regionaler Abwasserverband übernimmt diese Aufgaben. Durch den Einsatz von neuen Informationstechnologien könnte der Betriebszustand der Anlage fernüberwacht werden, was den Kostenvorteil von größeren Anlagen relativiert (vgl. *BMLFUW 2002*, S. 28 f.).

#### **2.5.6. Die Besonderheiten des ländlichen Raums**

Ländliche Gebiete weisen dünne Besiedlung und starke kurzfristige Schwankungen in der Quantität und Qualität des Abwassers auf, so daß sie heute in abwassertechnischer Hinsicht die größten Probleme darstellen. Hohe spezifische Kosten für eine den gesetzlichen Regelungen entsprechende Abwasserbehandlung haben zu einer weiten Palette an Lösungsmöglichkeiten geführt, die von zentralen bis zu dezentralen, von konventionellen bis zu alternativen Systemen reichen (vgl. *BMLFUW 2002*, S. 7).

Grundsätzlich gibt es folgende Möglichkeiten:

- Ableitung des Abwassers über Kanalsysteme und Reinigung in Kläranlagen nach dem Stand der Technik, oder

- Sammlung des Abwassers in flüssigkeitsdichten Gruben und Transport zu einer Kläranlage oder Rückführung in den natürlichen Kreislauf, zB durch Aufbringung des Senkgrubeninhalts auf landwirtschaftlich genutzte Flächen.

Der zunehmenden Zersiedelung im ländlichen Raum, die die Abwasserentsorgung schwieriger macht, kann nur durch die Raumordnungsgesetze der Länder und die Flächenwidmungspläne der Gemeinde Einhalt geboten werden. Um die Situation zu verbessern, muß darauf gedrängt werden, Flächenwidmungspläne mit mehr Rücksicht auf die Wasserver- und -entsorgung zu entwickeln (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 7).

### **2.5.7. Dichte Senkgruben**

In bestimmten Fällen, wie Einzellagen oder Ferienhäuser, kann eine Sammlung der Abwässer in dichten Senkgruben sinnvoll sein, einerseits wegen der fehlenden Zuverlässigkeit einer biologischen Reinigung bei kleinen Abwasserreinigungsanlagen aufgrund stark schwankender Belastungsverhältnisse und andererseits aus Kostengründen. Für normale Haushalte führt diese Lösung jedoch zu hohen Kosten, weshalb Besitzer solcher Senkgruben häufig von sich aus den Anschluß an ein öffentliches Kanalnetz oder sogar die Errichtung einer eigenen Abwasserreinigungsanlage anstreben. Generell stellt eine ordnungsgemäße, auf die Einschränkungen des Wasserrechtsgesetzes abgestimmte Ausbringung von Senkgrubeninhalten in der Landwirtschaft eine akzeptable Lösung dar (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 31).

### **2.5.8. „Leistungsschwache“ Oberflächengewässer**

Beim „kombinierten Ansatz“ richtet sich das Reinigungserfordernis auch nach den Vorflutverhältnissen. Bei einer schlechten Verdünnung des gereinigten Abwassers durch das Flußwasser (schwacher Vorfluter) kann eine bessere Reinigungsleistung der Kläranlage notwendig sein als bei einem wasserreichen Fließgewässer. Die Methodik der Berechnung der zulässigen Belastung eines Gewässers durch Abwasser ist umstritten, allgemeine Praxis ist es, „Emissionswerte“ vorzuschreiben, die im Ablauf der Kläranlage einzuhalten sind. Einige Bundesländer richten sich nach der Allgemeinen Immissionsverordnung für Fließgewässer. Solche Immissionsberechnungen führen zum Teil zu sehr niedrigen Emissionsgrenzwerten, die mit finanziell ver-

treibaren Reinigungsverfahren möglicherweise nicht einzuhalten sind (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 4).

Für Kläranlagen mit leistungsschwachen Vorflutern wird meist das Immissionsprinzip angewendet, was zu hohen Zusatzkosten für die Reinigung führen kann. Vor allem, wenn dieser schwache Vorfluter noch dazu weit von der Ansiedlung entfernt ist, entstehen im Vergleich zu Fällen, in denen die Siedlung direkt an einem leistungsstarken Vorfluter liegt und deshalb das Emissionsprinzip gilt, erhebliche zusätzliche Kosten (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 5).

## **2.6. Alternative, nachhaltige Abwasserkonzepte**

Unter nachhaltiger Wasserwirtschaft versteht man eine Ausrichtung aller Maßnahmen an ökologischen, ökonomischen und sozialen Kriterien, wobei die Wasserwirtschaft als Teil des gesamtwirtschaftlichen Stoffkreislaufes angesehen wird, mit dem Ziel einer nachhaltigen Nutzbarkeit der natürlichen Ressourcen, in diesem Fall der Wasserressourcen. Diese Maßnahmen sind nicht nur auf die Wasserwirtschaft beschränkt, sondern müssen auch in anderen Bereichen durchschlagen, zB in der Einschränkung von Verwendung von Schwermetallen in der Industrie oder in verringerter Verwendung von Kunstdüngern in der Landwirtschaft, die das Grundwasser belasten. Somit müssen im gesamten Produktions- und Konsumprozeß umweltbelastende Aktivitäten beschränkt oder verändert werden (vgl. *Schönbäck* 1995, S. 246).

Herkömmliche Abwasserentsorgungskonzepte sehen vor, das Abwasseraufkommen zu einer zentralen Abwasserreinigungsanlage zu leiten. Danach wird das gereinigte Abwasser im Normalfall in einen Fluß eingeleitet. Die dem Abwasser entzogenen Schadstoffe werden deponiert oder verbrannt. Von einem nachhaltigen Stoffkreislauf kann also keine Rede sein. In einem Online-Beitrag zum Thema „Nachhaltige Abwasserentsorgung“ wird *Gary Gardner*, Forscher am *Worldwatch Institute*, zitiert: „Der Grundsatz für Management organischer Stoffe ist folgender: In einer vollständig nachhaltigen Welt müssen alle organischen Stoffe in einem Kreislauf fließen“ (vgl. *Orlando* 2000a).

Eine derartige „nachhaltige Entwicklung“ wird im sogenannten „Brundtland-Bericht“ gefordert, der 1987 den Vereinten Nationen vorgelegt wurde (vgl. *Eiswirth* 2000). Analog zu der dort verwendeten Formulierung beschreibt *Karl-Ulrich Rudolph* eine Wasserwirtschaft dann als nachhaltig, „wenn die Ressource Wasser nur soweit genutzt wird, daß für künftige Generationen die gleiche Quantität und Qualität der Gewässer erhalten bleibt“ (*Rudolph* 1996a).

Weltweit betrachtet folgen die derzeit üblichen Methoden der Abwasserentsorgung diesem Grundsatz nicht, da aber die Qualität des Erdbodens abnimmt und die Bevölkerungszahlen zunehmen, könnte es gezwungenermaßen notwendig werden, diesem Grundsatz in der Zukunft zu folgen. Auch Mangel an sauberem Wasser, geringes Kapital für Abwasserentsorgungsprojekte und Bedrohung der öffentlichen Gesundheit stellen Gründe dar, die Weichen in Zukunft vermehrt in Richtung Nachhaltigkeit zu stellen. Kleine Projekte haben bereits bewiesen, daß dieser Ansatz nicht nur umweltpolitisch verantwortungsbewußt und funktionell nachhaltig, sondern auch wirtschaftlich zweckmäßig ist. Das liegt daran, daß derartige Projekte mit möglichst geringem Energie- und Ressourcenaufwand das Ziel verfolgen, möglichst viel an wertvollen Stoffen zu verwerten, zB in der Landwirtschaft (vgl. *Orlando* 2000b).

Der Grund, weshalb immer noch zentralisierte und kapitalintensive Abwasserentsorgungssysteme bevorzugt werden, liegt am großen Einfluß von Bauunternehmen, Industrie und Finanzinstitutionen auf den öffentlichen Sektor (vgl. *Orlando* 2000a). Ein weiterer Grund für Anlagen, die nicht zukunftsorientiert ausgerichtet sind, sind einerseits Abwassergebühren, die aus volkswirtschaftlicher Sicht ökonomisch falsche Steuersignale setzen, und andererseits Förderungen verschiedener Institutionen, die für sich genommen zwar sinnvoll oder zumindest erklärbar sind, insgesamt gesehen jedoch wechselseitig kontraproduktiv (vgl. *Rudolph* 1996b).

### **2.6.1. Alternative Konzepte mit Stofftrennung**

Für alternative Konzepte liegt noch wenig großtechnische Langzeiterfahrung vor, jedoch ist die Verlegung von getrennten Leitungen für die Teilströme nicht wesentlich teurer, da die Erdarbeiten bis zu 70 % der gesamten Leitungsbaukosten betragen können (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 21).

Die Abwasser-Teilströme werden nach ihren Inhaltsstoffen unterschieden (siehe Abbildung 3):

**Abbildung 3: Abwasser-Teilströme**

<b>Teilstrom</b>	<b>Beschreibung</b>
Schwarzwasser	Sanitärabwasser der Toiletten und Urinale (Fäkalien mit Spülwasser)
Gelbwasser	Urin aus Urinseparationstoiletten und Urinalen, mit oder ohne Spülwasser
Braunwasser	Schwarzwasser ohne Urin bzw. Gelbwasser
Grauwasser	häusliches Abwasser aus Küche, Bad, Dusche, Waschmaschine usw. (ohne Fäkalien und Urin)

Quelle: In Anlehnung an *BMLFUW* 2002, S. 32

Fast alle Nährstoffe sind im Schwarzwasser vorhanden, während Grauwasser nur wenig an Nährstoffen beinhaltet. Die gelösten Nährstoffe sind fast ausschließlich im Urin, die gebundenen hauptsächlich im festen Anteil der Fäkalien (Braunwasser) zu finden. Nach der jeweiligen Stoffzusammensetzung im separat erfaßten Teilstrom ergeben sich entsprechende Entsorgungskonzepte (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 32).

#### **2.6.1.1. Getrennte Behandlung von Grau- und Schwarzwasser**

Für eine kostengünstige Abwasserentsorgung, vor allem bei Neubauten, ist die getrennte Sammlung und Behandlung der Toilettenabwässer und des Grauwassers denkbar. Da Grauwasser kaum Stickstoff bzw. Ammonium enthält und auch kaum bakteriell belastet ist, ist eine einfache biologische Reinigung möglich. Dazu können fast alle technischen oder naturnahen Verfahren verwendet werden, wobei die Größe der jeweiligen Anlage im Vergleich zur Behandlung ohne Trennung deutlich reduziert werden kann. Grauwasser ist nach der Reinigung zB zur Gartenbewässerung geeignet (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 32).

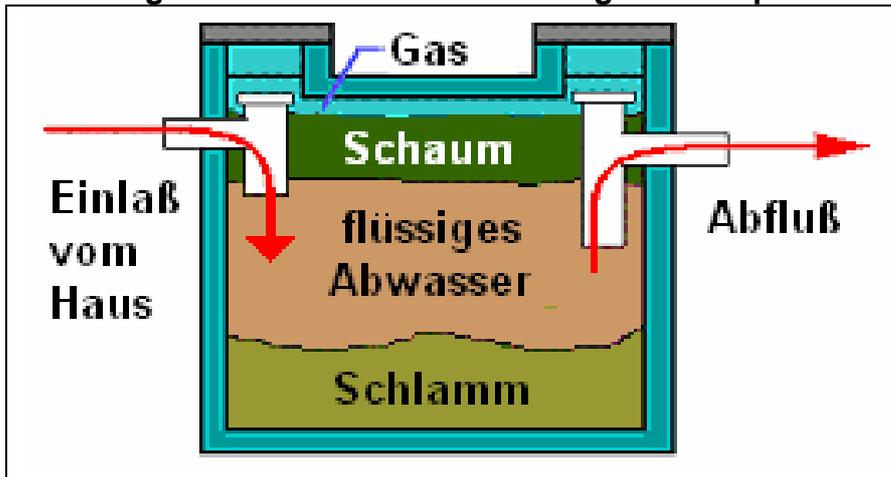
Durch anaerobe (ohne Sauerstoff) Behandlung in einer Biogasanlage oder einer aeroben (mit Sauerstoff) Behandlung (Stabilisierung oder Kompostierung) können die im Schwarz- und Braunwasser enthaltenen Stoffe genutzt werden, zB als Dünger. Wenn die Bewohner eingeschult werden und den Betrieb der notwendigen Anlagen selbst sicherstellen, sind sehr geringe Betriebskosten möglich. Dieser Kostenvorteil

und drohende strafrechtliche Konsequenzen bei unzureichender Funktion können, unterstützt durch Beratung und gelegentliche Kontrollen, eine Motivation zur Sicherstellung eines guten Betriebs sein. Für Anlagenteile außerhalb des Hauses ist Fremdwartung vorzuziehen (vgl. *BMLFUW 2002*, S. 32).

### 2.6.1.2. Septic Tanks

Septic Tanks (siehe Abbildung 4) sind Teile eines Abwasserentsorgungssystems um feste Bestandteile aus dem Abwasser zu entfernen, teilweise biologisch abzubauen und zu speichern. Biologische und chemische Zusätze sind nicht notwendig. Die Septic Tanks müssen je nach Größe und Abwasseraufkommen in Abständen von 1 bis 5 Jahren überprüft und entleert werden (vgl. *Friedman 2003*).

**Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Septic Tank**



Quelle: In Anlehnung an *Friedman 2003*

Die Feststoffe aus den Speicherbehältern, die normalerweise ein Volumen von 3.800 bis 5.700 Liter aufweisen, können zB in einer Kompostierungsanlage behandelt werden.

### 2.6.1.3. Trennung von Gelbwasser (Urin-Separation)

Urin-separierende Toiletten, die in Schweden seit einigen Jahren erfolgreich verwendet werden, benötigen für die Urinspülung nur etwa 0,2 Liter Wasser. Die Weiterentwicklung geht zur wasserfreien Sammlung, die für geringe Speicher- und Behandlungsvolumina wichtig ist. Die Spülmenge für das Braunwasser kann auf die notwendige Menge eingestellt werden, woraus sich im Tagesmittel keine besonders starke

Verdünnung ergibt, da die meisten Spülvorgänge dem Urinieren dienen. Männer müssen sich allerdings setzen, damit eine Sammlung des Urins möglich ist (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 33).

Mit dem Aquatron-Hybridtoilettensystem der schwedischen Firma Aquatron International AB (vgl. *Berger Biotechnik* 2002) können bereits in den Kellergeschoßen der Gebäude die Feststoffe (Fäkalien und Toilettenpapier) vom flüssigen Abwasser (Urin und Spülwasser) getrennt werden. Dadurch werden die Kompostierung der Feststoffe und eine Entlastung des restlichen Abwassers ermöglicht.

Der Wasserabscheider arbeitet nach dem Zentrifugal- und Schwerkraftprinzip, die Feststoffe fallen senkrecht in eine Komposttoilettenanlage, wo sie von Bakterien und Kompostorganismen aufgeschlossen und kompostiert werden. Im Gegensatz zu Trockentoiletten mit senkrechtem Fallrohr, ermöglicht die Verwendung von wassersparenden Wasserspültoiletten eine vom Standort des Kompostbehälters unabhängige Planung des WCs. Allerdings muß zusätzliche Höhe eingeplant werden, da der Wasserabscheider auf dem Kompostbehälter installiert wird. Bei nicht unterkellerten Häusern kann das Abwasser zu einem externen Kompostbehälter mit Wasserabscheider geführt werden. Der jeweilige Kapazitätsbedarf kann durch unterschiedliche Behältergrößen angepaßt werden. So ist das System „Aquatron 90“ für Wochenendhäuser geeignet, „Aquatron 4x200“ für normale Haushalte mit 4 bis 6 Bewohnern. Das Abwasser wird entkeimt, bevor es durch ein Schlauchsystem zu einer Kläranlage geleitet wird. Der Behälterinhalt kann ev. als Dünger genutzt werden, allerdings ist eine zufriedenstellende Verrottung nur bei einer Mindesttemperatur von 15°C gewährleistet. Aufgrund der geringen Mengen bzw. des guten Rotteprozesses ist eine Entleerung höchstens einmal im Jahr erforderlich.

Die getrennte Sammlung von Urin hat für den ländlichen Raum die Vorteile, daß einerseits der Urin direkt als Dünger verwendet werden kann, da Urin, außer im Krankheitsfall, eine sterile Flüssigkeit ist, und andererseits dadurch die Kläranlagen entlastet werden, weil weniger Stickstoff aus dem Abwasser entfernt werden muß. Je nach Behandlungskonzept können die Teilströme Gelb- und Braunwasser zu Schwarzwasser zusammengemischt werden, oder jeweils eine separate Behandlung durchgeführt werden. Eine besonders interessante Möglichkeit wäre es, das Braun-

wasser und den Bioabfall gemeinsam zu behandeln und das dabei nur störende Gelbwasser gesondert zu sammeln. In einer weiteren Variante kann das Braunwasser nach einer Feststoffabtrennung in einem Rottebehälter vorkompostiert werden und anschließend mit Bioabfall zu Gartenkompost weiterkompostiert werden. Das Filtrat aus dem Rottebehälter wird dann zusammen mit dem Grauwasser bei der Vorklärung behandelt (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 33).

Es ist jedoch zu beachten, daß der Verkauf und die landwirtschaftliche Verwendung von Urin derzeit aufgrund fehlender gesetzlicher Bestimmung noch nicht möglich sind.

#### **2.6.1.4. Landwirtschaftliche Ausbringung von häuslichem Abwasser**

Häusliches Abwasser kann in wasserrechtlich geschützten Gebieten nicht ausgebracht werden. Es ist jedoch denkbar, häusliches Abwasser dort landwirtschaftlich zu nutzen, wenn dies in Hinblick auf die Düngewirkung bedarfsgerecht und unter Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen erfolgt, die auch für die Ausbringung von Klärschlamm vorgeschrieben sind (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 33).

Vergleicht man die Aufbringung von Klärschlamm und häuslichem Abwasser in der Landwirtschaft, so zeigt sich, daß die Schwermetallfrachten im rohen Abwasser weit unter den Frachten liegen, die mittels Klärschlamm eingetragen werden. Allerdings sind auch die Nährstofffrachten für eine Düngung wesentlich geringer als im Klärschlamm. Das für eine Verwertung in der Landwirtschaft entscheidende Verhältnis zwischen Nährstoff zu Schwermetall ist für Stickstoff im Abwasser günstiger, für Phosphor ist es bei Klärschlamm aus Kläranlagen mit Phosphor-Entfernung besser. Das liegt daran, daß der Rückhalt im Klärschlamm für Phosphor höher ist als jener für Schwermetalle, für Stickstoff jedoch geringer. Vergleicht man eine Aufbringung zwischen dem gesamten Abwasser und dem Schwarzwasser, so ist das Schwarzwasser günstiger, da die Nährstoffe überwiegend in den Fäkalien enthalten sind. Beim Urin ist das Verhältnis von Nährstoffen zu Schwermetallen überhaupt am besten. Insgesamt ist die Nährstoffzufuhr über das Abwasser nahezu unbedeutend, während über Klärschlamm eine ausreichende Phosphor- und Stickstoffversorgung erreicht wird (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 34 f.).

## **2.6.2. Projekt zur Entwicklung neuer, nachhaltiger Sanitärkonzepte**

Um die knappe Ressource Wasser, das oft nur begrenzt bzw. in unbefriedigender Qualität zur Verfügung steht, möglichst schonend und nachhaltig nutzen zu können, bedarf es neuer Trink- und Abwasserkonzepte. In einem deutschen Fachmagazin (vgl. *Peter-Fröhlich et al.* 2004, S. 38-43) wird ein Projekt vorgestellt, das alternative Konzepte und Techniken erforscht. Ziel des Projekts ist die Entwicklung neuer, nachhaltiger Sanitärkonzepte, die sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zu konventionellen Abwassersystemen („end of pipe“-Systeme) aufweisen, die momentan in Industriestaaten fast ausschließlich verwendet werden. Im Rahmen dieses Projekts kommen die LAWA-Leitlinien (siehe Kapitel 3.7) zur Anwendung.

Im Rahmen des Projekts wurde in der ersten Phase eine Literaturrecherche und Patentrecherche durchgeführt sowie Informationen über ähnliche Projekte eingeholt. Bereits vorhandene Projekte in Deutschland, Dänemark und Schweden wurden beabsichtigt. Mit Hilfe der dynamischen Kostenvergleichsrechnung wurden daraufhin folgende drei Sanitärkonzepte für eine geplante Neubausiedlung im deutschen Bundesland Brandenburg nahe Berlin mit 672 bzw. 5000 Einwohnern miteinander verglichen:

### **Konventionelles Sanitärkonzept**

Herkömmliche Spülwassertoiletten mit Wasserspartaste, System mit nur einer Abwasserleitung, normale Schwerkraftableitung für das Wohngebiet, Abwasserpumpwerk zur Ableitung des Abwassers zum vorhandenen Abwassernetz, Abwassersystem betrieben von der örtlichen Gesellschaft.

### **Sanitärkonzept mit Trenntoiletten (Schwerkraft, Kompostierung der Fäkalien)**

Schwerkrafttrenntoiletten zur getrennten Erfassung von Urin und Fäkalien, Sammlung und Speicherung von Urin, Urintransport zu nahe gelegenen landwirtschaftlichen Betrieben und Nutzung des Urins in der Landwirtschaft als Dünger, Fäkalienableitung mittels Schwerkraft zur aeroben Behandlung in einem Komposter, Nutzung des Kompostes im Gartenbau im umliegenden Gebiet, Grauwasserableitung mittels

Schwerkraft, Grauwasserreinigung in einem bewachsenen Bodenfilter und Ableitung in den Vorfluter.

### **Sanitärkonzept mit Trenntoiletten (Vakuum, Faulung der Fäkalien)**

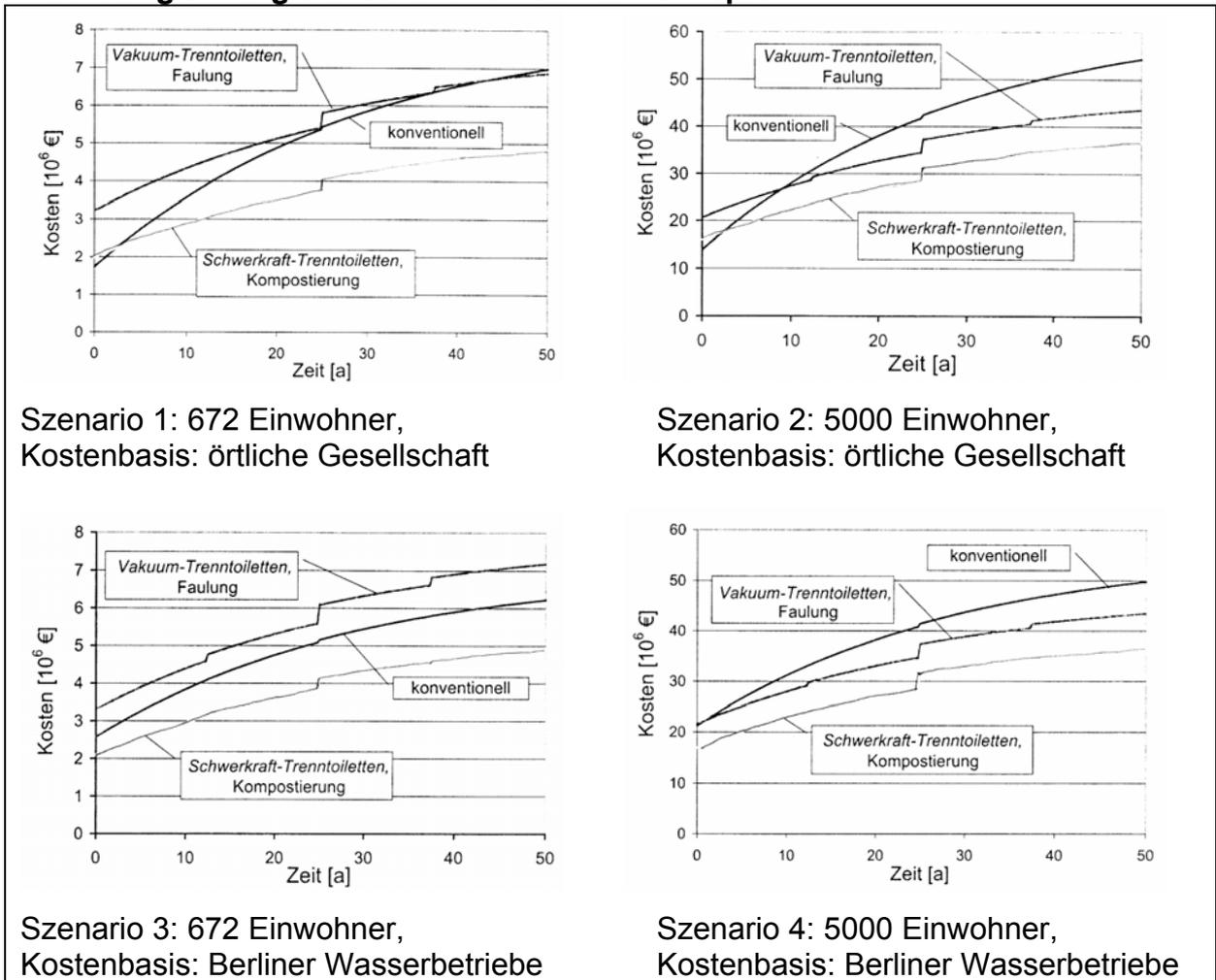
Vakuumtrenntoiletten, Ableitung des Urins mittels Schwerkraft und Speicherung, Nutzung des Urins wie oben, Fäkalienableitung mittels Vakuumsystem, Behandlung der Fäkalien zusammen mit zerkleinerten Bioabfällen in einer anaeroben Stufe, Nutzung des anfallenden Biogases für die Energieerzeugung in der Siedlung, Faulschlammtransport zu nahe gelegenen landwirtschaftlichen Betrieben und Nutzung als Dünger, Grauwasserableitung und -reinigung wie oben.

Konkret wurden im Projekt zwei Szenarien für 672 Einwohner und zwei für 5000 Einwohner betrachtet. In den Vergleich wurden Investitionen, Reinvestitionen und Betriebskosten miteinbezogen. Die Betriebskosten enthielten Kosten für Personal, Instandhaltung (prozentuell von den Investitionen), Wasser und Abwasser, Energie und Sonstiges. Die Projektlaufzeit beträgt 50 Jahre, die Nutzungsdauer und Reinvestition der einzelnen Anlagenkomponenten hängt von deren Lebensdauer ab. Der Zinssatz wurde mit 3,5 % pro Jahr angenommen, was innerhalb der von LAWA (siehe Kapitel 3.3.1) als realistisch angenommenen Bandbreite von 2 bis 5 % liegt.

Die Vorstudie ergab, daß in Westeuropa bereits 17 Projekte neuer Sanitärkonzepte bestehen und die Aktivitäten zu neuen Sanitärkonzepten weltweit zunehmen.

Die Trennung von Urin und Fäkalien mit neu entwickelten Trenntoiletten ist nicht nur durchführbar, sondern wird von den Benutzern auch akzeptiert. Nach der Trennung von Urin, Fäkalien und Grauwasser sind verschiedene Transport- und Sammelsysteme sowie Behandlungsverfahren möglich.

**Abbildung 5: Vergleichsszenarien Sanitärkonzepte**



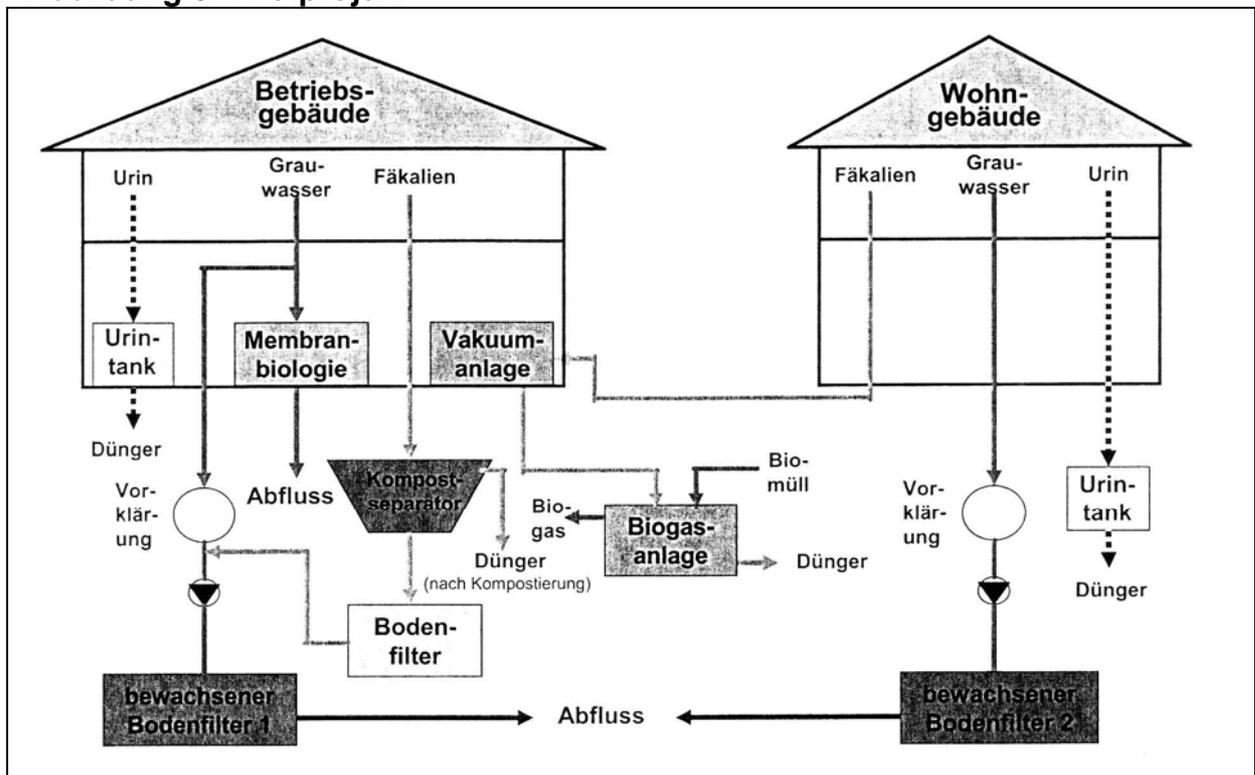
Quelle: Peter-Fröhlich et al. 2004, S. 41

Der Kostenvergleich von vier Szenarien zeigt, daß neue Sanitärkonzepte gegenüber konventionellen nicht nur ökologisch sondern auch wirtschaftlich vorteilhaft sein können. Ob es für die neuen Konzepte einen Kostenvorteil gibt bzw. wie hoch dieser ausfällt, ist allerdings von den konkreten Umständen abhängig, jedoch sind in den meisten Fällen Kostenvorteile zu erwarten. So ist das Sanitärkonzept mit Schwerkraft-Trenntoiletten und Kompostierung in zwei Szenarien bereits kurz nach der Inbetriebnahme vorteilhafter, in den zwei anderen sogar schon von Anfang an. Beim Sanitärkonzept mit Vakuum-Trenntoiletten und Faulung ist die Vorteilhaftigkeit nicht so eindeutig. In einem Szenario ist es nicht vorteilhafter als die konventionelle Variante, in einem zweiten beginnt es deutlich unvorteilhaft, gleicht sich jedoch gegen Ende der Nutzungsdauer an, im dritten Szenario ist es nach ca. neun Jahren vorteilhafter, und im vierten Szenario ist es bereits ab Projektbeginn vorteilhafter.

Grundsätzlich zeigt sich, daß die Kostenvorteile der neuen Sanitärkonzepte mit der Größe der Siedlung zunehmen, da im Gegensatz zu den Projekten für 672 Einwohner diejenigen für 5000 Einwohner einen eindeutigen Kostenvorteil für beide neuen Sanitärkonzepte aufzeigen.

Dieses Ergebnis war eine weitere Motivation, im Rahmen der beschriebenen Untersuchung in Phase zwei ein Pilotprojekt durchzuführen, bei dem Schwerkrafttrenntoiletten und Vakuumtrenntoiletten in Verbindung mit unterschiedlichen Behandlungsverfahren erprobt werden sollten. Dazu wurden die neuen Konzepte in einem Betriebsgebäude und einem Wohngebäude des Klärwerks Stahnsdorf, das zu den Berliner Wasserbetrieben gehört, wie in Abbildung 6 zu sehen, umgesetzt.

**Abbildung 6: Pilotprojekt**



Quelle: Peter-Fröhlich et al. 2004, S. 42

Für dieses Pilotprojekt wurden im Betriebsgebäude zehn Schwerkrafttrenntoiletten eingesetzt, weiters gibt es fünf wasserlose Urinale von verschiedenen Herstellern. Für das Wohngebäude mit 15 Wohnungen sind Vakuumsseparationstoiletten geplant, die sich noch im Entwicklungsstadium befinden. Urin, Grauwasser und Fäkalien werden jeweils separat behandelt.

Der Urin (Gelbwasser) wird abgeleitet und in Tanks gesammelt, mit dem Ziel, ihn als Dünger zu verwenden. Die Fäkalien (Braunwasser) werden in einem Kompostseparator (Filtersack) entwässert und kompostiert bzw. zusammen mit zerkleinerten Bioabfällen ausgefault. Kompost bzw. ausgefaulter Schlamm sollen grundsätzlich als Dünger verwendet werden. Das bei der Faulung entstehende Gas kann für Gasherde oder zur Stromerzeugung verwendet werden. Das Grauwasser wird nach einer Vorklärung in einem bewachsenen Bodenfilter gereinigt. Bei hohem Phosphatanteil im Grauwasser könnte eine Phosphatfällung notwendig werden, bevor das gereinigte Grauwasser zB zur Bewässerung genutzt werden kann.

Dieses Projekt zeigt, daß im Vorfeld der Untersuchung der Vorteilhaftigkeit von verschiedenen Abwasserentsorgungskonzepten durchaus die Erwartungshaltung eingenommen werden kann, daß ökologisch nachhaltige Abwasserentsorgungsprojekte unter bestimmten Voraussetzungen auch wirtschaftliche Vorteile bieten.

### 3. Finanzmathematische Theorie

#### 3.1. Definition „Investition“

Eine Investition ist im Allgemeinen jede betriebliche Verwendung von Kapital. Im engeren Sinn versteht man darunter die Anschaffung von Anlagevermögen. Dabei unterscheidet man zwischen produktionswirtschaftlichen und finanzwirtschaftlichen Investitionen. Bei einer produktionswirtschaftlichen Investition kann es sich entweder um eine

- Errichtungsinvestition bzw. Neuanschaffung handeln, oder um eine
- Ersatzinvestition und/oder
- Rationalisierungsinvestition und/oder
- Erweiterungsinvestition.

Wie die Verknüpfung mit „und/oder“ anzeigt, kann eine Investition eine von den vier Möglichkeiten darstellen, oder aber auch eine Kombination der drei letzteren. So kann eine Investition, die eine alte Maschine ersetzen soll auch eine Rationalisierungsinvestition sein, wenn die neue Maschine wesentlich weniger Betriebskosten verursacht (weil sie zB weniger wartungsintensiv ist), oder auch gleichzeitig eine Erweiterungsinvestition darstellen, wenn die neue Maschine eine höhere Kapazität hat als die alte.

Weitere Ziele von Investitionen können Verbesserung der Produktqualität, Neuentwicklungen, Arbeits- oder Umweltschutz, Verbesserung der Infrastruktur oder auch Prestige sein. Im Zusammenhang mit der Investitionsrechnung beschränkt sich der Begriff der Investition in der Regel auf die produktionswirtschaftliche Anlagenbeschaffung.

Bei Investitionsentscheidungen stehen folgende Wahlmöglichkeiten zur Verfügung:

- investieren oder nicht investieren,
- sofort investieren oder später investieren,
- Wahl zwischen verschiedenen Investitionsvorhaben,
- Wahl zwischen verschiedenen Investitionsprojekten bei gleichen Investitionsvorhaben (vgl. *Seicht* 1983, S. 15 u. 19).

Im Folgenden werden Rechenmodelle beschrieben, die Investitionsentscheidungen auf einer finanzmathematisch fundierten Basis ermöglichen.

### **3.2. Finanzwirtschaftliche Rechenmodelle**

*Walz / Gramlich* (vgl. 1997, S. 40) unterscheiden bei den Rechenmodellen zur Analyse der Vorteilhaftigkeit von Investitionen zunächst Totalmodelle und Partialmodelle.

In Totalmodellen wird die Wirkung der Durchführung einer Investition ohne Vornahme von Vereinfachungen ermittelt. Dabei wird ein vollständiger Finanzplan erstellt, in dem Ein- und Auszahlungen zu ganz bestimmten Zeitpunkten, meist taggenau, erfolgen und die verwendeten Zinssätze den jeweils prognostizierten Anlageerträgen bzw. Kosten entsprechen. Wegen der Komplexität und den Unsicherheiten in den Annahmen werden vollständige Finanzpläne zur Investitionsbewertung kaum verwendet (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 41 f.).

Partialmodelle erfassen einen Planungszeitraum, der kürzer als die Lebensdauer des Unternehmens ist und vereinfachen die Realität durch Pauschalannahmen. So werden einerseits nur eine begrenzte Anzahl von Alternativen miteinander verglichen und andererseits die Zahlungen nicht taggenau erfaßt, sondern auf eine Periode, üblicherweise ein Jahr, bezogen (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 42 f. u. 48). Zahlungen werden so behandelt, als ob sie am Periodenende anfallen würden, nur die Anschaffungsauszahlung wird am Beginn der ersten Periode ausgewiesen, die Verzinsung erfolgt nachschüssig (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 47 f.). Klassische Partialmodelle verwenden als Zielgrößen nicht die Zahlungsströme, sondern Ersatzzielkriterien wie Kapitalwert, Rendite oder Annuität. Innerhalb der klassischen Partialmodelle können dynamische und statische Verfahren der Investitionsrechnung unterschieden werden (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 45 f.).

Die statischen Rechenmodelle berücksichtigen nicht, zu welchem Zeitpunkt die Ein- bzw. Auszahlungen anfallen. Die Abweichung im Ergebnis von statischen Methoden im Vergleich zu den finanzmathematisch exakteren dynamischen Verfahren korreliert mit verwendetem Zinssatz und der Nutzungsdauer positiv (vgl. *Scheider* 1973, S. 31 nach *Swoboda* 1996, S. 29). Da vor allem bei Infrastrukturprojekten mit ihren langen

Nutzungsdauern die Mängel der statischen Methoden sehr schwerwiegend sind, scheidet deren Verwendung dafür von vornherein aus. Im Folgenden werden daher dynamische Vorgehensweisen und ihre Vorteile gegenüber statischen Verfahren näher betrachtet.

### **3.3. Dynamische Investitionsrechnung**

Basis einer jeden dynamischen Investitionsrechnung ist die Zahlungsreihe der Investition, die aus Ein- und Auszahlungen besteht. In der Literatur wird davon ausgegangen, daß es sich jeweils um Normalinvestitionen handelt. Bei einer Normalinvestition erfolgt zu Beginn eine Auszahlung, in den folgenden Perioden sind die Einzahlungen höher als die Auszahlungen. Diese Zahlungsströme werden mit einem bestimmten Zinssatz, dem Kalkulationszinssatz, zu einer einzigen Erfolgsgröße verdichtet, anhand der eine Entscheidung getroffen werden kann (vgl. *Grob* 2001, S. 53). Der Kalkulationszinssatz repräsentiert das Vergleichsobjekt, in dem angelegt würde, wenn nicht in das zu untersuchende Investitionsprojekt investiert wird. Der Kalkulationszinssatz stellt somit die subjektive Mindestverzinsungsanforderung des Investors an das Investitionsprojekt dar (vgl. *Däumler* 2000, S. 30). Wird eine Investition nicht durchgeführt, so ist anzunehmen, daß die eigenen liquiden Mittel statt dessen am Kapitalmarkt angelegt werden (vgl. *Grob* 2001, S. 53).

Die klassische Investitions- und Finanzierungstheorie geht von einem vollkommenen Kapitalmarkt ohne finanzielle Beschränkung aus. Für sämtliche Beteiligte gibt es nur einen gemeinsamen Markt, sie haben den gleichen Informationsstand, die gleiche Risikoeinstellung und gleiche Erwartungen. Sollzinsen und Habenzinsen sind identisch, d.h. sowohl für Ein- als auch für Auszahlungen wird der gleiche Kalkulationszinssatz angenommen (vgl. *Swoboda* 1996, S. 63 und *Grob* 2001, S. 54).

Der Begriff "vollkommener Kapitalmarkt" wird von *Walz / Gramlich* (vgl. 1997, S. 45 u. 159) auch als "vollkommener Restkapitalmarkt" präzisiert, da er nur für die Anlage des nicht mehr im Investitionsprojekt gebundenen Restkapitals relevant ist. Die vereinfachenden Prämissen des vollkommenen Restkapitalmarktes und des einheitlichen Kapitalzinssatzes ermöglichen die pauschale Berücksichtigung aller alternativen Investitions- aber auch Finanzierungsmöglichkeiten, die nicht explizit untersucht

werden sollen. Dadurch ist es nicht notwendig, jeder Investition ein konkretes Finanzierungsprojekt gegenüberzustellen (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 45 u. 49).

### **3.3.1. Kalkulationszinssatz**

Der Kalkulationszinssatz repräsentiert alle Alternativprojekte und besteht zunächst einmal aus einem risikolosen Zinssatz, der die absolute Untergrenze der geforderten Verzinsung eines Investitionsprojekts darstellt. Dieser Bestandteil des Kalkulationszinssatzes kann sich zB am Zinssatz von Anleihen erster Bonität orientieren. Dazu kommt laut *Swoboda* (vgl. 1996, S. 62) noch eine Risikoprämie, die das höhere Risiko berücksichtigen soll, das der Investor bei Anlage in den zu untersuchenden Investitionsprojekten eingeht. Je größer das Risiko der Investitionsprojekte, desto größer der Risikobestandteil des Kalkulationszinssatzes. Im Falle von Fremdfinanzierung muß laut *Swoboda* auch noch das Kapitalstrukturrisiko berücksichtigt werden. Der Anteil des Fremdkapitals in der Kapitalstruktur des Projekts beeinflusst das Risiko, daher steigt mit der Höhe des Fremdkapitalanteils auch der Kalkulationszinssatz (vgl. *Swoboda* 1996, S. 62 f.).

Es ist nicht zwingend erforderlich, die gesamte Berechnung mit demselben Kalkulationszinssatz durchzuführen. Es kann zB in jeder Periode ein anderer Zinssatz gewählt werden (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 54 f.). Aufgrund der Unsicherheiten in der Prognose des zukünftigen Zinssatzes macht dies jedoch kaum Sinn. Da viele Faktoren auf den Zinssatz einwirken, die sich noch dazu während der Laufzeit des Investitionsprojektes ständig ändern, ist es im Prinzip unmöglich, einen wirklich richtigen Kalkulationszinssatz für die zukünftige Investition zu wählen. Daher wird oft ein Mischzinssatz verwendet, der sämtliche mit der Investition zusammenhängende Zinssätze und Faktoren berücksichtigen soll.

Von der Höhe des gewählten Kalkulationszinssatzes hängt der Barwert einer Investition unmittelbar ab. Je höher der Kalkulationszinssatz, desto niedriger ist der Barwert und umgekehrt. Da sich der Kapitalwert als Differenz zwischen Kapitaleinsatz und Barwert der Überschüsse ergibt, hängt auch dieser direkt vom Kalkulationszinssatz ab (vgl. *Seicht* 2001, S. 86 f.).

Die Höhe der gewählten Kalkulationszinssätze (ohne Risikoaufschlag) in deutschen Unternehmen hat eine Bandbreite, die von 7 bis 12 Prozent reicht, wobei Werte von 8 und 10 Prozent am häufigsten genannt wurden. Meist richtet sich der Kalkulationszinssatz nach dem Fremdkapitalzinssatz, den zweithäufigsten Richtwert stellt die Eigenkapitalverzinsung dar, dann folgt der Zinsaufwand der tatsächlichen Finanzierung (vgl. *Däumler* 2000, S. 33).

In den LAWA-Leitlinien<sup>1</sup> (siehe Kapitel 3.7) wird explizit darauf hingewiesen, daß sich der Zinssatz für den dynamische Kostenvergleich von wasserwirtschaftlichen Infrastrukturmaßnahmen von anderen Anwendungsbereichen unterscheidet, und auch nicht mit den auf finanzmathematischen Grundlagen aufbauenden Rechnungsarten vergleichbar ist.

Bei der Wahl des Zinssatzes ist zwischen der gesamt- und betriebswirtschaftlichen Betrachtung zu unterscheiden. Während für die betriebswirtschaftliche die Kapitalmarktverhältnisse ausschlaggebend sind, ist die Wahl eines sinnvollen Zinssatzes zum gesamtwirtschaftlichen Vergleich von wasserwirtschaftlichen Infrastrukturmaßnahmen schwieriger. Der Zinssatz stellt aufgrund deren Langlebigkeit eine zukunftsbezogene Größe mit einem sehr fernen Planungshorizont dar, so daß weder statistische Auswertungen noch eine Berücksichtigung von kurzfristigen Gegebenheiten des Kapitalmarkts relevant sind.

In Deutschland haben Bund und Länder aufgrund der Erkenntnisse aus wirtschaftswissenschaftlichen Untersuchungen für den Zinssatz einen Standardwert festgelegt, der seit 1986 real 3 % p.a. beträgt. Die LAWA-Leitlinien empfehlen daher für die Kostenvergleichsrechnungen einen langfristigen Zinssatz von real 3 % p.a. Für Sensitivitätsanalysen sollte eine Bandbreite von 2 bis höchstens 5 % p.a. verwendet werden. In der Kostenvergleichsrechnung begünstigen niedrigere Zinssätze Alternativen mit hohen Anfangsinvestitionen, während höhere Werte solche mit höheren laufenden Auszahlungen bevorzugen. Da jeder Versuch die zukünftige Inflation zu berücksichtigen reine Spekulation darstellt, wird in den LAWA-Leitlinien empfohlen, keine

---

<sup>1</sup> Die LAWA-Leitlinien wurden von der deutschen Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) ausgearbeitet um die einheitliche Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen in der Wasserwirtschaft sicherzustellen (vgl. *LAWA* 1998, 1-1 u. Kapitel 3.7)

eigenen Versuche zur Ableitung eines realen Kalkulationszinssatzes vorzunehmen, sondern sich an die angegebenen Werte zu halten (vgl. LAWA 1998, 4-4).

Ein repräsentativer Querschnitt von österreichischen Gemeinden wurde im Jahr 1994 über Kosten und Finanzierung ihrer Wasserver- und Abwasserentsorgung befragt. Durchschnittlich liegt der Kostendeckungsgrad der Abwasserentsorgung bei 83,5 %, 48 % der befragten Gemeinden erreichen jedoch einen Kostendeckungsgrad von 100 % (vgl. Schönböck 1995, S. 163 u. 173 f.). Daraus ergibt sich, daß der Ansatz eines niedrigen Kalkulationszinssatzes von 3 % für wasserwirtschaftliche Infrastrukturprojekte gerechtfertigt ist, da Gemeinden auf günstige Finanzierungsmöglichkeiten und Kredite zurückgreifen können und auch kein Risiko einzukalkulieren ist.

### **3.3.2. Absolute und relative Vorteilhaftigkeit**

Das Ziel der Investitionsrechnung ist es, ein Urteil über die Vorteilhaftigkeit der zu betrachtenden Investitionsprojekte fällen zu können. Es wird dabei zwischen absoluter und relativer Vorteilhaftigkeit unterschieden. Eine Investition ist dann absolut vorteilhaft, wenn die Durchführung zu einem Vorteil gegenüber der Nichtdurchführung führt (vgl. Walz / Gramlich 1997, S. 35). Die absolute Vorteilhaftigkeit eines Investitionsprojekts wird durch den Vergleich der Investition mit der Anlage oder Kreditaufnahme am vollkommenen Restkapitalmarkt ermittelt, der den Bewertungsmaßstab darstellt (vgl. Walz / Gramlich 1997, S. 62).

Beim Vergleich von mindestens zwei Investitionsprojekten miteinander wird die relative Vorteilhaftigkeit ermittelt, d.h. es wird berechnet, ob eine Investition wirtschaftlich besser ist als die andere. Es ist jedoch nicht gesichert, daß die relativ vorteilhaftere Investition auch absolut vorteilhaft ist, denn die miteinander verglichenen Investitionsprojekte könnten allesamt unvorteilhaft sein. Im Normalfall ist die Ermittlung der relativen Vorteilhaftigkeit nur dann sinnvoll, wenn alle in den Vergleich miteinbezogenen Investitionsalternativen für sich genommen absolut vorteilhaft sind (vgl. Walz / Gramlich 1997, S. 35).

Es ist davon auszugehen, daß die Durchführung einer Investition die Finanzierbarkeit anderer Projekte negativ beeinflusst, so daß das knappe zur Verfügung stehende Ka-

pital nicht für alle Projekte ausreicht. Deshalb ist der vollkommene Kapitalmarkt auch auf das Restkapital beschränkt (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 31). Stünden die zu vergleichenden Investitionsalternativen nicht in Konkurrenz zueinander, würde jedes absolut vorteilhafte Investitionsprojekt realisiert werden. Aufgrund der Kapitalknappheit ist jedoch eine der Alternativen zu wählen, somit wird man der relativ vorteilhaften den Vorzug geben (vgl. *Seicht* 2001, S. 106).

Daher müssen die Investitionsprojekte vor einer Prüfung der relativen Vorteilhaftigkeit auch auf ihre absolute Vorteilhaftigkeit überprüft werden, was jedoch im Rahmen der Berechnung ohnehin leicht möglich ist (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 63). Im Gegensatz dazu kann aber die relative Vorteilhaftigkeit von absolut unvorteilhaften Investitionsvarianten dennoch im Zentrum des Interesses stehen, nämlich wenn die Investition jedenfalls durchgeführt werden soll. In diesem Fall ist das Investitionsprojekt relativ vorteilhaft, das am wenigsten unvorteilhaft ist (vgl. *Grob* 2001, S. 53).

Zu den am häufigsten verwendeten dynamischen Investitionsrechenverfahren zählen die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode und die Interne Zinsfuß-Methode (vgl. *Rolfes* 2003, S. 9 f.). In den folgenden Kapiteln werden die Kapitalwertmethode und die Annuitätenmethode beschrieben, auf den Internen Zinsfuß wird nur kurz eingegangen, da er sich für die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit nicht eignet (siehe Kapitel 3.6).

### **3.3.3. Auf- und Abzinsung**

Anders als bei den statischen Methoden wird bei den dynamischen Verfahren der zeitliche Anfall der Ein- und Auszahlungen durch zinseszinsenmäßige Auf- oder Abzinsung auf den Bezugszeitpunkt berücksichtigt. Dadurch wird es möglich die Periodenüberschüsse mit dem anfänglichen Kapitaleinsatz zu vergleichen. Ob Ausgaben bzw. Einnahmen in einer früheren oder späteren Periode anfallen hat Einfluß auf das Ergebnis der Rechnung. Wie groß dieser Einfluß ist hängt auch von der Länge der Planungsperiode der Investition und von der Höhe des durch die Investition gebundenen Kapitals ab (vgl. *Seicht* 2001, S. 80).

*Däumler* (vgl. 2000, S. 60) nennt die Einflußfaktoren auf die Höhe des Kapitalwertes eines Investitionsprojekts die „drei Z“, das sind

- erstens die Höhe der Zahlungen,
- zweitens deren zeitliche Verteilung und
- drittens der Zinssatz (vgl. *Däumler* 2000, S. 60).

Um den Barwert einer Zahlungsreihe zu errechnen sind Zahlungen, die vor dem Bezugszeitpunkt anfallen aufzuzinsen, danach anfallende abzuzinsen. Das folgende Beispiel soll das Aufzinsen demonstrieren:

### **Beispiel 1**

Der Grunderwerb für eine Maßnahme wird 10 Jahre vor deren Inbetriebnahme durchgeführt. Zu berechnen ist der Barwert zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme für die anfallende Auszahlung in Höhe von 2,1 Mio. Euro, Zinssatz real 3 % p.a.

Wie in Formel dargestellt, wird zur Ermittlung des Barwerts die Zahlung mit dem Aufzinsungsfaktor multipliziert. Der Ausdruck  $i$  stellt den Zinssatz in Dezimalform dar, so wird beispielsweise ein Zinssatz von 3 % als 0,03 angegeben, der Buchstabe  $n$  gibt die Anzahl der Perioden, in diesem Fall 10 Jahre, an (vgl. *Däumler* 2000, S. 44).

$$(1) \quad \text{Barwert} = \text{Zahlung} * (1 + i)^n \\ = 2,1 \text{ Mio.} * 1,03^{10} = 2,8 \text{ Mio.}$$

Beispiel 2 zeigt sowohl das Auf- als auch das Abzinsen. Das Abzinsen funktioniert genauso wie das Aufzinsen, nur daß die Potenzen zur Berücksichtigung der Anzahl der Perioden negativ statt positiv sind.

### **Beispiel 2**

Es ist der Barwert für eine Reinvestition im Jahr 25 zu berechnen, deren Nominalwert dann 6,5 Mio. beträgt. Als Realzinssatz werden 3 % p.a. angesetzt. Um den Barwert im Bezugszeitpunkt ( $t_0$ ) zu ermitteln ist der gegebene Nominalwert mit dem Abzinsungsfaktor wie in Formel 2 dargestellt zu multiplizieren:

Barwert der Reinvestition in  $t_0$  ohne reale Preissteigerung:

$$(2) \quad 6,5 \text{ Mio.} * 1,03^{-25} = 3,1 \text{ Mio.}$$

Im nächsten Beispiel soll der Einfluß einer realen Preissteigerung berücksichtigt werden.

### **Beispiel 3**

Es soll der Barwert der Reinvestition aus Beispiel 2 unter Berücksichtigung einer Preissteigerung von 1 % p.a. ermittelt werden.

Die Preissteigerungsrate wirkt wie ein realer Zinssatz, so daß auf das Jahr 25 mit 1 % aufgezinst wird. Von diesem Ergebnis wird dann wieder der Barwert durch Abzinsen ermittelt.

Barwert der Reinvestition in  $t_0$  mit realer Preissteigerung:

$$(3) \quad 6,5 \text{ Mio.} * 1,01^{25} = 8,3 \text{ Mio.}$$

$$(4) \quad 8,3 \text{ Mio.} * 1,03^{-25} = 4 \text{ Mio.}$$

Man kann auch den Faktor in einem Schritt berechnen und dann mit dem Nominalwert multiplizieren:

$$(5) \quad 1,01^{25} * 1,03^{-25} = 0,6125; 6,5 \text{ Mio.} * 0,6125 = 4 \text{ Mio.}$$

## **3.4. Kapitalwertmethode**

### **3.4.1. Zurechnung von Zahlungen zum Investitionsprojekt**

Zur Berechnung des Kapitalwerts sollten nur tatsächliche Zahlungsein- und -ausgänge herangezogen werden und keine Schmälerungen der Überschüsse durch Abschreibungen oder Zinsen vorgenommen werden, da dies die Aussage über die Amortisation der Investition verfälschen würde (vgl. *Seicht* 2001, S. 86).

Der etwaige am Ende der Nutzungsdauer realisierbare Liquidationserlös eines Investitionsprojekts wird den Einnahmen der letzten Periode zugerechnet und wird gemeinsam mit diesen abgezinst (vgl. *Seicht* 2001, S. 84). Steuern sind nur dann mit einzubeziehen, wenn diese nicht bei allen Varianten gleiche Auswirkungen haben,

zB Steuerbefreiung bei einem bestimmten Investitionsprojekt, jedoch nicht bei den Alternativen (vgl. *Grob* 2001, S. 54 f.). Auch zweckgebundene Subventionen, zB verbilligte Kredite oder Transferleistungen für ganz bestimmte Investitionsprojekte, sind dementsprechend zu berücksichtigen (vgl. *Seicht* 2001, S. 84).

Es sind nur die Zahlungsströme dem jeweiligen Investitionsprojekt zuzurechnen, die ohne es nicht entstehen würden. So sind beispielsweise in einem dreistufigen Produktionsprozeß einem Investitionsprojekt, das als Ersatz für eine Produktionsanlage der letzten Stufe dienen soll, sämtliche Einzahlungen und sämtliche Auszahlungen für Rohmaterialien, Hilfsstoffe und Löhne auch der zwei vorhergehenden Stufen zuzurechnen, weil ohne Anschaffung der Anlage für die dritte Stufe könnte auch in den beiden vorgeschalteten Stufen nichts hergestellt werden.

Entstehen durch ein Investitionsprojekt keine zusätzlichen Raum- und Verwaltungskosten, d.h. steht ohnehin langfristig genügend freier Raum zur Verfügung und ist die Verwaltung langfristig unterbeschäftigt, so werden diese nicht als Auszahlungen angesetzt. Steht fest, daß eines der in den Vergleich miteinbezogenen Investitionsprojekte auf jeden Fall realisiert wird, können bei Anwendung der Kapitalwert- oder Annuitätenmethode die Auszahlungen, die alle Alternativen in gleichem Maße betreffen, vernachlässigt werden (vgl. *Swoboda* 1996, S. 68 f.). Daher können im vorhergehenden Beispiel die Auszahlungen der ersten und zweiten Produktionsstufe vernachlässigt werden wenn ein relativer Vorteilhaftigkeitsvergleich von verschiedenen Anlagen für die dritte Stufe vorgenommen werden soll.

Neben den Anschaffungsauszahlungen verursacht jedes Investitionsprojekt in der Regel auch jährliche Auszahlungen für Betrieb und Instandhaltung, die als konstant betrachtet werden. Bis auf die Anschaffungsauszahlung können sämtliche Größen nur geschätzt werden (vgl. *Däumler* 2000, S. 64).

### **3.4.2. Berechnung des Kapitalwerts**

Bei der Kapitalwertmethode werden jeweils die Differenzen zwischen Ein- und Auszahlungen einer Periode, die im Zusammenhang mit dem Investitionsprojekt stehen,

auf den Entscheidungszeitpunkt, das ist die Periode Null ( $t_0$ ), zinseszinsenmäßig abgezinst (vgl. *Grob* 2001, S. 58).

Durch die Abzinsung der Einnahmenüberschüsse auf  $t_0$  und deren Aufsummierung ergibt sich der Barwert des während der Laufzeit erwirtschafteten Investitionsgewinns. Zieht man diesen Barwert von der Anschaffungszahlung der Investition ab, so erhält man den Kapitalwert der Investition (vgl. *Rolfes* 2003, S. 10).

Übersteigt der Barwert den erforderlichen Kapitaleinsatz, so ist der Kapitalwert des Investitionsprojekts positiv. Das bedeutet, daß nicht nur die dynamische kalkulatorische Verzinsung des jeweils noch gebundenen Kapitals und die Amortisation des Kapitaleinsatzes erwirtschaftet werden kann, sondern darüber hinaus noch ein Überschuß für den Investor übrig bleibt. In diesem Fall ist die Investition absolut vorteilhaft (vgl. *Seicht* 2001, S. 83).

Bei Durchführung eines Investitionsvorhabens kann ein positiver Kapitalwert vom Investor bereits im Planungszeitpunkt entnommen werden, ohne die Verzinsung des gebunden Kapitals und die Rückzahlung des eingesetzten Kapitals zu gefährden (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 55).

Der Kapitalwert ist von der Art der Finanzierung des Investitionsprojekts unabhängig, die Zinslast wird stets vom gesamten Restkapital berechnet. Der Kapitalwert entspricht deshalb dem Einkommen, das der Investor in  $t_0$  bei vollständiger Fremdfinanzierung entnehmen kann (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 60). Da die Kapitalstruktur unwesentlich ist, steigert die Verwendung von Eigenkapital nicht die Vorteilhaftigkeit eines Investitionsprojekts, sondern nur das in  $t_0$  entnehmbare Einkommen (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 61 f.).

Eine andere Meinung vertritt diesbezüglich *Swoboda* (vgl. 1996, S. 62 f. und Kapitel 3.3.1) nach der die Kapitalstruktur sehr wohl wesentlich ist und das Ausmaß der Fremdfinanzierung das Investitionsrisiko und in der Folge den Kapitalzinssatz erhöht.

Gleichen sich Barwert und Kapitaleinsatz (der Kapitalwert ist dann Null) so reichen die zukünftigen Periodenüberschüsse gerade für die Verzinsung des noch gebunde-

nen Kapitals sowie zur Amortisation der gesamten Investition zum verwendeten Kalkulationszinssatzes aus. Bei einem negativen Barwert ist der Kapitalwert jedenfalls negativ. Die Investition ist dann absolut unvorteilhaft und sollte, geht man von einer Normalinvestition aus, keinesfalls getätigt werden (vgl. *Seicht* 2001, S. 83 und *Walz / Gramlich* 1997, S. 62). Daher sind nur Projekte auszuwählen, bei denen der Kapitalwert größer Null ist.

### 3.4.3. Beispiele zur Berechnung des Kapitalwerts

Das folgende Beispiel zeigt die Vorgangsweise zur Berechnung des Kapitalwerts.

#### Beispiel 4

Eine Investition von 1000 im Zeitpunkt  $t_0$  liefert in den Folgejahren folgende Erträge: im ersten Jahr 150, im zweiten 220, im dritten 750 und im letzten 150. Die Zahlungsreihe sowie die Berechnung des Kapitalwerts sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

**Abbildung 7: Berechnung des Kapitalwerts**

$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$
-1.000	150	220	750	150

Bei einem Kalkulationszinssatz von 8 % lautet die Formel zur Berechnung wie folgt:

$$(6) \quad \text{Kapitalwert} = -1.000 + (150 * 1,08^{-1}) + (220 * 1,08^{-2}) + (750 * 1,08^{-3}) + (150 * 1,08^{-4}) = +33,13$$

Quelle: In Anlehnung an *Rolfes* 2003, S. 10 f.

Auf den Zeitpunkt  $t_0$  bezogen erhält man also um 33,13 mehr als wenn man das Kapital mit einem Kalkulationszinssatz von 8 % anlegt, der stellvertretend für alle alternativen Investitionsprojekte steht (vgl. *Rolfes* 2003, S. 10 f.).

Folgende Beispiele zeigen den Einfluß des zeitlichen Anfalls der verschiedenen Zahlungsströme innerhalb der Nutzungsdauer eines Investitionsprojektes.

### Beispiel 5

Die Anfangsinvestition beträgt 135.000, Abbildung 8 zeigt die Ein- und Auszahlungen sowie die daraus resultierenden Überschüsse in den jeweiligen Perioden. Der Kalkulationszinssatz beträgt 10 %.

**Abbildung 8: Einfluß des zeitlichen Anfalls der Zahlungsströme - Teil 1**

Periode	Einzahlungen	Auszahlungen	Überschuß	Abzinsung	Barwert
1	100.000	40.000	60.000	* $1,1^{-1}$	54.546
2	90.000	45.000	45.000	* $1,1^{-2}$	37.188
3	80.000	50.000	30.000	* $1,1^{-3}$	22.539
4	80.000	55.000	25.000	* $1,1^{-4}$	17.075
5	70.000	60.000	10.000	* $1,1^{-5}$	6.209
6	70.000	65.000	5.000	* $1,1^{-6}$	2.823
	490.000	315.000	175.000		<b>140.380</b>

Quelle: In Anlehnung an *Seicht* 2001, S. 84 ff

Der Kapitalwert in diesem Beispiel ergibt sich aus der Summe der Barwerte der Zahlungsüberschüsse minus der anfänglichen Investitionsauszahlung ( $140.380 - 135.000 = 5.380$ ) und stellt den heutigen Wert der kumulierten Zahlungsüberschüsse dar. Wie man aus der Tabelle ersehen kann, wird lediglich die Differenz zwischen Einzahlungen und Auszahlungen eines Jahres abgezinst, da ohnehin sämtliche Zahlungsströme demselben Kalkulationszinssatz unterworfen werden (vgl. *Seicht* 2001, S. 84 ff).

Im zweiten Teil des Beispiels (siehe Abbildung 9) wird die Reihenfolge der Überschüsse aus dem vorhergehenden Beispiel umgedreht, die restlichen Angaben bleiben unverändert.

**Abbildung 9: Einfluß des zeitlichen Anfalls der Zahlungsströme - Teil 2**

Periode	Überschuß	Abzinsung	Barwert
1	5.000	* $1,1^{-1}$	4.546
2	10.000	* $1,1^{-2}$	8.264
3	25.000	* $1,1^{-3}$	18.782
4	30.000	* $1,1^{-4}$	20.490
5	45.000	* $1,1^{-5}$	27.941
6	60.000	* $1,1^{-6}$	33.870
	175.000		<b>113.893</b>

Quelle: In Anlehnung an *Seicht* 2001, S. 84 ff

Die Summe der Überschüsse bleibt mit 175.000 gleich wie im ersten Teil des Beispiels. Durch den zeitlich umgekehrten Anfall ergibt sich nach der Abzinsung jedoch nun ein negativer Kapitalwert ( $113.893 - 135.000 = -21.107$ ). Das liegt daran, daß ein Überschuß, der in der Zukunft zufließt, weniger wert ist als ein Überschuß heute. Da die höheren Überschüsse nun später zufließen als im ersten Teil des Beispiels, ist der Barwert wesentlich niedriger und der Kapitalwert sogar negativ. In diesem Fall ist der Kapitalwert der heutige Wert des gesamten Verlustes der Investition. Dieses Investitionsprojekt wäre eine Fehlinvestition, da der Cash-flow nicht ausreicht um die gewünschte Verzinsung des investierten Kapitals und dessen Amortisation zu erzielen. Bei Anwendung einer statischen Investitionsrechnung wäre das Ergebnis der beiden Beispiele gleich und könnte damit zu Fehlbeurteilungen führen. Je länger die Nutzungsdauer einer Investition, desto größer ist der Unterschied zwischen den Ergebnissen des statischen und dynamischen Verfahrens und desto größer die Gefahr der Fehlbeurteilung bei Verwendung der statischen Rechnung (vgl. *Seicht* 2001, S. 84 ff).

Beim Kauf von Unternehmen oder Unternehmensteilen geht man häufig von unbegrenzter Nutzungsdauer aus. Es gibt investitionsrechnerisch keinen wesentlichen Unterschied zwischen einer Nutzungsdauer von 30 Jahren und unbegrenzter Nutzungsdauer. Der Barwert bei einer Nutzungsdauer von 30 Jahren macht 94 Prozent des Barwertes bei einer unbegrenzten Nutzungsdauer aus (vgl. *Däumler* 2000, S. 73). Der Barwert einer Ein- bzw. Auszahlung, die 30 Jahre abgezinst wird, ist nur noch sehr niedrig. Dabei hängt die Relevanz einer späten Zahlung vom verwendeten Zinssatz ab. Folgende Abbildung soll dies zeigen:

**Abbildung 10: Relevanz späterer Zahlungen**

Zinssatz	Zahlung	Abzinsungsfaktor	Barwert
3 %	100	* $1,03^{-30}$	41,20
10 %	100	* $1,1^{-30}$	5,73

Quelle: Eigene Darstellung

Aus Abbildung 10 ist ersichtlich, daß der Barwert einer Zahlung bei einem Zinssatz von 10 % nicht einmal mehr 6 % ausmacht. Bei einem Zinssatz von 3 % sind es im Gegensatz dazu aber immerhin über 40 %. Spätere Zahlungen sind demnach relevanter, je niedriger der verwendete Kalkulationszinssatz ist.

### 3.4.4. Mängel der Kapitalwertmethode

Durch die Verwendung der Ersatzzielkriterien der Partialmodelle erhält man zwar eine Aussage über die Rentabilität eines Investitionsprojekts, jedoch nicht über die Liquidität während der Investition. So kann es sein, daß der Investor zwar in ein rentables Projekt investiert, aber trotzdem in Zahlungsschwierigkeiten gerät, weil zwingend fälligen Auszahlungen im gleichen Zeitraum keine Einzahlungen gegenüberstehen und die Annahme der jederzeitigen und unbeschränkten Möglichkeit zur Zahlungsmittelbeschaffung zum Kalkulationszinssatz realitätsfern ist (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 46).

#### 3.4.4.1. Unterschiedlicher Kapitaleinsatz

Die Mängel der Kapitalwertmethode liegen vor allem auch in der schlechten Vergleichbarkeit von zwei oder mehreren Investitionsprojekten mit jeweils verschiedenen Nutzungsdauern und/oder Kapitaleinsatz. Nur wenn Kapitaleinsatz und Nutzungsdauer gleich sind, kann die Vorteilhaftigkeit einer Investition gegenüber einer anderen ohne weitere Rechenschritte beurteilt werden (vgl. *Seicht* 2001, S. 86).

Beispiel 6 (siehe Abbildung 11) soll die Unsicherheit in der Aussage der Kapitalwertmethode beim Vergleich der Vorteilhaftigkeit von Investitionen mit unterschiedlichem Kapitaleinsatz bei gleicher Nutzungsdauer zeigen (vgl. *Seicht* 2001, S. 87).

#### Abbildung 11: Unsicherheit bei unterschiedlichem Kapitaleinsatz

##### Beispiel 6

jeweils 5 Jahre Nutzungsdauer, Kalkulationszinssatz 8 %

	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>
Investition I	-30.000	7.000	9.000	9.000	8.000	11.787
Investition II	-50.000	12.000	14.000	14.000	15.000	15.203

##### Investition I (Kapitaleinsatz 30.000):

$$(7) \quad -30.000 + (7.000 * 1,08^{-1}) + (9.000 * 1,08^{-2}) + (9.000 * 1,08^{-3}) + (8.000 * 1,08^{-4}) + (11.787 * 1,08^{-5}) = 5.248$$

**Investition II (Kapitaleinsatz 50.000):**

$$(8) \quad -50.000 + (12.000 * 1,08^{-1}) + (14.000 * 1,08^{-2}) + (14.000 * 1,08^{-3}) \\ + (15.000 * 1,08^{-4}) + (15.203 * 1,08^{-5}) = 5.598$$

Quelle: In Anlehnung an Seicht 2001, S. 87

Beide Investitionen haben einen positiven Kapitalwert, was bedeutet, daß die gewünschte Verzinsung von 8 % sowie die Amortisation des Kapitals mehr als erreicht werden, beide sind somit absolut vorteilhaft. Vergleicht man die Kapitalwerte der Investitionen, so ist Investition II als relativ vorteilhaft anzusehen, da der Kapitalwert höher ist. Bei einem angenommenen Kalkulationszinssatz unter 8 % verstärkt sich dieser Eindruck noch. Erhöht man den Zinssatz von 8 % ausgehend jedoch immer weiter, so verringert sich die Differenz zwischen den Kapitalwerten, bis sich die Aussage über die Vorteilhaftigkeit sogar umdreht. Abbildung 12 soll dies verdeutlichen.

**Abbildung 12: Einfluß des Kapitalzinssatzes**

Kalkulationszinssatz	Kapitalwert Investition I	Kapitalwert Investition II	Differenz Kapitalwerte	Vorteil von
6 %	7.316	8.778	-1.462	Inv. II
8 %	5.243	5.600	-357	Inv. II
10 %	3.347	2.682	665	Inv. I

Quelle: In Anlehnung an Seicht 2001, S. 87

Eine negative Differenz bedeutet, daß Investition II vorteilhafter im Vergleich zu Investition I ist, da dann der Kapitalwert von Investition II höher ist. Gründe für den Wechsel der relativen Vorteilhaftigkeit sind die unterschiedlichen Strukturen der Rückflüsse und vor allem die verschiedenen Höhen des Kapitaleinsatzes. Zwischen den Zinssätzen von 8 und 10 % liegt der kritische Zinssatz, bei dem beide Investitionen einen gleich großen Kapitalwert aufweisen und ab dem die Vorteilhaftigkeit wechselt.

Um den kritischen Zinssatz auszurechnen, setzt man die beiden Zahlungsreihen gleich, ersetzt den Zinssatz jedoch durch eine Variable. Mit Hilfe der Solver-Funktion eines Taschenrechners oder der Zielwertsuche in Microsoft Excel läßt sich der kritische Zinssatz am einfachsten ermitteln. Die Zielwertsuche in MS Excel ergibt einen Wert von 1,08679. Das bedeutet, der kritische Zinssatz liegt bei 8,68 %. Die Berech-

nung von kritischen Werten hat insbesondere für Sensitivitätsanalysen Bedeutung (siehe Kapitel 3.7.4).

### 3.4.4.2. Unterschiedliche Nutzungsdauern

Beispiel 7 (siehe Abbildung 13) zeigt die Probleme bei Anwendung der Kapitalwertmethode zum Vergleich von Investitionsprojekten mit unterschiedlichen Nutzungsdauern. Nutzungsdauern von Anlagen können voneinander abweichen, weil zB eine billige kurzlebige einer teuren langlebigeren gegenübersteht, oder weil eine als gebraucht gekaufte Anlage eine geringere Nutzungsdauer aufweist als eine neuwertige (vgl. Swoboda 1996, S. 41).

**Abbildung 13: Probleme bei unterschiedlichen Nutzungsdauern**

	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
A	-100.000	50.000	38.000	47.000			
B	-300.000	87.000	76.000	74.000	62.000	57.000	94.000

Berechnung (Kalkulationszinssatz 10 %):

(9)  $KW_A = -100.000 + (50.000 * 1,1^{-1}) + (38.000 * 1,1^{-2}) + (47.000 * 1,1^{-3}) = 12.171$

(10)  $KW_B = -300.000 + (87.000 * 1,1^{-1}) + (76.000 * 1,1^{-2}) + (74.000 * 1,1^{-3}) + (62.000 * 1,1^{-4}) + (57.000 * 1,1^{-5}) + (94.000 * 1,1^{-6}) = 28.298$

Quelle: In Anlehnung an Swoboda 1996, S. 41 f.

Vergleicht man nun die beiden Kapitalwerte, so müßte Investitionsprojekt B als günstigere Alternative gewählt werden. Diese Entscheidung ist jedoch nicht unbedingt verlässlich, da Investitionsprojekt A eine Nutzungsdauer von 3 Jahren hat, Investitionsprojekt B jedoch eine Nutzungsdauer von 6 Jahren aufweist. Wenn die zukünftige Investitionspolitik von der heutigen Entscheidung nicht beeinflusst wird, dann können die vorliegenden Kapitalwerte verglichen werden. Keine Beeinflussung liegt dann vor, wenn zB die Fertigung der Güter, für die die Investitionsprojekte benötigt werden, nach drei Jahren eingestellt wird wenn A gewählt wird, und nach sechs Jahren aufgegeben wird wenn B gewählt wird. Meist wird jedoch eine Beeinflussung vorliegen und die Kapitalwerte bei unterschiedlichen Nutzungsdauern nicht direkt vergleichbar sein. Häufig werden die Prozesse, für die die Investitionsprojekte angeschafft wer-

den, über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten als die Nutzungsdauer der Investitionsprojekte (vgl. Swoboda 1996, S. 42).

### 3.4.4.3. Kapitalwert von Investitionsketten

Meist wird es notwendig sein, für alle zu vergleichenden Investitionsprojekte eine gemeinsame Planungsperiode zu wählen. Dafür spricht, daß über Folgeprojekte keine sicheren Informationen vorliegen und diese Vorgangsweise praktikabler ist. Beim Vergleich von Investitionsprojekten mit unterschiedlichen Nutzungsdauern kann die Annahme getroffen werden, daß das Projektergebnis des kürzeren Investitionsprojekts zum angenommenen Kalkulationszinssatz veranlagt werden kann und durch abdiskontieren in den Entscheidungszeitraum miteinbezogen werden kann. Alternativ dazu kann auch eine Investition in ein identisches Folgeprojekt angenommen werden und somit eine Investitionskette gebildet werden (vgl. Walz / Gramlich 1997, S. 36 f.). In diesem Fall sind die Investitionsprojekte, zumindest diejenigen mit geringerer Nutzungsdauer, zu ersetzen. Soll die Güterproduktion in Beispiel 7 auch bei Wahl von Investitionsprojekt A länger als drei Jahre andauern, so hängen künftige Investitionsentscheidungen eindeutig von heutigen Entscheidungen ab. Denn bei Wahl von A muß früher ersetzt werden als bei Wahl von B. Wird bei Wahl von A die Investition nach drei Jahren wiederholt, reicht es für die Investitionsentscheidung aus, sechs Jahre Nutzungsdauer zu vergleichen, da nach sechs Jahren in beiden Fällen ersetzt werden muß. Die Entscheidung im Zeitpunkt  $t_6$  hängt nicht mehr von der Entscheidung in  $t_0$  ab (vgl. Swoboda 1996, S. 42). Beispiel 7 wird dementsprechend abgewandelt:

#### Beispiel 8

Abbildung 14: Identisches Folgeprojekt

	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
A	-100.000	50.000	38.000	47.000	50.000	38.000	47.000
				-100.000			
B	-300.000	87.000	76.000	74.000	62.000	57.000	94.000
Berechnung (Kalkulationszinssatz 10 %):							
(11)	$KW_A = 12.171 + 12171 * 1,1^{-3} = 21.316$			$KW_B = 28.298$			

Quelle: In Anlehnung an Swoboda 1996, S. 43

In der Periode  $t_3$  wird die Investition wiederholt, es erfolgen wieder die Auszahlung von 100.000 und die entsprechenden Einzahlung in den drei folgenden Jahren. Nun ist zwar immer noch Investitionsprojekt B vorteilhafter, jedoch ist die Differenz zwischen den Kapitalwerten wesentlich geringer als vorher.

In Abbildung 15 werden in den letzten drei Jahren für Investitionsprojekt A aufgrund des technischen Fortschritts und/oder Absatzmengenänderungen veränderte Zahlungsströme angenommen:

**Abbildung 15: Verändertes Folgeprojekt**

	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
A	-100.000	50.000	38.000	47.000 -90.000	55.000	40.000	46.000
	$KW_A = 32.921$			$KW_B = 28.298$			

Quelle: In Anlehnung an Swoboda 1996, S. 43 f.

In diesem Fall wäre nun Investitionsprojekt A vorzuziehen, da B aufgrund der längeren Nutzungsdauer nicht an technischen Fortschritt bzw. Mengenänderungen angepaßt werden kann.

Schwierigkeiten entstehen, wenn es kein niedriges gemeinsames Vielfaches der Nutzungsdauern der zu vergleichenden Investitionsprojekte gibt. Werden Investitionsprojekte mit sieben bzw. 12 Jahren Nutzungsdauer verglichen und wird eine Planungsperiode von 12 Jahren angenommen, so ist die Nachfolgeinvestition des ersten Investitionsprojekts am Ende des Planungshorizonts noch nicht beendet. Da sich die Kapitalwerte auf verschiedene Perioden (14 bzw. 12 Jahre) beziehen, liefert deren Vergleich keine zuverlässige Entscheidungsbasis. Für diese 7jährige Nachfolgeinvestition muß daher ein Wert zu  $t_{12}$  angesetzt werden. Der Ansatz eines Liquidationspreises macht keinen Sinn, da das Investitionsprojekt ja nicht verkauft werden soll. Sinnvoll zur Bewertung ist dagegen ein anschaffungsorientierter Wert, der sich danach bemißt, welchen Preis man für das Investitionsprojekt mit einer bisherigen Nutzungsdauer von fünf Jahren (12 Jahre Betrachtungszeitraum - 7 Jahre Erstinvestition) im Zeitpunkt  $t_{12}$  zu zahlen bereit wäre, damit die Anschaffung der alten Anlage dem Kauf der günstigsten neuen Anlage entspricht.

#### 3.4.4.4. Zusammenfassung

Die Anwendung der Kapitalwertmethode führt bei unterschiedlichem Kapitaleinsatz und unterschiedlichen Nutzungsdauern von Anlagenteilen zu Unsicherheiten im Ergebnis beim Vergleich von mehreren Investitionsprojekten. Diese Probleme werden bei der Interpretation der Projektbarwerte der Abwasserentsorgungsvarianten umgangen, indem der Verlauf der Barwerte über einen genügend langen Betrachtungszeitraum analysiert wird. Liquiditätsengpässe werden durch Finanzplanung aufgrund der erwarteten jährlichen Auszahlungen vermieden. Um Probleme der Kapitalwertmethode mit unterschiedlichen Nutzungsdauern zu lösen, eignet sich zusätzlich die Verwendung der Annuitätenmethode, die im nächsten Kapitel beschrieben wird.

#### 3.5. Annuitätenmethode

Eine Annuität besteht aus Zahlungen in konstanter Höhe, die in zeitlich gleichem Abstand über eine bestimmte Laufzeit erfolgen. Die Annuität eines Investitionsprojekts wird auch äquivalente Annuität genannt (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 67).

Mit Hilfe der Annuitätenmethode wird der Kapitalwert der Investition in eine jährlich gleichbleibende Rente umgerechnet und damit auf die einzelnen Perioden während der Nutzungsdauer verteilt. Somit hat die äquivalente Annuität – ausgehend vom gleichen Kalkulationszinssatz – die gleiche Einkommenswirkung und Aussagekraft wie die ursprüngliche unregelmäßige Zahlungsreihe, nur daß sie einen Durchschnittswert pro Periode angibt (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 67 u. 70). Analog zur Kapitalwertmethode gilt: Ein Investitionsprojekt ist absolut vorteilhaft, wenn die Periodenüberschußannuität ausreicht um das gebundene Kapital inklusive Zinsen zu tilgen, d.h. wenn die Überschußannuität positiv ist, dann ist auch der Kapitalwert positiv (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 71). Daher weist die Annuitätenmethode dieselben Mängel wie die Kapitalwertmethode auf.

Im folgenden Beispiel wird aus dem in Beispiel 4 errechneten Kapitalwert von 33,13 die äquivalente Annuität pro Jahr ermittelt, die sich durch Multiplikation des Kapitalwerts mit dem Annuitätenfaktor ergibt. Der Kapitalzinssatz  $i$  ist 8 %, die Laufzeit  $n$  beträgt 4 Jahre (vgl. *Rolfes* 2003, S. 15).

## Abbildung 16: Errechnung Annuität aus dem Kapitalwert

### Beispiel 9

$$(12) \quad \text{Äquivalente Annuität} = \text{KW} * \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 33,13 * \underbrace{\frac{0,08 * 1,08^4}{1,08^4 - 1}}_{\text{Annuitätenfaktor}} = 10$$

Quelle: In Anlehnung an *Rolfes* 2003, S. 15

Die aus dem Kapitalwert errechnete Überschußannuität gibt den konstanten Betrag am Ende einer jeden Periode während der Nutzungsdauer an, der entnommen werden kann, ohne die Verzinsung des gebundenen Kapitals mit dem Kalkulationszinssatz und die Rückgewinnung der Anfangszahlung zu gefährden (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 70 f.).

Ist eine Zahlungsreihe bereits als endliche Annuität gegeben, sind die Zahlungen also jeweils in gleicher Höhe und ist eine bestimmte Nutzungsdauer gegeben, so kann der Kapitalwert mit Hilfe des Kehrwerts des Annuitätenfaktors wie folgt berechnet werden (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 68).

### Beispiel 10

Der Kapitalwert ergibt sich durch Multiplikation der Annuität mit dem Kehrwert des Annuitätenfaktors, der aus Formel 12 bekannt ist:

$$(13) \quad \text{Kapitalwert} = \text{Äquivalente Annuität} * \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = 10 * \frac{1,08^4 - 1}{0,08 * 1,08^4} = 33,12$$

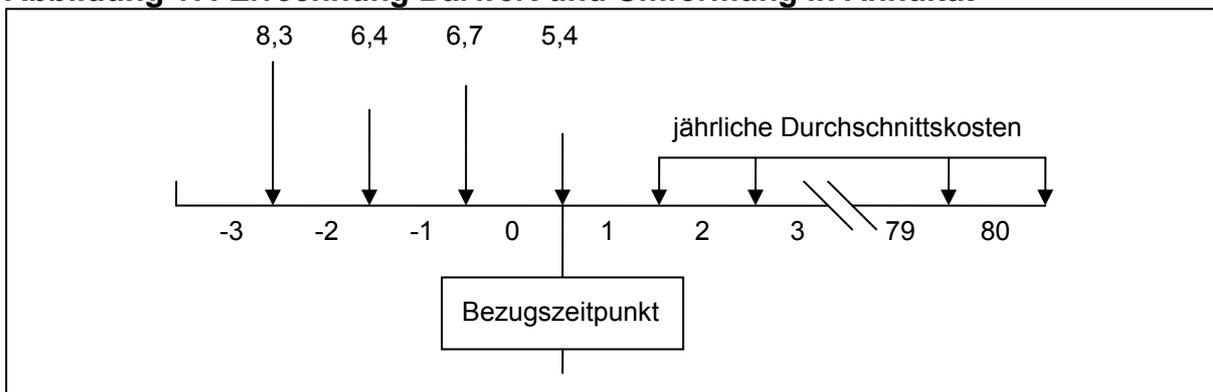
Genauso wie für den Kapitalwert kann man die Annuität für den Barwert von Auszahlungen errechnen. Dafür kommt ebenfalls der Annuitätenfaktor aus Formel 12 zur Anwendung.

### Beispiel 11

Investitionen in ein Hochwasserrückhaltebecken von insgesamt 26,8 Mio. Euro verteilen sich wie folgt auf 4 Jahre vor dem Bezugszeitpunkt (siehe auch Abbildung 17):  
Jahr 1: 8,3 Mio.; Jahr 2: 6,4 Mio.; Jahr 3: 6,7 Mio.; Jahr 4: 5,4 Mio.

Aus den gegebenen unregelmäßigen Investitionen vor dem Bezugszeitpunkt soll die äquivalente Annuität für einen Untersuchungszeitraum von 80 Jahren unter der Annahme eines Kapitalzinssatzes von 3 % p.a. ermittelt werden. In diesem Fall handelt es sich bei der äquivalenten Annuität um durchschnittliche Jahreskosten, da nur Auszahlungen vorliegen.

**Abbildung 17: Errechnung Barwert und Umformung in Annuität**



Quelle: In Anlehnung an LAWA 1998, 4-7

Dazu müssen zunächst die jährlichen Investitionen auf den Bezugszeitpunkt aufgezinst werden:

$$(14) \quad \text{Barwert} = (8,3 * 1,03^3) + (6,4 * 1,03^2) + (6,7 * 1,03^1) + 5,4 = 28,16$$

Danach wird der Barwert der Investition mit Hilfe des Annuitätenfaktors in die äquivalente Annuität umgerechnet:

$$(15) \quad \text{Äquivalente Annuität} = 28,16 * \frac{0,03 * 1,03^{80}}{1,03^{80} - 1} = 0,93$$

Die durchschnittlichen Jahreskosten der Investitionen betragen somit 0,93 Mio. Euro.

### 3.5.1. Annuitäten von Investitionsketten

Beim Vergleich von Investitionsketten, also bei ein- oder mehrmaliger Wiederholung derselben Investition hintereinander, wird es, aufgrund der Problematik einen gemeinsamen Planungshorizont für die Investitionsprojekte zu finden, schwieriger mit Hilfe des Kapitalwerts eine Entscheidung zu treffen. Statt dessen können die dynamisch errechneten äquivalenten Jahresanteile der Kapitalwerte zur Entscheidung herangezogen werden (vgl. Seicht 2001, S. 106).

Da Gewinnannuitäten auf ein Jahr bezogene Kapitalwerte darstellen, kann man sich für identische Reinvestitionen ersparen erst eine gemeinsame Planungsperiode zu suchen. Das folgende Beispiel zeigt, unter der Voraussetzung identischer Reinvestitionen, daß die aus dem Vergleich der Annuitäten resultierende Entscheidung der Kapitalwertmethode im vorhergehenden Beispiel entspricht:

$$(15) \quad \text{Annuität}_1 = \text{KW}_1 * \frac{0,1 * 1,1^3}{1,1^3 - 1} = 12.171 * 0,40211 = 4.894$$

$$(16) \quad \text{Annuität}_2 = \text{KW}_2 * \frac{0,1 * 1,1^6}{1,1^6 - 1} = 28.298 * 0,22961 = 6.497$$

Das Verhältnis der Annuitäten von 4.894 zu 6.497 entspricht den Kapitalwerten aus Beispiel 8 (21.316 zu 28.298).

Ist nicht von identischen Reinvestitionen auszugehen, sind die Annuitäten der Kapitalwerte auf eine gleiche Planungsperiode zu beziehen (siehe Kapitel 3.4.3). Die Berechnung kann sinnvoll sein, da die Vorteilhaftigkeit auf ein Jahr bezogen u.U. leichter verständlich ist (vgl. *Swoboda* 1996, S. 45).

### 3.5.2. Annuitäten bei unterschiedlicher Nutzungsdauer

Vergleicht man verschiedene sich ausschließende Investitionsprojekte, und sind keine identischen Reinvestitionen gegeben, so sind diese nur bei gleicher Nutzungsdauer direkt vergleichbar. Bei unterschiedlichen Nutzungsdauern müssen die Annuitäten auf eine einheitliche Laufzeit bezogen werden, da es sonst zu Fehlentscheidungen kommt (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 72). Folgendes Beispiel soll dies demonstrieren:

#### Beispiel 12

Es sind die Kapitalwerte der folgenden Investitionsprojekte A, B und C gegeben, der Kalkulationszinssatz beträgt 10 %:

**Abbildung 18: Investitionsprojekte mit unterschiedlicher Nutzungsdauer**

Investition	Kapitalwert	Nutzungsdauer
A	31,70	4 Jahre
B	30,33	5 Jahre
C	34,12	5 Jahre

Quelle: In Anlehnung an *Walz / Gramlich* 1997, S. 72 f.

Investitionen B und C haben die gleiche Nutzungsdauer, somit ist Investitionsprojekt C aufgrund des höheren Kapitalwerts die vorteilhaftere Alternative. Um die Investitionsprojekte A und C, die unterschiedliche Nutzungsdauern aufweisen, miteinander vergleichen zu können, werden deren äquivalente Annuitäten mit Hilfe der Annuitätenmethode errechnet. Wichtig ist, daß beide Kapitalwerte durch Multiplikation mit dem gleichen Annuitätenfaktor auf die gleiche Nutzungsdauer bezogen werden.

$$(17) \quad \text{Äquivalente Annuität}_A = \text{Kapitalwert}_A * \frac{0,1 * 1,1^5}{1,1^5 - 1} = 31,7 * 0,2638 = 8,36$$

$$(18) \quad \text{Äquivalente Annuität}_C = \text{Kapitalwert}_C * \frac{0,1 * 1,1^5}{1,1^5 - 1} = 34,12 * 0,2638 = 9$$

Da beide Annuitäten nun auf die gleiche Nutzungsdauer von 5 Jahren bezogen sind, sind die Projekte vergleichbar. Demnach ist Investitionsprojekt C mit einer äquivalenten Annuität von 9 vorteilhafter als Investitionsprojekt mit einer äquivalenten Annuität von 8,36 (vgl. *Walz / Gramlich* 1997, S. 72 f.).

### 3.5.3. Exkurs: Annuität mit jährlicher Steigerungsrate

Liegt eine Zahlungsreihe vor, die um eine jährlich konstante Rate steigt, handelt es sich um eine progressiv steigende Reihe. Um in der Barwertberechnung eine Kostensteigerung von  $s$  zu berücksichtigen ist folgende Formel anwendbar:

$$(16) \quad \text{Barwert} = \text{Annuität} * (1 + s) * \frac{(1 + i)^n - (1 + s)^n}{(1 + i)^n * ((1 + i) - (1 + s))}$$

#### Beispiel 13

Die jährliche Auszahlung für eine Anlage beträgt zum Planungszeitpunkt 92.400 Euro pro Jahr. Diese Kosten steigen jährlich konstant mit einer Rate von  $s = 2\%$ . Es soll der Barwert der jährlichen Auszahlungen in  $t_0$ , bei einem Untersuchungszeitraum von 25 Jahren und einem realen Zinssatz von  $i = 3\%$  p.a. unter der Annahme ermittelt werden, daß zwischen Planungszeitpunkt und Bezugszeitpunkt 4 Jahre liegen.

Zunächst sind die im Planungszeitpunkt bekannten Kosten mit der Steigerungsrate von 2 % auf den Bezugszeitpunkt aufzuzinsen:  $92.400 * 1,02^4 = 100.000$

Mit diesem Nominalwert kann nun für den Bezugszeitpunkt  $t_0$  der Barwert der progressiv steigenden jährlichen Auszahlungen im Bezugszeitpunkt errechnet werden:

$$(17) \quad \text{Barwert} = 100.000 * 1,02 * \frac{1,03^{25} - 1,02^{25}}{1,03^{25} * (1,03 - 1,02)} = 2.208.000$$

Würde man die Kostensteigerung nicht berücksichtigen und die jährlichen Zahlungen lediglich mit 3 % p.a. abzinsen, so ergäbe sich ein Barwert von 1.609.000 Euro statt 2.208.000 Euro (vgl. LAWA 1998, 4-10).

### **3.6. Interne Zinsfuß-Methode**

Der interne Zinsfuß eines Investitionsprojekts ist der Zinssatz, bei dem der Kapitalwert Null ist. Das ist dann der Fall, wenn die Summe der Barwerte der Zahlungsüberschüsse der Anfangsinvestition entspricht (vgl. Swoboda 1996, S. 25). Den internen Zinsfuß kann man nur für Normalinvestitionen errechnen. Liegen lediglich Auszahlungen vor, jedoch keine bzw. kaum Einzahlungen, so gibt es keine Überschüsse, der Kapitalwert kann dann nie Null sein. Aus diesem Grund ist die Interne Zinsfuß-Methode im Rahmen der im folgenden Kapitel beschriebenen dynamischen Kostenvergleichsrechnung nicht anwendbar.

### **3.7. Dynamische Kostenvergleichsrechnung (LAWA-Leitlinien)**

Die deutsche Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat Leitlinien für Kostenvergleichsrechnungen ausgearbeitet, um die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsrechnungen für Abwasserentsorgungsprojekte zu vereinheitlichen und erleichtern. Dadurch sollen häufig gemachte Fehler vermieden werden. Zu diesen Fehlern zählen vor allem unvollständige Berücksichtigung aller auftretender Auszahlungswirkungen, das Treffen von unbegründbaren Annahmen bezüglich Nutzungsdauer, Zinssatz oder Preissteigerungen und die Übernahme von unpassenden Näherungsansätzen aus der Betriebswirtschaft, die die Langlebigkeit von wasserwirtschaftlicher Infrastruktur nicht berücksichtigen (vgl. LAWA 1998, 1-1).

Die in den LAWA-Leitlinien beschriebene Kostenvergleichsrechnung (KVR) dient dazu, aus einer Anzahl von Alternativen die zur Erreichung einer bestimmten Leistung kostengünstigste Lösung zu finden. Diese ist der bereits beschriebenen Kapitalwertmethode sehr ähnlich.

Alle Investitionsprojekte müssen den gleichen Nutzen bringen, es sei denn, die kostengünstigste Alternative hat gleichzeitig den größten Nutzen im Vergleich zu den anderen Alternativen. Schließlich müssen monetär nicht bewertbare Kostenwirkungen gleichwertig bzw. vernachlässigbar sein. Daraus ergibt sich, daß die KVR nur eine Aussage über die relative Vorteilhaftigkeit zuläßt. Sind die Bedingungen nicht eingehalten, so kann die KVR nur ein erster Teilschritt der Bewertung sein (vgl. LAWA 1998, 1-2).

Die Bezeichnung Kostenvergleichsrechnung für die Rechenmethodik in den LAWA-Leitlinien ist etwas irreführend, da unter der Kostenvergleichsrechnung in der Finanztheorie ein statisches Verfahren verstanden wird (vgl. Swoboda 1996, S. 28 u. Walz / Gramlich 1997, S. 132). Jedoch handelt es sich bei dem vorgestellten Verfahren um eine dynamische Berechnung, die im Grunde nichts anderes als die Berechnung des Projektbarwerts darstellt und damit der Kapitalwertmethode entspricht, nur daß es sich nicht um eine Normalinvestition handelt, sondern nur Auszahlungen stattfinden. Nichtsdestotrotz läßt sich mit den aus der dynamischen Kostenvergleichsrechnung resultierenden Kapitalwerten die relative Vorteilhaftigkeit von Investitionsalternativen ermitteln. Das Investitionsprojekt mit dem Kapitalwert, der am höchsten bzw. am wenigsten negativ ist, ist das günstigste (vgl. LAWA 1998, 1-1 ff).

Im Vorfeld ist herauszufinden, ob die dynamische Kostenvergleichsrechnung für eine Entscheidung ausreichend ist. Diese Frage muß bereits frühzeitig geklärt werden, da ein leistungsfähigeres Bewertungsverfahren eingesetzt werden muß, wenn die dynamische Kostenvergleichsrechnung keine ausreichende Entscheidungshilfe darstellt, und eine rechtzeitige Antwort darauf viel Zeit spart.

Vor der Anwendung der Kostenvergleichsrechnung ist zuerst die Problemstellung zu analysieren und zu ermitteln, welche Ziele erreicht werden sollen. Als zweiter Schritt gilt es verschiedene Alternativen zur Erreichung dieser Ziele zu finden und darzustel-

len. Im dritten Schritt wird die Eignung der dynamischen Kostenvergleichsrechnung überprüft, reicht sie nicht aus, so ist ein leistungsfähigeres Bewertungsverfahren zu wählen.

Stellt sich die dynamische Kostenvergleichsrechnung als geeignet heraus, so läuft die eigentliche Berechnung in fünf Stufen ab (vgl. *LAWA 1998*, 2-1):

1. Ermittlung der Auszahlungen (siehe Kapitel 3.7.1),
2. Finanzmathematische Aufbereitung der Auszahlungen (siehe Kapitel 3.7.2),
3. Vorteilhaftigkeitsvergleich aufgrund der Projektbarwerte bzw. durchschnittlichen Jahreskosten (siehe Kapitel 3.7.3),
4. Sensitivitätsanalyse und Ermittlung kritischer Werte (siehe Kapitel 3.7.4),
5. Gesamtbeurteilung und Ergebnisinterpretation (siehe Kapitel 3.7.5).

### **3.7.1. Ermittlung der Auszahlungen**

Für jedes der Investitionsprojekte sind die entscheidungsrelevanten Aus- bzw. Einzahlungen zu ermitteln, die im Planungsstadium jedoch nur geschätzt werden können. In den *LAWA*-Leitlinien (vgl. *LAWA 1998*, 3-1) ist von „Kosten“ die Rede, es wird jedoch darauf hingewiesen, daß nur „Kosten“ zu berücksichtigen sind, die einen realen Güterverzehr bzw. einen realen Leistungseinsatz darstellen. Gemeint sind daher Cash-flows, d.h. zahlungswirksame Transaktionen, also Auszahlungen.

Obwohl es sich bei der Umsatzsteuer um eine Transfergröße handelt, wird sie aus Praktikabilitätsgründen in der Regel nicht ausgesondert (vgl. *LAWA 1998*, 3-4).

Als Basis für die Schätzung der Auszahlungen sind möglichst genaue Bedarfsangaben erforderlich, zB Länge des Kanalnetzes, Anzahl der Anschlüsse, Anzahl der Pumpwerke und Pläne sowie Zeichnungen der Vorplanung. Zusammen mit fortgeschriebenen Erfahrungswerten über die Auszahlungen kann man die gesamten Auszahlungen annäherungsweise ermitteln (vgl. *LAWA 1998*, 3-3 f.).

Vor allem die Schätzungen der Auszahlungen für wesentliche Anlagenteile sollten in der Vorplanung sorgfältig gemacht werden um eine verlässliche Beurteilung der Vorteilhaftigkeit zu ermöglichen (vgl. *LAWA 1998*, 3-4). Diese Genauigkeit wird erreicht,

indem die Investitionsprojekte von Anfang an in ihre Elemente aufgeteilt werden, die sich im Laufe des Planungsprozesses hierarchisch verfeinern lassen bzw. durch Änderungen der Einflußfaktoren auf ihre Sensitivität hin analysieren lassen um die Entscheidung zu erleichtern.

Diese Kenntnis über die Auszahlungen ist auch deshalb wichtig, weil diese gerade in den frühen Planungsstadien noch am ehesten beeinflusst werden können. Je weiter das Projekt fortgeschritten ist, desto geringer werden die Möglichkeiten, die Auszahlungen zu ändern (vgl. LAWA 1998, 3-4).

Preisangaben aus vergangenen Jahren sind u.U. trotz Anpassung an die allgemeine Inflation nicht direkt zur Planung verwendbar, da ihre Veränderung nicht zwangsläufig mit der allgemeinen Inflation korreliert. Um den realen aktuellen Wert der Auszahlungen zu ermitteln, müssen die nominalen Größen aus der Vergangenheit auf die Kaufkraftverhältnisse des Zeitpunkts der Durchführung des dynamischen Kostenvergleichs bezogen werden. Daten aus früheren Jahren sind daher anhand von Preisindizes, die jährlich u.a. speziell für Ortskanäle und Kläranlagen, aber auch für laufende Auszahlungen ermittelt werden, zu aktualisieren. Sowohl für Daten aus der Vergangenheit als auch für zukünftig erwartete Entwicklungen gilt, daß nur dann eine reale Preisänderungsrate zu berücksichtigen ist, wenn die nominalen Preisänderungen höher oder niedriger sind als die allgemeine Inflationsrate (vgl. LAWA 1998, 3-8).

Häufige Fehler beim Ansatz von Preissteigerungsraten sind der Ansatz von zu hohen Werten, die unkritische Verwendung von kurzfristigen Trends durch Extrapolation vergangener Jahre in die Zukunft, der Ansatz von nominalen statt realer Preissteigerungsraten und die Verwendung einschlägiger Planungsdaten aus statistisch erfaßten Preisentwicklungen ohne Bereinigung von Mengeneffekten, Inflationswirkung oder Änderung der Qualitätsstandards sowie Produktivität, wobei sich die Wirkungen teilweise gegenseitig aufheben (vgl. LAWA 1998, 3-9).

Gibt es Unsicherheiten bei den Auszahlungen, die eine Vorteilhaftigkeitsentscheidung von Alternativen unmöglich machen, so ist die Informationsbasis zu verbessern, bis eine Entscheidung gefällt werden kann. Diese Vorgangsweise läßt sich dadurch rechtfertigen, daß der Planungsaufwand nur einen Bruchteil der verschwende-

ten Mittel beträgt, die aus Fehlentscheidungen resultieren können (vgl. *LAWA* 1998, 3-5).

Im Allgemeinen wird es ausreichen, die Auszahlungsposten nach Investitionen bzw. Reinvestitionen und laufende Auszahlungen zu gliedern, nur in besonderen Fällen, zB bei wesentlicher Änderung des Abwasseranfalls innerhalb der Nutzungsdauer, ist eine detailliertere Unterscheidung zweckmäßig (vgl. *LAWA* 1998, 3-1).

Prozentuelle Aufschläge für „Unvorhergesehenes“ können bei einzelnen Posten angesetzt werden, wo ein spezielles Risiko bezüglich Mengen und/oder Preisen vermutet wird. Ihre Auswirkung kann in einer Sensitivitätsanalyse untersucht werden (vgl. *LAWA* 1998, 3-5).

Die finanzmathematische Aufbereitung der Auszahlungen von Abwasserentsorgungsprojekten erfolgt nach folgender Gliederung:

- Investitionen: sind einmalige Auszahlungen für die Erstellung oder den Erwerb von Anlagen
- Reinvestitionen: sind Auszahlungen zur Erneuerung von Anlagen oder Anlagenteilen nach Ablauf ihrer Nutzungsdauer. Für die Berechnung werden durchschnittliche Nutzungsdauern herangezogen.
- Laufende Auszahlungen („Betriebskosten“): sind die für Betrieb, Wartung, Instandhaltung und Überwachung von Anlagen in der Betriebsphase regel- oder unregelmäßige Auszahlungen, dazu zählen Auszahlungen für Personal, Energie und Betriebsmittel.
- Gesamtauszahlungen: werden durch den Projektbarwert oder die durchschnittlichen Jahreskosten repräsentiert, die sich aus der Lebensdauer und einem angenommenen volkswirtschaftlichen Zinssatz ergeben. Der Vorteil der durchschnittlichen Jahreskosten ist deren einfache Vergleichbarkeit (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 35).

Die Investitionen können weiter in Auszahlungen für Planung, Grunderwerb, Vorarbeiten, Bau und Erschließung aufgegliedert werden.

Zu den laufenden Auszahlungen zählen Auszahlungen für

- Personal
- Wartung und Instandhaltung (Sachkosten, Leistungen durch Dritte)
- Energie (zB Strom, Gas)
- Sonstige Betriebskosten (zB Chemikalien und Fällmittel, Schlamm Entsorgung, wobei landwirtschaftliche Verwertung billiger ist als Deponierung)
- Betriebskostenanteile von gemeinsam benutzten Anlagen
- Transportkosten, zB Fahrzeug, Behälter (vgl. *Kuhnert* 1996, S. 50 und *LAWA* 1998, 3-2).

### **3.7.2. Finanzmathematische Aufbereitung der Auszahlungen**

Der Zeitraum, in dem die Auszahlungen für ein Investitionsprojekt anfallen, geht von den ersten Planungen bis zum Ende der Nutzungsdauer. Wie bereits in dieser Arbeit beschrieben, werden sämtliche Auszahlungen eines Jahres zusammengefaßt und jeweils am Jahresende verrechnet, wodurch man eine jährliche Zahlungsreihe erhält (vgl. *LAWA* 1998, 4-1).

Um den Untersuchungszeitraum für die dynamische Kostenvergleichsrechnung festzulegen wird in einem ersten Schritt der Zeitraum für die einzelnen Investitionsprojekte bestimmt. Dieser Zeitraum hängt von der Dauer der Investitions- und Betriebsphase ab, wobei die Betriebsphase von der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage bzw. der Anlagenteile abhängt. Dazu werden in der Praxis die durchschnittlichen Nutzungsdauern vergleichbarer Anlagen herangezogen. Weil ein Investitionsprojekt aus verschiedenen Teilen mit unterschiedlichen Nutzungsdauern besteht, sind innerhalb der Betriebsphase einzelne Anlagenteile zu ersetzen und die entsprechenden Reinvestitionen zu berücksichtigen. Im zweiten Schritt wird daraufhin eine alternativenübergreifende Abstimmung der individuellen Untersuchungszeiträume vorgenommen (vgl. *LAWA* 1998, 4-2 u. 4-3).

Für die Anwendung finanzmathematischer Formeln zur zeitlichen Gewichtung von Kostengrößen wird wie folgt unterschieden:

- einmalige Auszahlungen
- jährlich wiederkehrende gleiche Auszahlungen (gleichförmige Zahlungsreihen)

- progressiv steigende Zahlungsreihen (Zahlungsreihen, die jährlich um den gleichen Prozentsatz steigen).

Um eine künftige Inflation in der Berechnung zu berücksichtigen, gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder man ermittelt die nominellen künftigen Zahlungen, also die an die Inflation angepaßten und damit erhöhten, und diskontiert sie mittels des nominalen Zinssatzes, oder man paßt die Zahlungen nicht an, sondern legt der Berechnung das Preisniveau von  $t_0$  zugrunde. Dann darf jedoch nur mit dem erwarteten Realzinssatz diskontiert werden, was wesentlich praktikabler ist (vgl. Swoboda 1996, S. 66 f.).

Im Normalfall wird man den Ansatz von Preissteigerungsraten für eine Ersatzinvestition nicht begründen können, die den gleichen Leistungsumfang wie die ursprüngliche Investition bietet. Allerdings wird im Rahmen dieser Arbeit auch ein Vergleich von Investitionsprojekten mit neuartigen Alternativen angestellt, von denen man annehmen könnte, daß deren Preise mit ihrer Verbreitung in Zukunft fallen werden. Daher kann die im Beispiel 13 demonstrierte Vorgangsweise zur Berücksichtigung von Preissteigerungen analog angewendet werden um etwaige Preissenkungen zu berücksichtigen.

Die relative Vorteilhaftigkeit einer Maßnahme ergibt sich bei der dynamischen Kostenvergleichsrechnung speziell durch einen niedrigeren Barwert der Auszahlungen im Vergleich zu den Alternativen (vgl. LAWA 1998, 4-2).

### **3.7.3. Vorteilhaftigkeitsvergleich**

Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß aufgrund der Langlebigkeit der wasserwirtschaftlichen Anlagen eine dynamische Berechnung vorzunehmen ist, da eine statische Vorgehensweise zu beträchtlichen Fehlinformationen führt. Grundsätzlich kann man zur Feststellung der Vorteilhaftigkeit die Summen der Barwerte sämtlicher Ein- und Auszahlungen der Investitionsprojekte (Projektbarwert) oder deren durchschnittliche Jahreskosten (Annuitäten) miteinander vergleichen. Da sich die beiden Berechnungen ähnlich sind und die Umwandlung des einen Wertes in den anderen lediglich eine Multiplikation mit einem Umrechnungsfaktor erfordert, ist es für die Ent-

scheidungsfindung aussagekräftiger und hilfreich beide Arten der Berechnung vorzunehmen (vgl. LAWA 1998, 5-1).

Die Vorgangsweise bei der Berechnung ist davon abhängig, welcher der folgenden drei Möglichkeiten sich die Umstände der Untersuchung zuordnen lassen.

- Die zu vergleichenden Investitionsprojekte haben den gleichen Investitionszeitpunkt und die gleiche Nutzungsdauer. In diesem Fall ist ein einfacher Projektbarwert- oder/und Jahreskostenvergleich zweckmäßig (vgl. LAWA 1998, 5-2).
- Die Alternativen weisen zwar den gleichen Investitionszeitpunkt auf, jedoch unterschiedliche Nutzungsdauern. Kann man davon ausgehen, daß die realen Reinvestitionen den Erstinvestitionen entsprechen und die laufenden Auszahlungen als konstant ansetzbar sind, so können, ähnlich der vorhergehenden Möglichkeit, die Projektbarwerte und/oder Jahreskosten verglichen werden. Das ist allerdings nur möglich, wenn unter der Annahme der identischen Reinvestition der kürzeren Alternative insgesamt eine gleich lange Nutzungsdauer gefunden werden kann. Das ist zB der Fall wenn Alternativen mit Nutzungsdauern von 50 bzw. 25 Jahren zu vergleichen sind. Dann kann für die kürzere Variante eine identische Reinvestition angenommen werden, so daß insgesamt 50 Jahre verglichen werden. Das Ansetzen eines Restwertes für den Zeitraum, den die langlebigere Alternative im Gegensatz zur kürzeren aufweist, ist methodisch abzulehnen. Einerseits handelt es sich beim Restwert um eine fiktive Größe, andererseits ist führt eine derartige finanzmathematische Berechnung zu Fehlinformationen, da die Alternative mit der größeren Nutzungsdauer benachteiligt wird. Es ist daher zu unterlassen einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren zu wählen um Alternativen mit 25 bzw. 50 Jahren Nutzungsdauer zu vergleichen und für die langlebigere einen Restwert anzusetzen (vgl. LAWA 1998, 5-2 u. 5-5 bis 5-8).
- Ist es nicht möglich, ein kleinstes gemeinsames Vielfaches zur Festlegung eines realistischen Untersuchungszeitraums zu finden, so eignet sich ein Vergleich der zeitlichen Entwicklung der Projektbarwerte über einen genügend langen Betrachtungszeitraum. Diese Vorgehensweise ist auch angebracht, wenn sich die Investitionszeitpunkte der Alternativen voneinander unterscheiden. Das kann beim Vergleich von Stufenausbaukonzepten als Alternative zum sofortigen Vollausbau, bei

Notwendigkeit eine Anlage vorzeitig zu ersetzen oder wenn sich die notwendigen Reinvestitionen von Erstinvestitionen unterscheiden der Fall sein (vgl. *LAWA* 1998, 5-8).

#### **3.7.4. Sensitivitätsanalyse und Ermittlung kritischer Werte**

Sensitivitätsanalysen sind ein wichtiger Bestandteil der Entscheidungsvorbereitung, da die der Kostenvergleichsrechnung zugrundeliegende Planung mit Unsicherheiten behaftet ist. Durch die Sensitivitätsanalyse können die Auswirkungen möglicher Änderungen wesentlicher Rechengrößen auf das Ergebnis geprüft werden. So kann ermittelt werden, wie sich die Kapitalwerte oder Projektbarwerte und die durchschnittlichen Jahreskosten bzw. die Vorteilhaftigkeit der Alternativen ändern, wenn unterschiedliche Annahmen bezüglich Zinssatz, Nutzungsdauern, Untersuchungszeitraum, Investitionen und laufende Auszahlungen (bei Mengen- und/oder Preisänderungen) getroffen werden. Damit wird die Berechnung transparenter und subjektive Einflüsse bei der Festlegung der Kalkulationsgrundlagen werden relativiert. Unter Umständen kann es auch interessant sein Kombinationen von veränderten Werten zu untersuchen (vgl. *LAWA* 1998, 6-1).

Das Risiko für den Investor, das sich ja auch im Kalkulationszinssatz widerspiegelt, ergibt sich vor allem aus der Unsicherheit der zukünftigen Zahlungen (sowohl Ein- als auch Auszahlungen). Das Risiko ist größer, wenn die Schwankungen um den Erwartungswert höher sind bzw. wenn extreme Werte mit höherer Wahrscheinlichkeit eintreffen. Bleibt das Ersatzzielkriterium trotz relativ starker Änderung der analysierten Daten positiv bzw. bleibt ein Investitionsprojekt trotzdem relativ vorteilhaft, so sind die Ergebnisse in Hinblick auf die Datenänderungen nicht sensitiv und das daraus erwachsende Risiko ist damit gering (vgl. *Swoboda* 1996, S. 132 f.).

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse können auch kritische Werte ermittelt werden. Kritische Werte im Zusammenhang mit Sensitivitätsanalysen ergeben sich, wenn eine ursprünglich vorteilhafte Alternative aufgrund von Veränderung einer Rechengröße dieselben Jahreskosten bzw. denselben Projektbarwert aufweist wie eine vorher ungünstige Alternative. Kritische Werte stellen demnach Höchst- bzw. Mindestwerte für die Vorteilhaftigkeit der einen oder anderen Alternative dar. Durch die Er-

mittlung dieser Werte kann die Stabilität der Berechnungsergebnisse besser beurteilt werden (vgl. *LAWA* 1998, 6-1). Dazu kann beispielsweise überprüft werden, um wieviel die anfänglichen Investitionen steigen dürfen, damit der Kapitalwert positiv bleibt bzw. damit ein bestimmtes Investitionsprojekt günstiger als seine Alternative bleibt. Beim kritischen Wert sind zwei Alternativen gleichwertig (vgl. *Swoboda* 1996, S. 133).

### **3.7.5. Gesamtbeurteilung und Ergebnisinterpretation**

Abschließend werden die Ergebnisse der dynamischen Kostenvergleichsrechnung zusammenfassend beurteilt und interpretiert. Daraus ist ein Vorschlag für die Entscheidungsfindung zu formulieren. Gibt es keine eindeutig vorteilhafte Variante, so sollte eine Vorauswahl von in eine detaillierte Planung einzubeziehenden Alternativen getroffen werden.

Weil jedes Ergebnis davon abhängt, welche Annahmen den Kalkulationen zugrunde liegen, sind diese zusammengefaßt darzustellen. Zinssatz, Nutzungsdauern, Preisstand der Kostenermittlungen, Annahmen über reale Preissteigerungen und Annahmen im Rahmen von Sensitivitätsanalysen sollten übersichtlich aufgezeigt werden. Nur so kann der Entscheidungsträger bzw. Leser das Ergebnis der Berechnungen rational interpretieren.

Die Zahlungsstrukturen der zu vergleichenden Alternativen sollten einander gegenübergestellt werden, um eine Grundlage über die Zusammensetzung der zu interpretierenden Barwerte und/oder Jahreskosten zu vermitteln. Danach werden Schlußfolgerungen aus den Sensitivitätsanalysen präsentiert.

Sind Alternativen aufgrund der Ergebnisse der Berechnungen sehr ähnlich zu bewerten, so sind auch andere Entscheidungskriterien, wie Leistungsunterschiede, Verfügbarkeit der Anlagen, Betriebssicherheit, Flexibilität u.ä., miteinzubeziehen und besonders herauszuarbeiten sowie zu argumentieren.

Es ist auch zu überlegen, ob es Gründe gibt, eine Variante zu wählen, die von der wirtschaftlich günstigsten Lösung abweicht. Obwohl der dynamische Kostenvergleich

eine wesentliche Entscheidungshilfe darstellt, kann es dennoch Ziele und Randbedingungen geben, die – wenn stichhaltig begründbar – zu einer anderen Entscheidung führen (vgl. *LAWA* 1998, 7-1).

## 4. Durchführung der dynamischen Kostenvergleichsrechnung

### 4.1. Zielsetzung

In dieser Arbeit werden Auszahlungen und ggf. auch die Einzahlungen unterschiedlicher Varianten von Abwassersystemen auf Basis der Barwertmethode bzw. der Annuitätenmethode miteinander verglichen. In der finanzmathematischen Theorie ist das Ziel üblicherweise die Maximierung des Unternehmenswertes für die Anteilseigner zu einem bestimmten Zeitpunkt (vgl. *Swoboda* 1996, S. 16). Im Fall der kommunalen Abwasserentsorgung soll jedoch ein bestimmtes vorgegebenes Ziel unter Einsatz möglichst geringer Ressourcen erreicht werden. Dafür eignet sich die dynamische Kostenvergleichsrechnung, die vom Prinzip her der Kapitalwertmethode ähnelt. Anstatt einer Normalinvestition, bei der zu Beginn eine Auszahlung und danach Einzahlungen erfolgen, liegen beim dynamischen Kostenvergleich fast ausschließlich Auszahlungen vor. Diese werden jedoch genauso wie die Zahlungsströme einer Normalinvestition auf den Entscheidungszeitpunkt abgezinst. Analog zur Kapitalwertmethode sind spätere Zahlungen minder zu schätzen als frühere, da später zu zahlende Beträge bis zum Zeitpunkt der Zahlung zum angenommenen Kalkulationszinssatz angelegt werden können (vgl. *Swoboda* 1996, S. 21 f.).

Die dynamische Kostenvergleichsrechnung entspricht der Zielsetzung der Unternehmenswertmaximierung, nur werden die Salden der Barwerte der Zahlungsströme verglichen, um die relative Vorteilhaftigkeit zu ermitteln. Weil ein bestimmtes Ziel – die Herstellung einer Infrastruktur zur Abwasserentsorgung – auf jeden Fall erreicht werden soll und damit eine Nicht-Durchführung außer Frage steht, ist zur Bewertung der Alternativen ein absoluter Vorteilhaftigkeitsvergleich weder notwendig noch sinnvoll. Unter der Voraussetzung, daß die zu vergleichenden Alternativen das vorgegebene Ziel im Wesentlichen gleich gut erreichen, ist lediglich ein relativer Vorteilhaftigkeitsvergleich vorzunehmen. Zur Ermittlung der Vorteilhaftigkeit können demnach die Barwerte bzw. die äquivalenten Annuitäten (durchschnittlichen Jahreskosten) zum Vergleich herangezogen werden. Der Interne Zinsfuß läßt sich im Rahmen der dynamischen Kostenvergleichsrechnung nicht berechnen, da der Kapitalwert bei keinem Zinssatz Null sein kann, wenn nur Auszahlungen vorliegen.

Es gibt kein Patentrezept für den Ausbau der siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastruktur in ländlichen Gebieten. Auch ist es nicht möglich festzulegen, ab welcher Einwohnerdichte eine zentrale gegenüber einer dezentralen Lösung wirtschaftlicher ist. Genausowenig kann generell gesagt werden, welche Art der Entsorgung bei dezentralen Lösungen besser ist, sondern muß im Einzelfall aufgrund der Rahmenbedingungen untersucht werden (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 7).

Abwasserentsorgung ist ein sogenanntes „Mehrzielproblem“, bei dem Nutzen und Schaden nicht nur mit einer monetären Größe beschreibbar ist. Der oft verwendete Zielrahmen der LAWA definiert grobe Ziele wie gesamtwirtschaftliche Effizienz, Umweltqualität, Regionalentwicklung und soziales Wohlbefinden (vgl. *BMLFUW* 2002, S. 8). Demnach kann erst nach Auswahl mehrerer Varianten, die den definierten Zielen entsprechen, eine weitere Untersuchung auf Basis von monetären Größen vorgenommen werden.

#### **4.2. Berechnung der Vorteilhaftigkeit mit Excel**

Die Excel-Arbeitsmappen zur Berechnung der Projektbarwerte und durchschnittlichen Jahreskosten der zu untersuchenden Abwasserentsorgungsprojekte bestehen aus mehreren Arbeitsblättern. Für jeden Ort wurden mehrere Arbeitsmappen angelegt, um die Auswirkungen unterschiedlicher Annahmen untersuchen zu können. Für jede Investitionsalternative wurden die zugehörigen Systemkomponenten (Höhe der Auszahlungen und Mengen) in einem eigenen Arbeitsblatt eingetragen. In Abbildung 19 ist ein Screenshot von Variante B 3a für Höf (Beschreibung siehe Kapitel 4.5.1) als Beispiel dargestellt. Anhand der Abbildung wird der Aufbau eines solchen Arbeitsblatts erklärt.

In Zelle G1 (G1 und G2 sind miteinander verbunden, G1 ist jedoch die für Verknüpfungen relevante Zelle) wird der Betrachtungszeitraum eingetragen, je nach Eingabe wird daraufhin die Anzahl der Spalten, die für die Berechnung der Barwerte verwendet werden, durch ein Makro automatisch angepaßt. Für diese Untersuchung wurden 50 Jahre angenommen. Alle Zellen in hellgelb (siehe Zelle I1) und die Beschriftungen der Zeilen in den Spalten A bis D sowie F dürfen verändert werden. Dort werden Beschriftungen, Anzahl der Systemkomponenten und die damit zusammenhängenden

Auszahlungen pro angegebene Einheit eingetragen. In Zeile 14 sind zB 28 Hausanschlüsse zu je 1.000 Euro ausgewiesen. Die Nutzungsdauer von 40 Jahren in Zelle K14 ist mit einem anderen Arbeitsblatt (siehe Abbildung 20) verknüpft, damit sämtliche Nutzungsdauern in einem Schritt verändert werden können. Zellen, die Formeln enthalten, sind nicht zu überschreiben.

Durch die Verwendung von Makros kann auch die Anzahl ähnlicher Anlagen verändert werden. Sind zB in einer Variante mehrere Belebungsanlagen in unterschiedlichen Größen vorgesehen, kann in Zelle A86 die entsprechende Anzahl eingegeben werden. Das Makro fügt dann zusätzliche Zeilen ein, in denen die notwendigen Eingaben vorgenommen werden können.

Je nachdem, ob es sich um Investitionen oder laufende Auszahlungen handelt, unterscheiden sich die Formeln in den Zeilen des Arbeitsblattes. Die Investitionen sind in den Spalten H und L ausgewiesen, die Summe der nicht abgezinsten Reinvestitionen in Spalte I. Abhängig von der angezeigten Nutzungsdauer in Spalte K werden in den darauffolgenden Spalten die Reinvestitionen automatisch in den entsprechenden Jahren eingetragen. Da in Excel die Verschachtelung von WENN-Funktionen begrenzt ist, werden maximal fünf Reinvestitionen berücksichtigt. Daher ist darauf zu achten, daß die Systemkomponenten bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren eine Nutzungsdauer von höchstens 10 Jahren aufweisen dürfen. Wird kein Prozentsatz für eine lineare Preissteigerung bzw. Preissenkung im dafür vorgesehenen Arbeitsblatt (siehe Abbildung 20) eingegeben, so handelt es sich um identische Reinvestitionen. Laufende Auszahlungen werden in Spalte J ausgewiesen und in den folgenden Spalten zur Berechnung als konstant angenommen, wenn kein Prozentsatz für Preisänderungen eingegeben wird. Einzahlungen werden mit negativem Vorzeichen eingegeben, in Zeile 113 sind beispielsweise jährliche Einzahlungen von -175 berücksichtigt.

Am unteren Ende der Tabelle werden in Zeile 115 die Summen der Spalten, von denen jede jeweils ein Jahr repräsentiert, gebildet. In der Zeile darunter wird der Barwert jedes Jahres durch Abzinsen mit dem Kalkulationszinssatz, der aus dem bereits erwähnten separaten Arbeitsblatt übernommen wird, berechnet. Am Ende von Zeile 116 ergibt sich durch Addition der Barwerte sämtlicher Jahre der Projektbarwert. In

Zeile 117 werden die Barwerte der Jahre über den Betrachtungszeitraum kumuliert, was notwendig ist, um den Verlauf der Barwertentwicklung in einem Diagramm grafisch darzustellen (als Beispiel siehe Abbildung 28). Dadurch kann auch leicht festgestellt werden, ob eine Variante in Laufe des Betrachtungszeitraums vorteilhafter wird als eine andere und ab wann dies der Fall ist.

In Zelle BK117 wird aus dem Projektbarwert mit Hilfe der Excel-Funktion „RMZ“, das steht für „Regelmäßige Zahlung“, die äquivalente Annuität ermittelt. Auch diese durchschnittlichen Jahreskosten werden einander in einem Diagramm grafisch gegenübergestellt (siehe zB Anlage 4). Um die Informationen im Balkendiagramm leichter interpretieren zu können, werden die Annuitäten vor der grafischen Darstellung in einem separaten Arbeitsblatt aufsteigend sortiert. Auch dazu wird ein Makro verwendet, das man jedoch über einen Button manuell aktivieren muß. Der Button wurde deshalb vorgesehen, weil es in einigen Fällen, zB bei Sensitivitätsanalysen, gewünscht sein kann die ursprüngliche Reihenfolge der Balken im Diagramm nach Eingabe neuer Werte beizubehalten.

Im bereits erwähnten Arbeitsblatt (siehe Abbildung 20) können die Nutzungsdauern der Systemkomponenten, der Kalkulationszinssatz sowie etwaige Preisänderungsraten für die Investitionsprojekte eingegeben werden. Auf diese Weise können wichtige Einflußfaktoren zentral für alle Alternativen eingegeben bzw. verändert werden, was insbesondere für Sensitivitätsanalysen relevant ist.

Für die Berechnung wird angenommen, daß die Auszahlungen für Betrieb und Wartung sämtlicher Systemkomponenten über die Nutzungsdauer gleich bleiben, so fallen für ältere Anlage keine höheren Wartungsauszahlungen an als für neue. Auch gibt es keinen Restwert, da sämtliche Anlagen bis zum Ende ihrer Nutzungsdauer verwendet werden sollen. Für sämtliche Anlagen wurde angenommen, daß sich die Investitionsauszahlungen zu 65 % auf den baulichen Teil beziehen und zu 35 % auf den maschinellen Teil.

Abbildung 19: Screenshot - Excel-Arbeitsblatt Höf Variante B 3a

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	BI	BU	BK
1	<b>Auszahlungen/Einzahlungen</b>																
2	B3a nur Felder mit dieser Farbe verändern! Variante Höf B 3a																
3	50																
12	<b>Hausableitungen</b>																
13	Leitungsinstallation																
14	Hausanschlüsse																
15	<b>Ableitungen Kanäle</b>																
16	Freispiegelkanal																
17	Ableitungskanal DN 150																
25	Betrieb																
26	Wassentrennung																
27	Installation Gelbwassentrennung C																
28	Installation Komplette Trennung A																
29	Installation Komplette Trennung C																
36	Druckkanal																
37	Druckleitung PE 54"																
38	Transportkanal PE DN 80																
45	Betrieb																
46	<b>Anlagen Kanal</b>																
47	1 Pumpwerk(e) für Druckleitung für 10 EW																
48	Investition baulich																
49	pro maschinell																
50	Anlage elektrisch/steuertechnisch																
51	Betrieb laufender Betrieb																
52	pro Jahr Energie																
59	<b>Speicheranlagen</b>																
60	Gelbwasserspeicher 0,5 m³																
61	Gelbwasserspeicher 1,0 m³																
62	Gelbwasserspeicher 1,5 m³																
63	Gelbwasserspeicher 2,0 m³																
64	Rottebehälter																
65	Großbehälter / Fertigteil 40 m³																
66	Großbehälter / Fertigteil 50 m³																
67	<b>Abwasserreinigungsanlage</b>																
68	1 Belebungsanlage(n)																
69	Investition baulich (ARA 90 EW)																
70	pro maschinell																
71	Anlage elektrisch/steuertechnisch																
72	Betrieb laufender Betrieb																
73	pro Jahr Energie																
110	<b>Einzahlungen</b>																
111	für Gelbwasser																
113	Summen																
116	Barwerte																
117	Barwerte kumuliert																

Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 20: Screenshot - Eingabe von Nutzungsdauern und Zinssätzen**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>Nutzungsdauern</b>			<b>Zinssätze</b>				
2			<b>ND</b>	<b>Zinssatz</b>			3,00%	p. a.
3	<b>Trenntoilette</b>		25	<b>Steigerungsrate</b>				
4	<b>Hausanschlüsse</b>		40		für Betriebskosten		0,00%	p. a.
5	<b>Leitungen Kanal</b>		50		für Energiekosten		0,00%	p. a.
6	<b>Druckleitungen</b>		40		für Anlagen (konventionell)		0,00%	p. a.
7	<b>Pumpwerk für Druckleitung</b>				für Anlagen (neu)		0,00%	p. a.
8		baulich	30		für Erträge		0,00%	p. a.
9		maschinell	10					
10		elektrisch/steuertechnisch	20					
11	<b>Vakuumsstation für Vakuumentwässerung</b>							
12		baulich	40					
13		maschinell	20					
14		elektrisch/steuertechnisch	20					
15	<b>Speicher</b>							
16		Septic Tank	50					
17		Senkgrube	50					
18	<b>Belebungsanlage</b>							
19		baulich	25					
20		maschinell	25					
21		elektrisch/steuertechnisch	10					
22	<b>Pflanzenkläranlage</b>							
23		baulich	15					
24		maschinell	15					
25		elektrisch/steuertechnisch	15					

Quelle: Eigene Darstellung

### 4.3. Kostenvergleichsrechnung für die Orte

Im Rahmen des Praxisteils dieser Arbeit wurden für einige österreichische Orte jeweils mehrere Varianten von Abwasserentsorgungssystemen einander mit Hilfe der dynamischen Kostenvergleichsrechnung gegenübergestellt um die vorteilhafteste Variante zu ermitteln. Die finanzmathematischen Grundlagen wurden in Kapitel 3 erläutert, die konkrete Durchführung in Kapitel 4.2. Die Varianten wurden im Rahmen einer eigenen Diplomarbeit von Stefan Köck, Student an der Universität für Bodenkultur, geplant (vgl. Köck 2004), wobei teilweise auch Daten vom Planungsbüro Dr. Flögl übernommen wurden. Es wird davon ausgegangen, daß sämtliche Varianten das Ziel der kommunalen Abwasserentsorgung im Wesentlichen gleich gut erreichen.

Die Varianten für jeden Ort werden zunächst kurz beschrieben, die Auszahlungsgrundlagen werden jeweils im Anhang dargestellt. Die Daten der Varianten für jeden Ort wurden in die vorgesehenen Arbeitsblätter der Excel Arbeitsmappen eingegeben um die entsprechenden Projektbarwerte und Annuitäten für einen 50jährigen Betrachtungszeitraum zu ermitteln. Mit Hilfe der Ergebnisse in Tabellenform und den

zugehörigen Diagramme werden die Ergebnisse analysiert und interpretiert sowie anhand einer Sensitivitätsanalyse auf ihre Beständigkeit bei Änderung wesentlicher Einflußfaktoren überprüft werden. Um die Auswirkung von verschiedenen Kostendaten zu prüfen wurden für jeden Ort mehrere Excel-Arbeitsmappen angelegt. Schließlich soll eine Empfehlung für die Durchführung einer Alternative ausgesprochen und begründet werden.

#### 4.4. Allgemeine Variantenübersicht

Das allgemeine Schema für die Varianten ist folgendes:

- A Varianten für gemeinsame Abwässer ohne Trennung
  - A 1 Variation der Standorte und der Anzahl der ARA
  - A 2 Varianten mit Abwasserspeicher vor Ort  
Senkgruben, Speicher / Septic Tanks bzw. Aquatron
- B Varianten mit Teilstromtrennung
  - B 1 Trennung Schwarz- und Grauwasser
  - B 2 Gelbwassertrennung
  - B 3 Komplette Trennung in Braun-, Gelb- und Grauwasser
- C Mischvarianten
  - C 1 Kombination (konventionell, Senkgruben, Gelbwassertrennung, PKA)

Die folgende Tabelle zeigt die angenommenen Nutzungsdauern für die einzelnen Systemkomponenten. Diese Daten wurden teilweise den LAWA-Leitlinien entnommen (vgl. LAWA 1998, Anlage 1-1 f.).

**Abbildung 21: Nutzungsdauern der Systemkomponenten**

Komponente	Nutzungsdauer (in Jahren)
Trenntoilette	25
Hausanschluß	40
Kanal	50
Druckleitung	40
Pumpwerk baulich	30
Pumpwerk maschinell	10
Septic Tank	50
Senkgrube	50
Belebungsanlage (ARA)	25
Pflanzenkläranlage (PKA)	15

Quelle: In Anlehnung an LAWA 1998, Anlage 1-1 f.

#### 4.5. Dynamische Kostenvergleichsrechnung für Höf

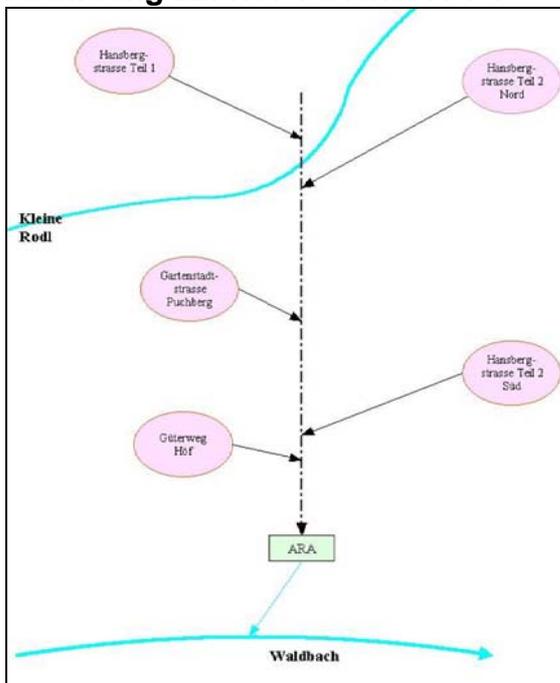
Insgesamt wurden für den Ort Höf 17 Varianten von Abwasserentsorgungssystemen in den dynamischen Kostenvergleich miteinbezogen. Die eingegebenen Daten zur Errechnung der Projektbarwerte und durchschnittlichen Jahreskosten finden sich im Anhang. Die Mengen der Systemkomponenten sind in Anlage 1 und Anlage 2 angegeben. Die Auszahlungsgrundlagen für Höf stammen aus Vorgaben der niederösterreichischen bzw. oberösterreichischen Landesregierung, teilweise gibt es abweichende Angaben von einem Planungsbüro, die ebenfalls berücksichtigt werden (siehe Anlage 3).

##### 4.5.1. Beschreibung der Varianten

###### Variante A 1-1

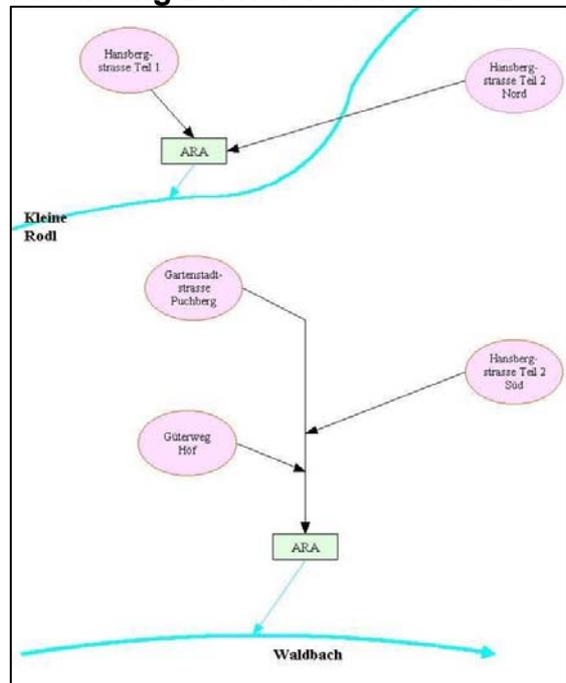
Diese Variante wurde vom Linzer Planungsbüro Dr. Flögl erstellt, und sieht die Errichtung einer ARA vor, die auf 90 EW ausgelegt ist. Das Abwasser wird ungetrennt, teilweise mit Hilfe von zwei Pumpwerken (je auf 10 EW ausgelegt), mittels Nebenkanälen einem Sammelkanal zugeführt und zur Kläranlage geleitet. Das gereinigte Abwasser wird in den Waldbach eingeleitet (siehe Abbildung 22).

Abbildung 22: Höf Variante A 1-1



Quelle: Köck 2004

Abbildung 23: Höf Variante A 1-2



Quelle: Köck 2004

### **Variante A 1-2**

Wie Variante A 1-1, jedoch kann auf die beiden Pumpwerke verzichtet werden, dafür gibt es eine ARA für 20 EW und eine zweite für 70 EW. Die gereinigten Abwässer werden in die Kleine Rodl sowie in den Waldbach geleitet (siehe Abbildung 23).

### **Variante A 1-3**

Wie Variante A 1-2, jedoch mit drei ARA, ausgelegt auf 16, 20 und 55 EW.

### **Variante A 2-1**

Für die Beibehaltung der bestehenden Senkgruben ist deren Flüssigkeitsdichtheit Grundvoraussetzung, ansonsten ist eine Reparatur bzw. Neuerrichtung erforderlich. Die Entsorgung des Inhaltes hängt davon ab, ob ein landwirtschaftlicher Betrieb oder ein Privathaushalt vorliegt. Es wird angenommen, daß die im Ort ansässigen Landwirte (1 Vollerwerb, 3 Nebenerwerb) maximal den Senkgrubeneinhalt von 20 EGW selbst verwenden können. Nichtlandwirte müssen den Inhalt zur Kläranlage des Reinhaltverbandes Mittleres Rodltal abtransportieren und dort entsorgen. Die Entfernung dorthin beträgt ca. 10 km (siehe Abbildung 24).

### **Variante A 2-2**

Es wird die Verwendung von Septic Tanks (siehe Kapitel 2.6.1.2) untersucht, wobei 24 Stück mit einem Volumen von 3.800 Litern und 4 Stück mit 5.700 Litern Inhalt geplant wurden. Das restliche Abwasser wird in einer ARA (90 EW) gereinigt und in den Waldbach geleitet, die Feststoffe aus den Speicherbehältern können zB in einer Kompostierungsanlage behandelt werden.

### **Variante A 2-3**

Wie die vorhergehende Variante, jedoch zwei ARA, eine für 20 EW und eine für 70 EW, das gereinigte Abwasser wird in den Waldbach bzw. die Kleine Rodl geleitet.

### **Variante A 2-4**

Ähnlich den beiden vorhergehenden Varianten, mit insgesamt drei ARA (für 16, 20 und 55 EW).

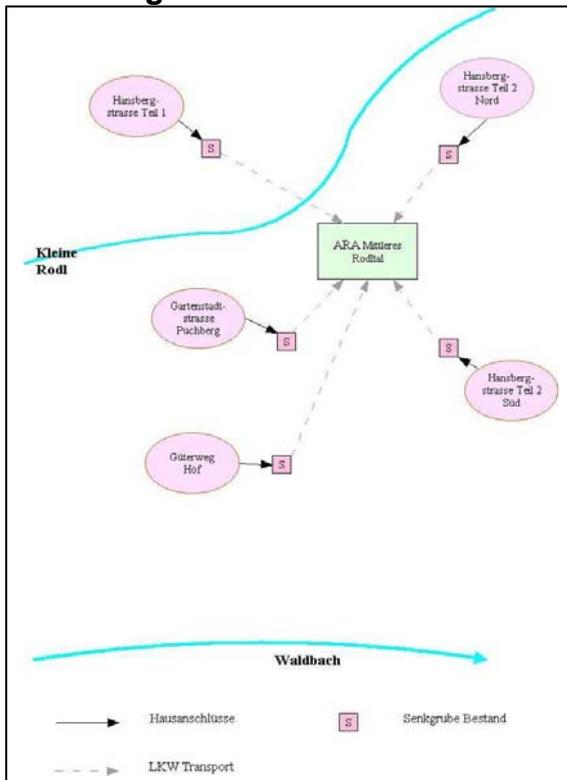
## Variante A 2-5

In dieser Variante kommt das Aquatron-Hybridtoilettensystem der schwedischen Firma Aquatron International AB zur Anwendung (siehe Kapitel 2.6.1.3). Das entkeimte Abwasser wird mit Hilfe von zwei Pumpwerken durch ein PE-Schlauchsystem zu einer Kläranlage, die für 90 EW dimensioniert ist, geleitet. Der gesammelte Urin kann zur landwirtschaftlichen Nutzung verkauft werden (siehe Abbildung 25).

## Variante A 2-6

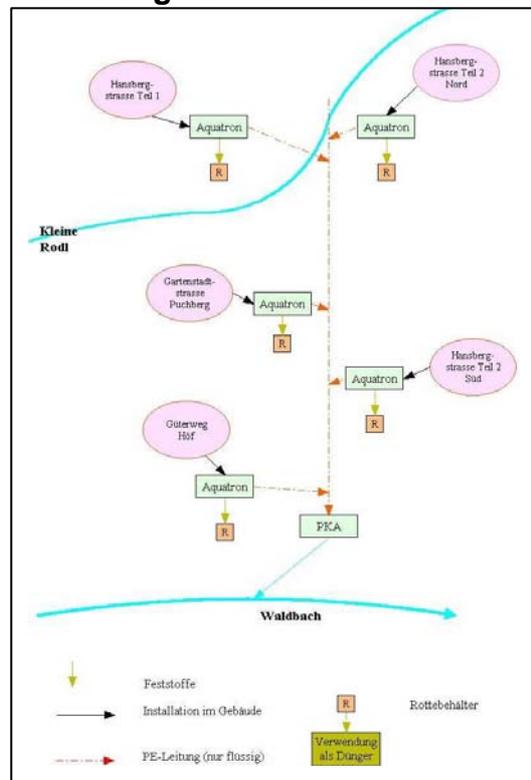
Wie Variante A 2-5, jedoch mit einer ARA für 20 EW und einer für 70 EW, es sind keine Pumpwerke erforderlich.

Abbildung 24: Höf Variante A 2-1



Quelle: Köck 2004

Abbildung 25: Höf Variante A 2-5



Quelle: Köck 2004

## Varianten B 1

Schwarz- und Grauwasser wird bereits innerhalb der Gebäude getrennt, die Leitungen in den Gebäuden müssen daher verändert werden. Dadurch kann das wenig behandlungsbedürftige Grauwasser einer (Variante B 1a) bzw. zwei (Variante B 1b) Pflanzenkläranlagen im Ort, das Schwarzwasser der Kläranlage des Reinhalteverbandes zugeführt werden bzw. in der Landwirtschaft ausgebracht werden.

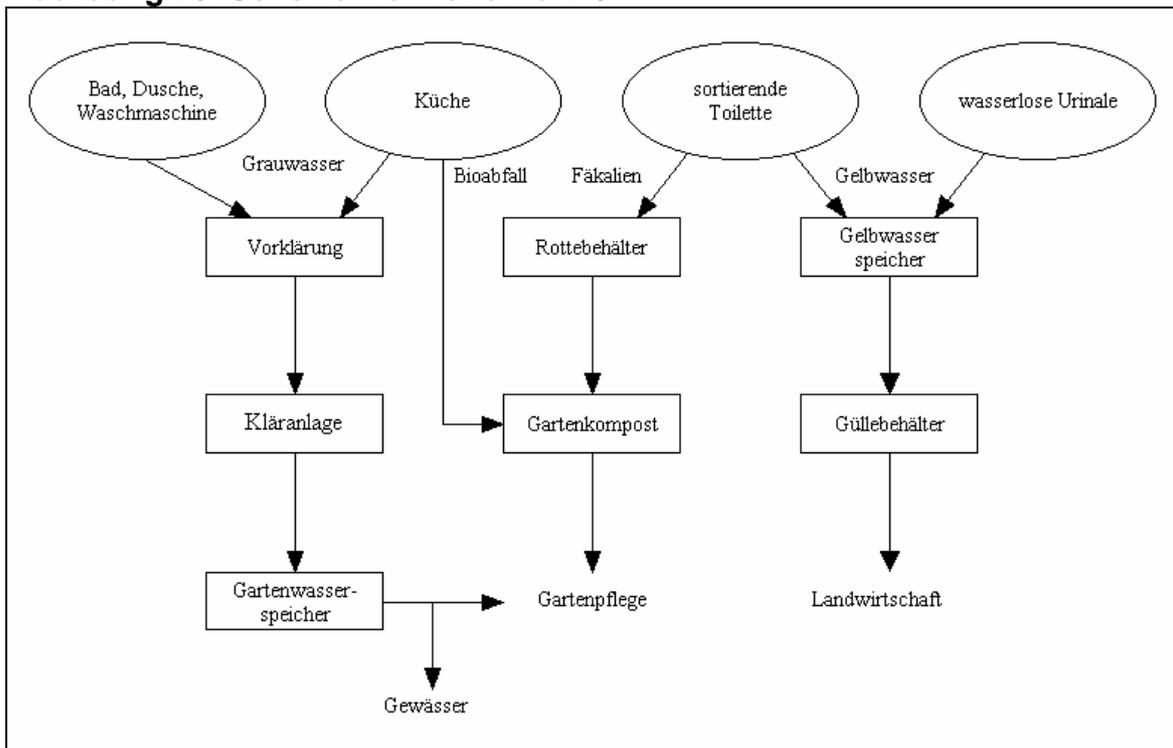
## **Varianten B 2**

Diese Variante sieht die Abtrennung des Gelbwassers vom restlichen Abwasser (Grau- und Braunwasser) durch den Einbau von Urinseparationstoiletten vor. Das Grau- und Braunwasser kann via Ortskanalisation einer bzw. mehreren Kläranlagen zugeführt werden, das Gelbwasser wird in Speicherbehältern gesammelt und kann zusammen mit dem anfallendem Klärschlamm als Düngemittel verkauft werden. In den Gebäuden würde sich mit Ausnahme des Toilettenumbaus und einer zusätzlichen Leitung von der Toilette zum Urinspeicher (zB PE-Schlauch) nichts ändern. Für Variante B 2a ist eine Pflanzenkläranlage (90 EW) vorgesehen, für B 2b zwei (20/70 EW). In Variante B 2c sind im Gegensatz dazu drei konventionelle ARA (16/20/55 EW) geplant.

## **Variante B 3**

Mit dieser Variante wird eine komplette Trennung der Teilströme Grau-, Braun-, und Gelbwasser untersucht. Dafür ist eine Änderung der Hausinstallationen erforderlich. Das Grauwasser aus Küche, Bad etc. wird vom WC-Abwasser getrennt gesammelt. Der Einbau von Trenntoiletten ermöglicht die Aufspaltung der Teilströme Gelbwasser und Braunwasser. Das Gelbwasser wird bis zur weiteren Nutzung in der Land- bzw. Forstwirtschaft in einem Gelbwasserspeicher gesammelt, wodurch ein Erlös erzielt werden kann. Das Braunwasser wird einem Rottebehälter mit Rottesack zur Entwässerung und Vorkompostierung zugeführt. Nach etwa einem Jahr werden die Rottesäcke entleert und zusammen Küchen- und Gartenabfällen nachkompostiert. Der reife Kompost kann im Garten verwendet werden. Das Filtrat der Rottesäcke ist nährstoffarm und kann zusammen mit dem Grauwasser in einer zentralen (Variante B 3a) bzw. zwei dezentralen Kläranlagen (B 3b) behandelt werden (siehe Abbildung 26). Da der Aufwand und dementsprechend die Kosten für eine solche, nachträgliche Änderung der Leitungsführung sehr hoch ausfallen, eignet sich diese Konzept eher für neu zu errichtende Bauwerke bzw. bei geplanten Umbauten.

**Abbildung 26: Schema Höf Variante B 3**



Quelle: Köck 2004

### Variante C 1

Eine konventionelle Kläranlage wird mit einer teilweisen Trennung des Gelbwassers und anschließender Behandlung des restlichen Abwassers in einer auf 10 EW ausgerichteten Pflanzenkläranlage kombiniert. Durch Verkauf des Gelbwassers zur landwirtschaftlichen Garten kann wiederum ein geringer Erlös erwirtschaftet werden. Für weiter entfernte Ortsteile wird die Senkgrubenlösung beibehalten. Die Entleerung erfolgt regelmäßig durch Lkw-Transport zur Übernahmestation der ARA Höf. Das gereinigte Abwasser wird in den Waldbach abgeleitet. Es besteht auch die Möglichkeit den Senkgrubenhalt in der Landwirtschaft zu verwenden.

#### 4.5.2. Einteilung in Gruppen

Zur Vereinfachung kann man im Wesentlichen fünf Gruppen bilden, innerhalb derer sich die Varianten jeweils nur geringfügig in ihren Systemkomponenten unterscheiden, was aus der folgenden Tabelle ersichtlich ist.

**Abbildung 27: Einteilung der Varianten Höf in Gruppen**

Gruppe	Variante	Beschreibung
Gruppe 1	A1-1	Kanal / ARA
	A1-2	Kanal / 2 ARA
	A1-3	Kanal / 3 ARA
Gruppe 2	A2-2	Kanal / Druckleitung / ARA / Septic Tank
	A2-3	Kanal / Druckleitung / 2 ARA / Septic Tank
	A2-4	Kanal / Druckleitung / 3 ARA / Septic Tank
	A2-5	Kanal / Druckleitung / ARA / Aquatron
	A2-6	Kanal / Druckleitung / 2 ARA / Aquatron
Gruppe 3	B3a	Gelbwasser / Komplett-Trennung + Einzählung / Druckleitung / ARA
	B3b	Gelbwasser / Komplett-Trennung + Einzählung / Druckleitung / 2 ARA
	C1	Gelbwasser-Trennung / Kanal / Einzählung / ARA + PKA
Gruppe 4	A2-1	Senkgrube / Transport zu ARA
	B1a	Senkgrube / Druckleitung / PKA / Landwirtschaft
	B1b	Senkgrube / Druckleitung / 2 PKA / Landwirtschaft
Gruppe 5	B2a	Gelbwasser-Trennung + Einzählung / PKA
	B2b	Gelbwasser-Trennung + Einzählung / 2 PKA
	B2c	Gelbwasser-Trennung + Einzählung / 3 ARA

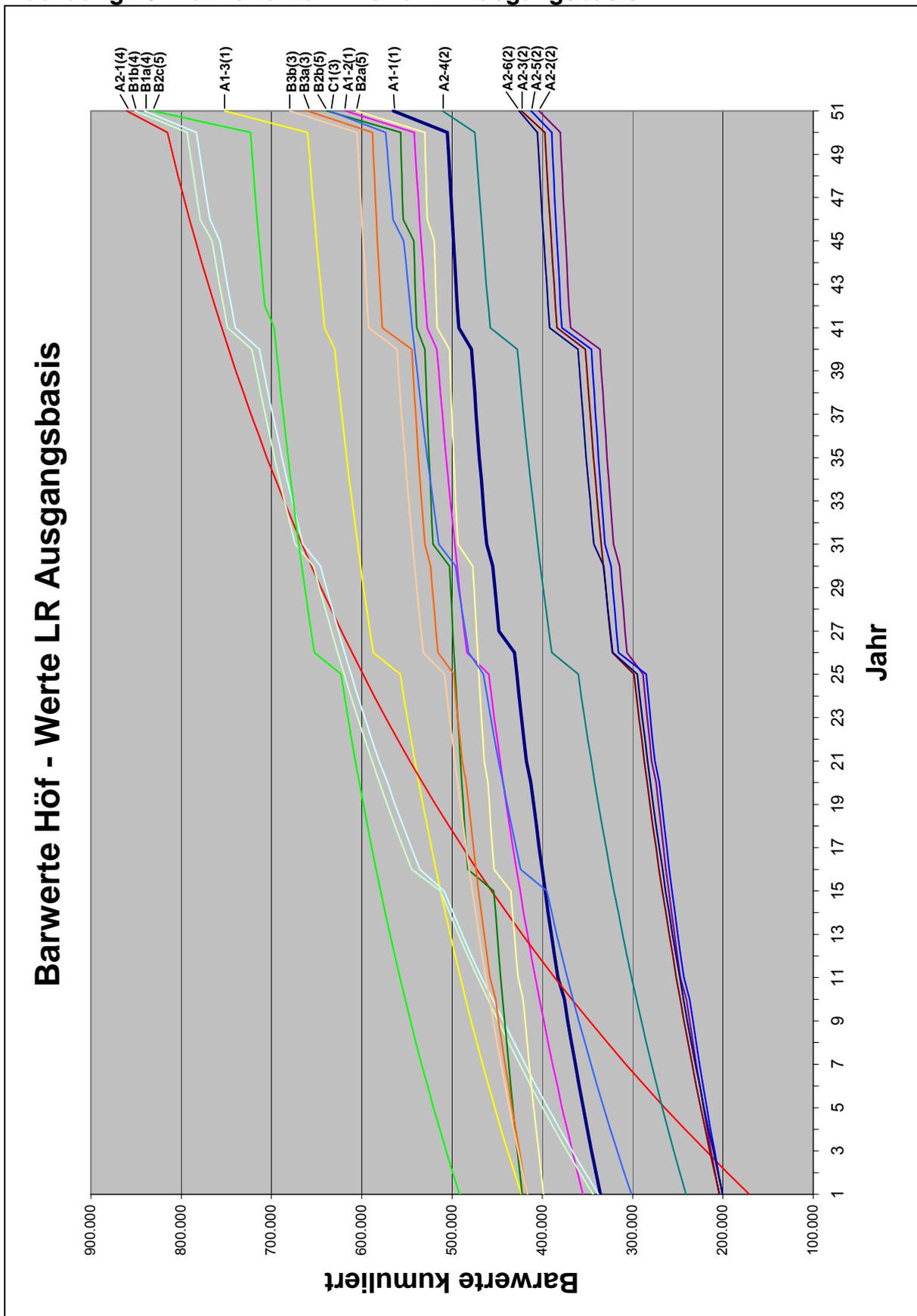
Quelle: Eigene Darstellung

#### 4.5.3. Ergebnis mit Werten der Landesregierungen

Für den dynamischen Kostenvergleich wurden zunächst Auszahlungen auf Basis der Richtwerte der Landesregierungen von Niederösterreich und Oberösterreich angenommen (siehe Anlage 3). Als Ergebnisse der Berechnung sind die Entwicklung der Projektbarwerte als Diagramm in Abbildung 28 und die durchschnittlichen Jahreskosten in Anlage 4 dargestellt. Diese Werte sind auch in Abbildung 29 in Form einer Tabelle zu finden. Zur leichteren Orientierung wurde den Bezeichnungen der Varianten die jeweilige Gruppenzugehörigkeit als Ziffer in Klammer angefügt.

Um das Ergebnis aus dem Diagramm der durchschnittlichen Jahreskosten leichter ablesen zu können, wurden nicht die Werte, sondern die Bezeichnungen der Varianten angegeben, auch hier steht in Klammer die jeweilige Gruppe.

Abbildung 28: Barwerte Höf - Werte LR Ausgangsbasis



Quelle: Eigene Darstellung

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Rangfolge der Varianten, deren durchschnittliche Jahreskosten und Projektbarwerte sowie die Anfangsauszahlungen für die Investitionen.

**Abbildung 29: Durchschnittliche Jahreskosten und Barwerte Höf**

Rang	Varianten	Auszahlung $t_0$	durchschnittliche Jahreskosten	Barwert $t_{50}$
1	A2-2(2)	204.343	15.688	403.651
2	A2-5(2)	200.484	16.025	412.312
3	A2-3(2)	203.918	16.441	423.011
4	A2-6(2)	200.059	16.547	425.760
5	A2-4(2)	240.932	19.838	510.433
6	A1-1(1)	335.559	21.964	565.118
7	B2a(5)	398.616	23.551	605.951
8	A1-2(1)	355.190	24.020	618.024
9	C1(3)	301.103	24.710	635.786
10	B2b(5)	422.390	24.806	638.262
11	B3a(3)	416.862	25.657	660.142
12	B3b(3)	416.437	26.409	679.501
13	A1-3(1)	423.187	29.225	751.959
14	B2c(5)	491.634	32.305	831.194
15	B1a(4)	338.146	32.665	840.455
16	B1b(4)	344.007	33.069	850.846
17	A2-1(4)	170.518	33.428	860.100

Quelle: Eigene Darstellung

#### 4.5.4. Interpretation

Die Projektbarwerte der Varianten der Gruppe 4 nehmen einen steileren Verlauf als die der restlichen Projekte. Gruppe 4 weist relative niedrige Investitionskosten auf, sie steigt jedoch im zeitlichen Verlauf stark an, da hohe laufende Auszahlungen für Transport vorliegen. Erwähnenswert ist noch die Variante A 2-1(4), die die geringsten Anfangsinvestitionen aller verglichenen Investitionsprojekte mit sich bringt, aufgrund der hohen Auszahlungen für den Transport der Senkgrubeninhalte zur Abwasserreinigungsanlage jedoch insgesamt zu den unvorteilhaftesten Optionen zählt.

Die Barwerte der restlichen Gruppen nehmen im zeitlichen Ablauf einen ähnlichen Verlauf, wobei sich die Varianten der Gruppen 1, 3 und 5 bezüglich ihrer Vorteilhaftigkeit sehr vermischen. Nur die Gruppe 2 sticht eindeutig als vorteilhaft gegenüber allen anderen Gruppen hervor. Aufgrund der Reinvestitionen im Jahr 50 steigen sämtliche Barwerte am Ende des Betrachtungszeitraums stark an, was jedoch zu

keinen Änderungen der relativen Vorteilhaftigkeiten führt. Daher ist die Länge des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren ausreichend. Vor allem aus dem Diagramm mit den durchschnittlichen Jahreskosten wird deutlich, daß einerseits Gruppe 4 die drei höchsten, und andererseits Gruppe 2 die fünf niedrigsten Annuitäten aufweisen.

#### 4.5.5. Anteil der Kanäle an den Investitionen

Wie bereits erwähnt machen die Kosten für die Kanäle einen Großteil der Investitionskosten eines Abwasserentsorgungsprojektes aus. Im Folgenden soll untersucht werden wie hoch bei den einzelnen Varianten die Anfangsauszahlungen für die Kanäle im Verhältnis zu den restlichen Anlagen sind. Dazu sind in Abbildung 30 die Anfangsinvestitionen für Kanäle inklusive Wassertrennung sowie die Auszahlungen für die restlichen Systemkomponenten (in 1.000 Euro) angeführt. Daraus läßt sich der prozentuelle Anteil für den Kanal in jeder Variante im Jahr 0 errechnen. Die Werte basieren auf den Vorgaben der Landesregierungen. Variante A 2-1 ist nicht berücksichtigt, da hier komplett auf Kanäle verzichtet wurde.

**Abbildung 30: Kostenanteile an den Investitionskosten im Jahr 0 (in 1.000 EUR)**

Variante	A11	A12	A13	A22	A23	A24	A25	A26	B1a	B1b	B2a	B2b	B2c	B3a	B3b	C1
Gruppe	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	5	5	5	3	3	3
Investitionen																
Kanal	292	311	369	129	129	155	129	128	147	151	348	367	424	201	200	233
Rest	44	44	54	75	75	85	71	72	191	158	50	54	67	216	216	68
Gesamt	336	355	423	204	204	240	200	200	338	309	398	421	491	417	416	301
% Kanal	87%	88%	87%	63%	63%	65%	65%	64%	43%	49%	87%	87%	86%	48%	48%	77%
Rang	6	8	13	1	3	5	2	4	15	16	7	10	14	11	12	9

Quelle: Eigene Darstellung

Aus Abbildung 30 ist ersichtlich, daß die Kanäle bei den konventionellen Abwasserentsorgungsvarianten der Gruppe 1 tatsächlich um die 80 % der Investitionskosten ausmachen. Das ist auch bei den Anlagen der Gruppe 5 der Fall, die zum Teil Pflanzenkläranlagen verwenden und wo Einzahlungen aus dem Verkauf von Urin berücksichtigt sind. Den geringsten Anteil von Anfangsauszahlungen für den Kanal haben die Varianten B 1a, B 1b, B 3a und B 3b, wo es knapp unter 50 % sind. Allerdings fallen bei den B 1-Varianten hohe Transportauszahlungen an, während bei den B 3-Varianten einerseits die Investitionen für die Wassertrennung sehr hoch sind, andererseits zusätzlich die Rottebehälter hohe Auszahlungen verursachen, so daß die

Varianten den unvorteilhaften zuzurechnen sind. Die relativ vorteilhaften Varianten der Gruppe 2 liegen um die 64 %, also höher als andere Varianten im Vergleich. Man kann also aus einem niedrigen Anteil der Kanäle an den gesamten Investitionen nicht auf die Vorteilhaftigkeit einer Variante schließen.

Sieht man sich die absoluten Werte der Investitionen für die Kanäle an, so fällt auf, daß die Varianten der Gruppe 2 hier die niedrigsten Werte aufweisen. Gleichzeitig sind die Investitionen in restliche Systemkomponenten höher als bei den Gruppen 1 und 5, was den geringeren Anteil der Kanalinvestitionen an den Gesamtinvestitionen erklärt.

#### 4.5.6. Einfluß der Kanallängen und Anzahl der Kläranlagen

In Abbildung 31 sind die Gesamtlängen der Kanäle, sowohl Freispiegelkanäle als auch Druckleitungen, für die Varianten aufgelistet. Zusätzlich ist angegeben, ob in der jeweiligen Variante ein Pumpwerk vorgesehen ist, wie viele Kläranlagen geplant sind, wobei ein A für konventionelle Abwasserreinigungsanlagen steht und ein P für Pflanzenkläranlagen, und in der letzten Zeile der Rang.

**Abbildung 31: Länge der Kanäle und Anzahl der Kläranlagen Höf**

Variante	A11	A12	A13	A22	A23	A24	A25	A26	B1a	B1b	B2a	B2b	B2c	B3a	B3b	C1
<b>Gruppe</b>	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	5	5	5	3	3	3
Länge gesamt	2201	2148	2611	2207	2148	2252	2207	2148	1637	1732	2215	2156	2611	2207	2148	1711
Pumpwerk	x			x			x		x		x			x		
(A)RA / (P)KA	1 A	2 A	3 A	1 A	2 A	3 A	1 A	2 A	1 P	2 P	1 P	2 P	3 A	1 A	2 A	1AP
Rang	6	8	13	1	3	5	2	4	15	16	7	10	14	11	12	9

Quelle: Eigene Darstellung

Wie man in Abbildung 31 sehen kann ist es nicht möglich anhand der Gesamtlänge des Kanalnetzes die Vorteilhaftigkeit einer Gruppe zu bestimmen. Ein kurzer Kanal bedeutet nicht, daß die Variante auch günstig ist, obwohl der Kanal wesentliche Auszahlungen verursacht. So weisen Varianten B 1a(4), B 1b(4) und C 1(3) zwar relativ kurze Kanäle auf, zählen aber deutlich zu den unvorteilhaften Varianten, da die Verwendung von Senkgruben statt Kanälen zu hohen Auszahlungen für Transport bzw. sonstiger Entsorgung führt.

Sieht man sich den Rang und die Anzahl der Kläranlagen an, so fällt auf, daß die Varianten mit nur einer Kläranlage vorteilhafter sind als ähnliche Varianten mit mehreren Anlagen, obwohl einzelne Kläranlagen Pumpwerke erforderlich machen. Variante C 1, eine Kombination von einer konventionellen ARA mit einer Pflanzenkläranlage, liegt im Mittelfeld, da die Verwendung von Senkgruben wiederum zu Auszahlungen für Transport derer Inhalte führt.

#### **4.5.7. Sensitivitätsanalyse**

Um die Sensitivität des Ergebnisses zu untersuchen, wurden die Nutzungsdauern für einige Systemkomponenten so reduziert, daß sich die Auszahlungen in Hinblick auf Gruppe 2 erhöhen. Die Nutzungsdauer der Druckleitungen wurde von 40 auf 20 Jahre gesenkt, das Pumpwerk baulich von 30 auf 15 und die Septic Tanks von 50 auf 25 Jahre. Aus den Diagrammen in Anlage 5 und Anlage 6 ist ersichtlich, daß sich an der Vorteilhaftigkeit der Varianten der Gruppe 2 durch die geänderten Nutzungsdauern nichts ändert. Auch eine Veränderung des Kapitalzinssatzes, der ursprünglich bei 3 % p.a. liegt, auf 2 bzw. 5 % (das ist die durch die LAWA-Leitlinien vorgegebene Bandbreite) bringt keine wesentliche Veränderung. Die Reihenfolge der Varianten in Anlage 6 wurde absichtlich so belassen wie in Anlage 4, damit die Auswirkungen der Änderungen besser zu erkennen sind. Vergleicht man die beiden Diagramme, so ist festzustellen, daß die Varianten A 1-2(1), B 2b(5) und C 1(3) durch die Veränderungen nicht beeinflußt werden, aber dennoch unvorteilhaft im Vergleich zur Gruppe 2 bleiben. Auch die Annahme einer Preissteigerungsrate der Auszahlungen für Reinvestitionen und laufenden Auszahlungen von real 2 % p.a. bringt keine signifikanten Änderungen des Ergebnisses.

#### **4.5.8. Ergebnis mit Werten des Planungsbüros Flögl**

Das Planungsbüro Dr. Flögl hat teilweise höhere Auszahlungen als die Richtwerte der Landesregierungen angenommen, diese sind aus Anlage 3 zu entnehmen. Zu höheren Auszahlungen kommt es teilweise bei den Druckleitungen, beim Pumpwerk, bei den Belebungsanlagen, den Senkgruben, beim Transport und der Eigenausbringung in der Landwirtschaft. Die Auswirkung dieser Werte soll im Folgenden untersucht werden. Für die Berechnung von Auszahlungen, die vom Planungsbüro pro EW angegeben sind, wurden für den gesamten Ort 87 EW berücksichtigt. Für die

Senkgruben in den Varianten B 3a und B 3b wurden 18 EW, für C 1 15 EW angenommen.

Mit den Kostendaten des Planungsbüros werden vor allem die Varianten B 1a, B 1b und C 1, empfindlich teurer (siehe Anlage 7). Bei den anderen Varianten gibt es kaum Änderungen, vor allem ändert sich nichts an der relativen Vorteilhaftigkeit der Varianten der Gruppe 2.

#### **4.5.9. Genauere Untersuchung der Gruppe 2**

Daher werden nun die Varianten der Gruppe 2 genauer untersucht. Vier Varianten der Gruppe 2, nämlich A 2-2, A 2-5, A 2-3 und A 2-6, liegen sehr eng beieinander. Diese sind in Anlage 8 und Anlage 9 in Form von Diagrammen noch einmal detaillierter dargestellt. A 2-2, die Variante mit Septic Tanks, ist die vorteilhafteste, dicht gefolgt von A 2-5, wo das Aquatron-Hybridtoilettensystem zum Einsatz kommt. Diese beiden Varianten weisen jeweils eine Abwasserreinigungsanlage auf, während für die Varianten A 2-3 und A 2-6 zwei Anlagen geplant sind.

Um eine Entscheidung zwischen Variante A 2-2 und A 2-5 treffen zu können, müssen die Septic Tanks und die Aquatron-Hybridtoiletten miteinander verglichen werden, die den einzigen Unterschied zwischen den beiden Alternativen darstellen (siehe Anlage 1). Herkömmliche Toiletten haben eine Nutzungsdauer von 25 Jahren. Es kann angenommen werden, daß Trenntoiletten die gleiche Nutzungsdauer aufweisen. Jedenfalls ist davon auszugehen, daß keine längere Nutzungsdauer als 25 Jahre angesetzt werden kann. Eine Verschiebung der Vorteilhaftigkeit zu Gunsten der Variante A 2-5 kann also nur stattfinden, wenn die Nutzungsdauer der für die Variante A 2-2 notwendigen Septic Tanks wesentlich niedriger sein sollte, als die angenommenen 50 Jahre. Auf der Internetseite eines US-amerikanischen Landkreises (vgl. *Mecklenburg County* 2002) wird einem Septic Tank System bei regelmäßiger und sorgfältiger Wartung eine „lebenslange“ Nutzungsdauer bescheinigt. Damit erscheint die für die Berechnung angenommene Nutzungsdauer von 50 Jahren realistisch. Daraus folgt die Empfehlung von Variante A 2-2 als vorteilhafteste Lösung zur Ableitung und Entsorgung des Abwassers in Höf. Es ist jedoch zu beachten, daß es

Gründe geben kann, sich dennoch für eine andere Variante als die durch die als wirtschaftlich günstigste ermittelte zu entscheiden.

#### **4.6. Dynamische Kostenvergleichsrechnung für Wallsee**

Für den Ort Wallsee wurden insgesamt 17 Varianten von Abwasserentsorgungsprojekten verglichen. Die geplanten Systemkomponenten für die Varianten sind in Anlage 10 und Anlage 11 aufgelistet. Die Auszahlungsgrundlagen, die sich zum Teil von Höf unterscheiden, sind in Anlage 12 dargestellt.

##### **4.6.1. Beschreibung der Varianten**

###### **Variante A 1-1**

Die erste Variante für Wallsee sieht die Errichtung einer gemeinsamen Kläranlage (Ausbaugröße 72 EGW) vor. Ein Einzelanwesen wird aufgrund der ungünstigen Höhenlage nicht an die Kanalisation angeschlossen. Das gereinigte Abwasser wird in den ca. 1 km entfernten Mühlbach gepumpt. In dieser Variante sind drei Pumpwerke für je 7, 47 und 72 EW vorgesehen um die ca. 1.400 Meter Druckleitung zu versorgen (siehe Abbildung 32).

###### **Variante A 1-2**

Die Sammlung und Behandlung des Abwassers erfolgt wie in Variante A 1-1. Das gereinigte Abwasser wird jedoch nicht mittels Druckleitung zum Mühlbach transportiert, sondern in einem Graben nahe der Kläranlage (ca. 20 m). Voraussetzung dafür ist eine dichte „Gerinnesohle“ und eine positiv bewertete ökologische Begleituntersuchung. Dadurch können über zwei Drittel der Druckleitung eingespart werden und ein Pumpwerk (47 EW) fällt weg.

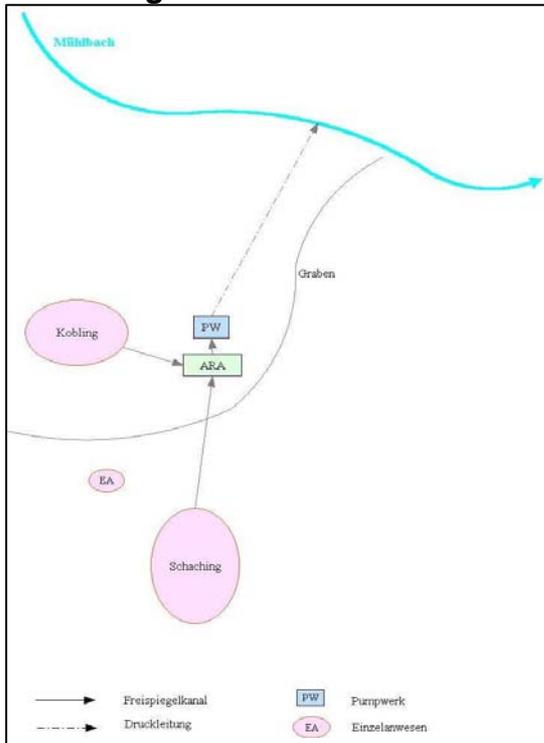
###### **Variante A 1-3**

Ähnlich wie A 1-2, jedoch mit zwei ARA (26 und 46 EW). Zwei Pumpwerke (7 und 23 EW) sind notwendig, da für zwei Gebäude eine Entwässerung im Freispiegelgefälle nicht möglich ist (siehe Abbildung 33).

### Variante A 1-4

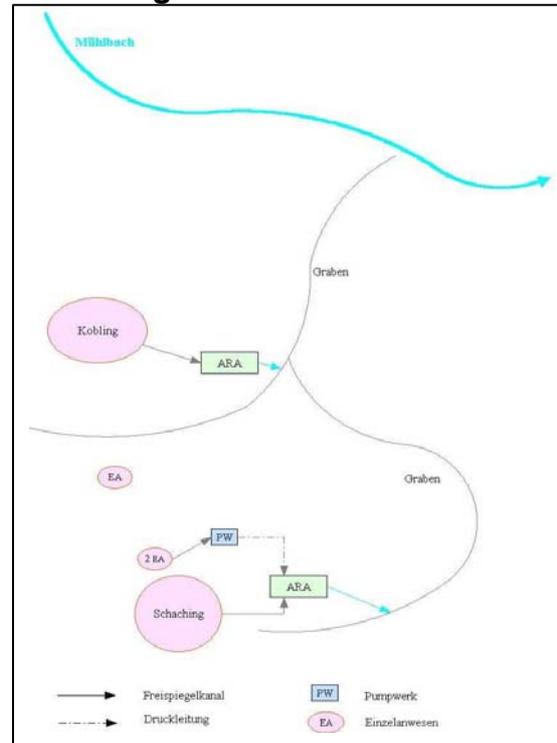
Ähnlich wie A 1-2 und A 1-3, jedoch wird der Fall berücksichtigt, daß eine Einleitung der gereinigten Abwässer in den Graben nicht zulässig ist. Es sind drei ARA (7, 19 und 46 EW) und ein Pumpwerk (23 EW) vorgesehen.

Abbildung 32: Wallsee Variante A 1-1



Quelle: Köck 2004

Abbildung 33: Wallsee Variante A 1-3



Quelle: Köck 2004

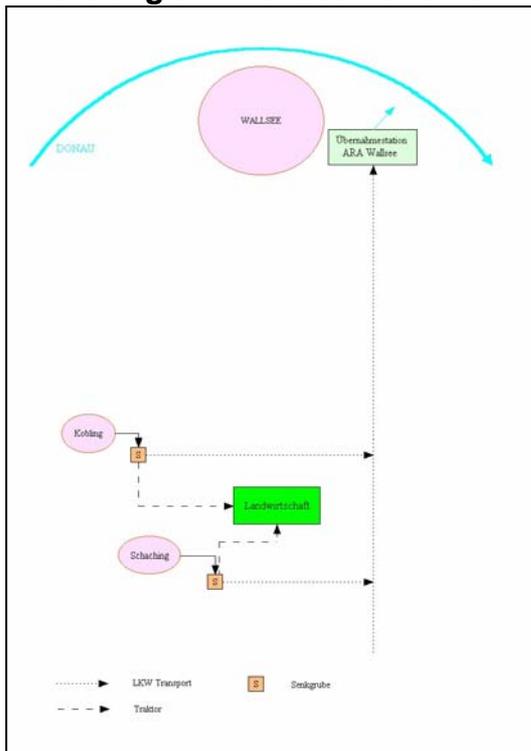
### Variante A 2-1

Die bestehenden Senk- und Jauchegruben werden beibehalten, die Inhalte in landwirtschaftlichen Betrieben selbst entsorgt, ansonsten zur ca. 10 km entfernten Zentralkläranlage Wallsee transportiert. Voraussetzung ist die Dichtheit der bestehenden Senkgruben, ansonsten ist deren Sanierung bzw. Neuerrichtung notwendig.

### Varianten A 2-2, A 2-3, A 2-4

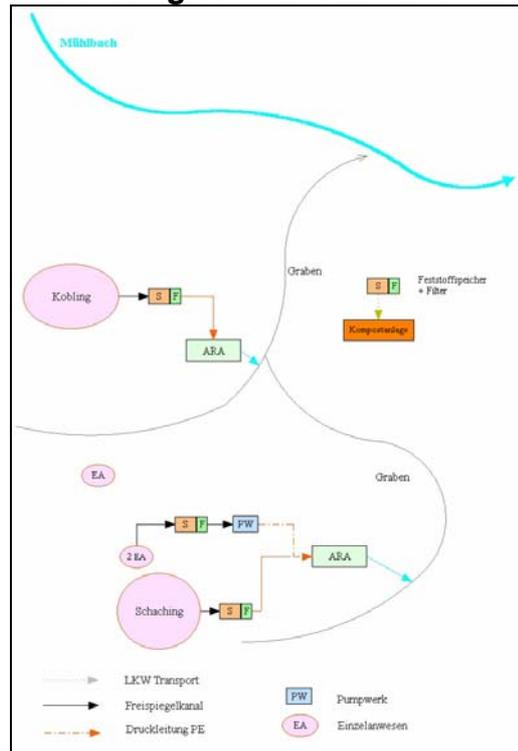
Diese Alternativen entsprechen den Varianten A 2-2 bis A 2-4 von Höf. Für Variante A 2-2 in Wallsee sind 9 Septic Tanks mit einem Volumen von 3.800 Litern und 5 mit einem Volumen von 5.700 Litern vorgesehen. Die Feststoffe werden per Lkw abtransportiert, das Abwasser in einer ARA (72 EW) gereinigt. In Variante A 2-3 sind statt dessen zwei ARA (26 und 46 EW) geplant, in Variante A 2-4 sind es drei ARA (7, 19 und 46 EW).

**Abbildung 34: Wallsee Variante A 2-1**



Quelle: Köck 2004

**Abbildung 35: Wallsee Variante A 2-3**



Quelle: Köck 2004

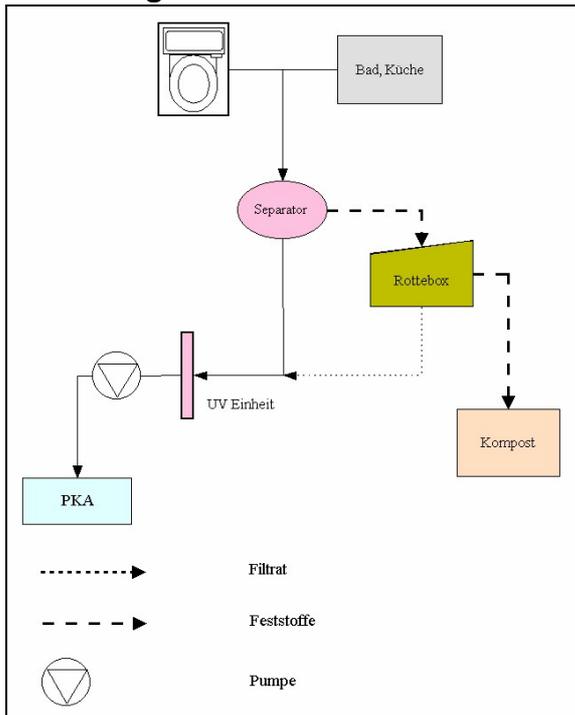
### Varianten A 2-5, A 2-6, A 2-7

Diese Projekte sind vergleichbar mit Varianten A 2-5 und A 2-6 von Höf, auch hier kommt das Aquatron-Hybridtoilettensystem zum Einsatz. Eine „Aquatron 90“ und 11 „Aquatron 4x200“ sind geplant, die abgetrennten Feststoffe werden per Lkw abtransportiert. Das restliche Abwasser wird bei Variante A 2-4 in einer ARA (72 EW) geklärt, ein Pumpwerk ist notwendig (7 EW). Variante A 2-6 ist ähnlich, jedoch mit 2 ARA (26 und 46 EW), ein zusätzliches Pumpwerk (23 EW) wird benötigt. In Variante A 2-7 sind drei ARA (7, 19 und 46 EW) eingeplant.

### Varianten B 1

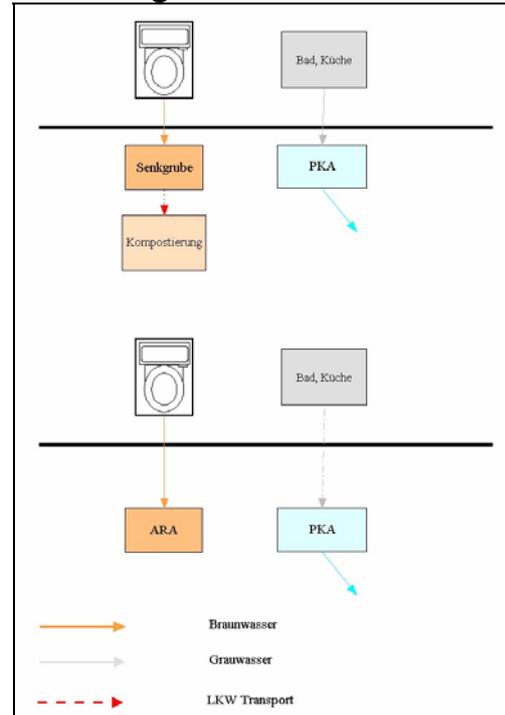
Diese Varianten untersuchen die getrennte Ableitung und Behandlung von Schwarz- und Grauwasser, wozu die Leitungsinstallationen in einigen Gebäuden geändert werden müssen, in ein paar Häusern ist eine Grauwassertrennung bereits vorhanden. Das Grauwasser wird in zwei Pflanzenkläranlagen, 9 und 46 EW in B 1a bzw. 26 und 46 EW in B 1b, geleitet. Das gereinigte Grauwasser könnte gespeichert werden um es landwirtschaftlich zur Verdünnung zu nutzen. Das Schwarzwasser wird zur Kläranlage Wallsee bzw. zu einer Kompostierungsanlage transportiert.

**Abbildung 36: Wallsee Variante A 2-5**



Quelle: Köck 2004

**Abbildung 37: Wallsee Varianten B 1**



Quelle: Köck 2004

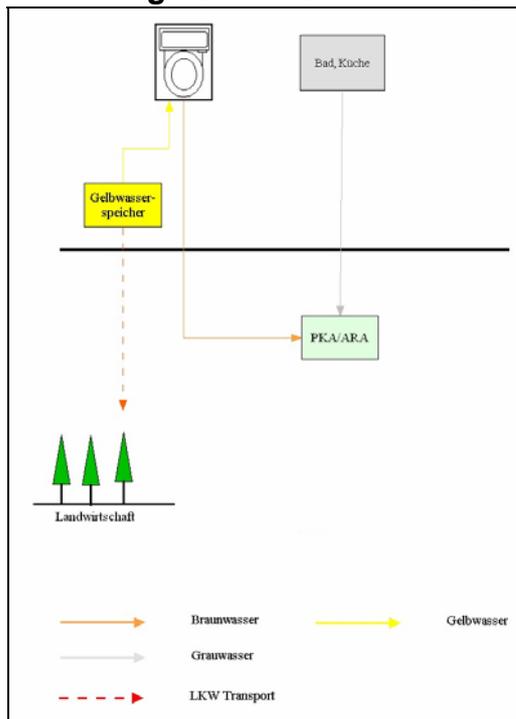
## Varianten B 2

In diesen Varianten werden die vorhandenen Toiletten durch urinseparierende ersetzt um das Gelbwasser im Gebäude abzutrennen, wozu ein Umbau der Hausinstallationen notwendig ist. Die Gelbwasserspeicher müssen für den Anfall von mindestens einem halben Jahr bemessen werden, da in den Wintermonaten keine Verwendung des Gelbwassers zur Düngung möglich ist. Das restliche Abwasser wird entweder einer Pflanzenkläranlage mit 72 EW (für Varianten B 2a und B 2b) oder zwei ARA mit 26 und 46 EW (für Variante B 2c) zugeführt.

## Variante B 3

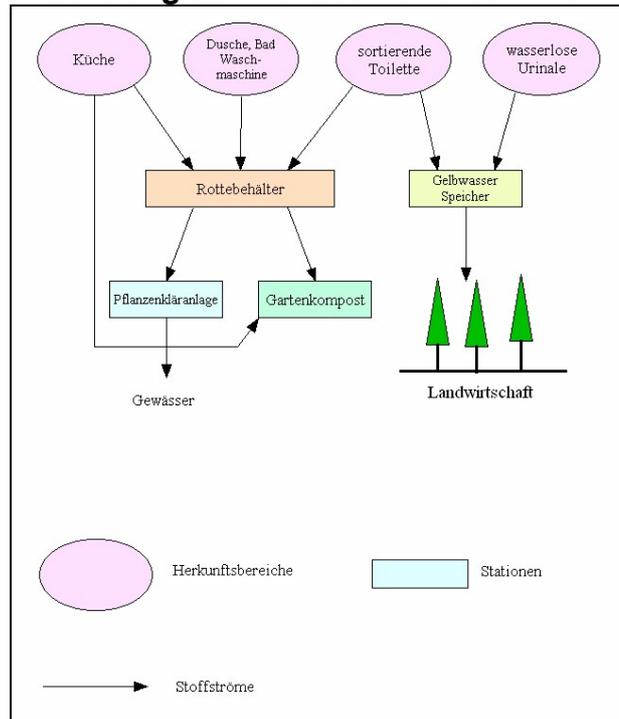
Diese Variante ist ähnlich den Varianten B 1, die Abwasserströme sollen im Großteil der Gebäude komplett getrennt werden, teilweise werden Senkgruben beibehalten. Die Entsorgung erfolgt durch zwei Pflanzenkläranlagen (9 und 46 EW), der Inhalt der Senkgruben wird mittels Lkw abtransportiert bzw. in der Landwirtschaft genutzt.

**Abbildung 38: Wallsee Varianten B 2**



Quelle: Köck 2004

**Abbildung 39: Wallsee Varianten B 3**



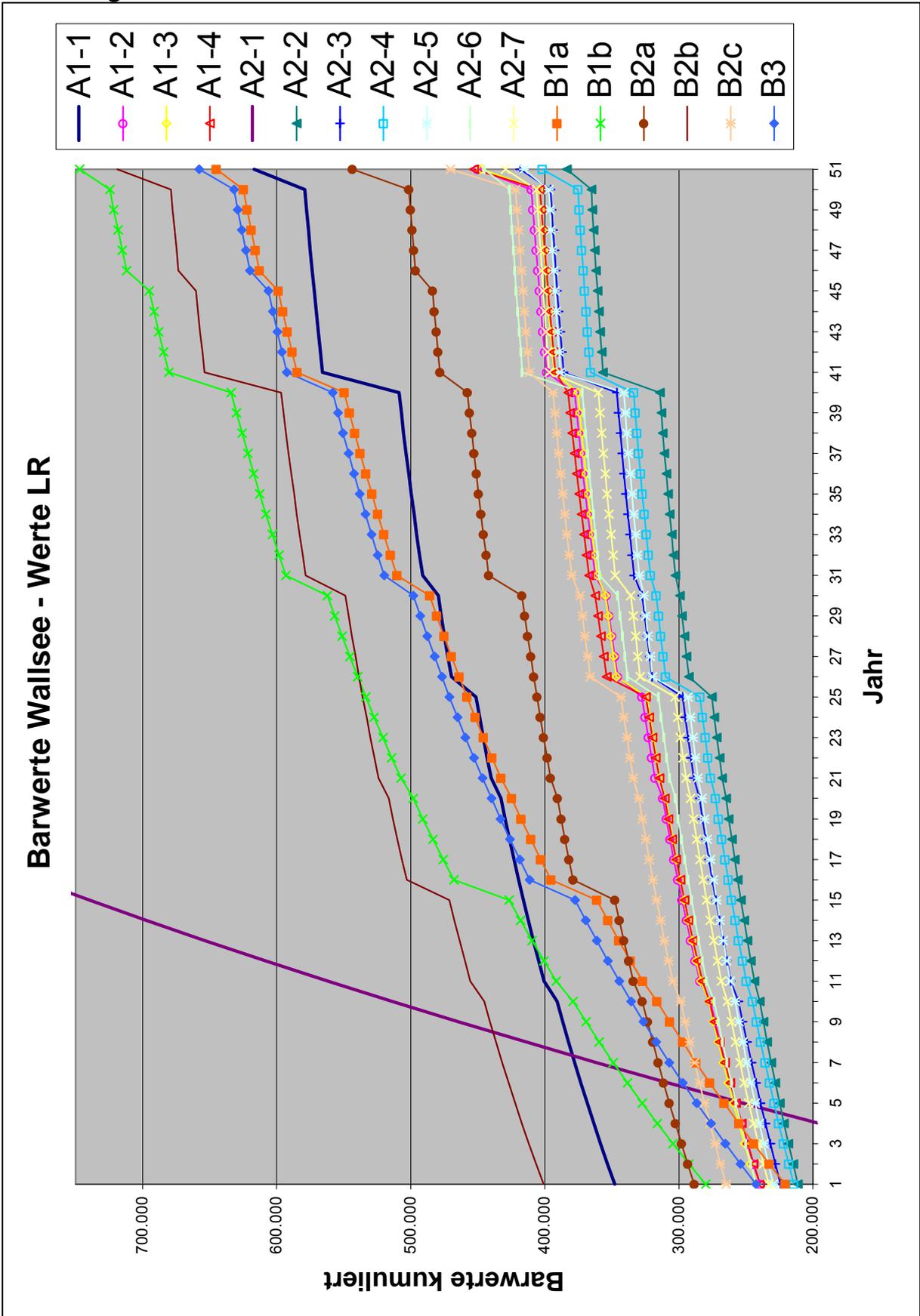
Quelle: Köck 2004

#### 4.6.2. Ergebnis mit Werten der Landesregierungen

Die Ergebnisse des dynamischen Kostenvergleichs der Abwasserentsorgungsprojekte für den Ort Wallsee sind als Diagramme in Abbildung 40 (Projektbarwerte) und Anlage 13 (durchschnittliche Jahreskosten) dargestellt. Aus dem Balkendiagramm sowie aus der Tabelle in Abbildung 41 ist die Reihenfolge der Vorteilhaftigkeit der Varianten am einfachsten abzulesen. Eine Einteilung der Varianten in Gruppen wie in Höf ist nicht sinnvoll, weil die Rangfolge der verschiedenen Projekte sehr durchmischt ist.

Wie in Abbildung 40 zu sehen ist, verlaufen die Barwerte über den Betrachtungszeitraum sehr eng aneinander. Deshalb zeigt die Y-Achse des Diagramms nur den Bereich von 200.000 bis 750.000, damit der Verlauf möglichst gut zu sehen ist. Das führt dazu, daß die Kurve von Variante A 2-1, die ungefähr bei 0 beginnt und bis fast 1,7 Millionen steil hinaufgeht, nur teilweise zu sehen ist.

Abbildung 40: Barwerte Wallsee - Werte LR



Quelle: Eigene Darstellung

Folgende Tabelle zeigt die Rangfolge der Varianten für Wallsee, deren Anfangsinvestitionen, durchschnittliche Jahreskosten und Projektbarwerte:

**Abbildung 41: Durchschnittliche Jahreskosten und Barwerte Wallsee**

Rang	Varianten	Auszahlung $t_0$	durchschnittliche Jahreskosten	Barwert $t_{50}$
1	A2-2	211.245	14.901	383.400
2	A2-4	214.305	15.617	401.825
3	A2-5	229.642	16.154	415.637
4	A2-3	224.075	16.258	418.304
5	A2-7	233.132	16.685	429.290
6	A2-6	242.472	17.303	445.207
7	A1-3	242.490	17.385	447.302
8	A1-2	239.519	17.502	450.315
9	A1-4	239.454	17.606	453.008
10	B2c	264.816	18.281	470.359
11	B2a	288.693	21.129	543.654
12	A1-1	347.850	23.974	616.836
13	B1a	220.628	25.068	644.995
14	B3	242.370	25.560	657.653
15	B2b	400.902	27.942	718.935
16	B1b	280.080	29.032	746.980
17	A2-1	13.221	64.943	1.670.965

Quelle: Eigene Darstellung

#### 4.6.3. Interpretation

Auffällig ist, wie auch bereits in Höf zu sehen war, daß die Variante A 2-1, also eine Nutzung von Senkgruben und Transport derer Inhalte zu einer ARA, am unvorteilhaftesten ausfällt. Obwohl fast überhaupt keine Investitionsauszahlungen im Jahr 0 entstehen, sind die laufenden Auszahlungen sehr hoch, so daß der Projektbarwert um ein vielfaches höher ist als der von der vorteilhaftesten Variante A 2-2, die eine konventionelle ARA mit Septic Tanks kombiniert. Wie auch in Höf sind die A 2-Varianten für Wallsee (mit Ausnahme von A 2-1) auf den ersten Rängen zu finden. Die beste B-Variante liegt erst auf Rang 10 und ist um fast 23 % kapitalintensiver als die vorteilhafteste Alternative. Die restlichen Alternativen sind von ihrer Vorteilhaftigkeit her sehr durchmischt, jedoch kann, wie im Folgenden beschrieben, ein Einfluß der Anzahl der Kläranlagen festgestellt werden.

#### 4.6.4. Einfluß der Anzahl der Kläranlagen

Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl der Kläranlagen für die Varianten in Wallsee.

**Abbildung 42: Anzahl der Kläranlagen Wallsee**

Variante	A11	A12	A13	A14	A22	A23	A24	A25	A26	A27	B1a	B1b	B2a	B2b	B2c	B3
(A)RA / (P)KA	1 A	1 A	2 A	3 A	1 A	2 A	3 A	1 A	2A	3 A	1 P	2 P	1 P	1 P	2 A	2 P
Rang	12	8	7	9	1	4	2	3	6	5	13	16	11	15	10	14

Quelle: Eigene Darstellung

In Wallsee ist die generelle Vorteilhaftigkeit von einer zentralen Kläranlage gegenüber mehreren kleineren Anlagen gegeben, jedoch nicht so eindeutig wie in Höf. So ist Variante A 1-4 mit drei ARA im Vergleich zu A 1-1 mit einer Anlage günstiger. Obwohl die Varianten A 2-2 und A 2-5 mit einer ARA vorteilhafter sind, ist auffällig, daß die Varianten A 2-4 bzw. A 2-7 mit drei ARA im Gegensatz zu A 2-3 bzw. A 2-6 mit zwei Kläranlagen die billigeren Alternativen darstellen. Bei den B-Varianten sind zentrale Pflanzenkläranlagen jeweils vorteilhafter als zwei dezentrale. Am günstigsten ist jedoch die Verwendung von Abwasserreinigungsanlagen anstatt von Pflanzenkläranlagen, da letztere höhere spezifische Auszahlungen aufweisen.

#### 4.6.5. Sensitivitätsanalyse

Die durchschnittlichen Jahreskosten der A 2-Varianten in Wallsee sind ähnlich nah beieinander wie beim dynamischen Kostenvergleich von Höf, so daß in der Sensitivitätsanalyse dieselben Faktoren untersucht werden müßten. Jedoch wurde bereits festgestellt, daß die Nutzungsdauer der Septic Tanks von 50 Jahren als realistisch angenommen werden kann, so daß sich die Sensitivitätsanalyse auf den Kalkulationszinssatz beschränkt. Auch eine Berücksichtigung einer Preissteigerung von 2 % p.a. sowie ein Kalkulationszinssatz von 2 % bzw. 5 % (im Rahmen der Bandbreite, die durch die LAWA-Leitlinien vorgegeben ist) führt zu keinem Wechsel der Vorteilhaftigkeit.

Die Vorteilhaftigkeit von Variante A 2-2 ist daher in Bezug auf die getesteten Faktoren nicht sensitiv.

#### 4.7. Gesamtergebnis der Untersuchung und Ausblick

Generell hat sich in den Untersuchungen gezeigt, daß die Verwendung einer konventionellen Belebungsanlage in Kombination mit Septic Tanks am vorteilhaftesten ist. Dennoch kann nicht davon ausgegangen werden, daß stets dieselbe technische Lö-

sung für jeden Ort als am vorteilhaftesten angenommen werden kann, da mehrere Varianten bezüglich ihrer Vorteilhaftigkeit eng beieinander liegen. Die ökonomisch beste Variante muß jeweils berechnet werden, da es viele ortsabhängige Einflußfaktoren gibt, die auf das Ergebnis einwirken. Außerdem kann die Betrachtung ökologischer und/oder sozialer Kriterien dazu führen, daß die endgültige Entscheidung nicht zugunsten der wirtschaftlich günstigsten Variante getroffen wird.

Obwohl alternative Lösungen der Abwasserentsorgung mit Trennung der Abwasserströme zum nachhaltigen Umgang mit der wertvollen natürlichen Ressource Wasser beitragen, sind sie derzeit vom ökonomischen Standpunkt aus gesehen nicht konkurrenzfähig. Jedoch ist sowohl in Höf als auch in Wallsee die Kombination einer konventionellen Abwasserreinigungsanlage mit Septic Tanks am günstigsten.

Im Vergleich hat sich gezeigt, daß zentrale Lösungen, d.h. die Verwendung jeweils nur einer ARA, vorteilhafter waren als mehrere dezentrale Anlagen. Allerdings hängt dies von den konkreten Umständen ab. Eine zentrale Kläranlage muß nicht immer die günstigste Variante darstellen.

Genauere Aussagen sind aufgrund derzeit noch fehlender Rohdaten von anderen Orten nicht möglich. Die bisherigen Ergebnisse ermutigen allerdings, weitere Untersuchungen dieser Art durchzuführen. In Zukunft sollten alternative Methoden der Abwasserentsorgung öfter in Betracht gezogen werden, unter anderem auch, weil in diesem Bereich noch enormes Entwicklungspotential besteht.

## 5. Anhang

Anlage 1: Systemkomponenten Höf - Teil 1 .....	94
Anlage 2: Systemkomponenten Höf - Teil 2 .....	95
Anlage 3: Auszahlungsgrundlage Höf .....	96
Anlage 4: Durchschnittliche Jahreskosten Höf - Werte LR Ausgangsbasis.....	97
Anlage 5: Barwerte Höf - Werte LR Sensitivitätsanalyse.....	98
Anlage 6: Durchschnittliche Jahreskosten - Werte LR Sensitivitätsanalyse .....	98
Anlage 7: Durchschnittliche Jahreskosten Höf - Werte Planungsbüro Flögl.....	99
Anlage 8: Durchschnittliche Jahreskosten Höf - Werte LR Gruppe 2 .....	99
Anlage 9: Barwerte Höf - Werte LR Gruppe 2 .....	100
Anlage 10: Systemkomponenten Wallsee - Teil 1 .....	101
Anlage 11: Systemkomponenten Wallsee - Teil 2 .....	102
Anlage 12: Auszahlungsgrundlage Wallsee .....	103
Anlage 13: Durchschnittliche Jahreskosten Wallsee - Werte LR.....	104

## Anlage 1: Systemkomponenten Höf - Teil 1

Systemkomponenten Höf - Teil 1									
Bestandteil	A11	A12	A13	A21	A22	A23	A24	A25	A26
Nebenkanal DN 150	1311	1529	1378						
Hauptkanal DN 200	359	359	358						
Ableitungskanal DN 150	249	260	874		249	260	515	249	260
Druckleitung 5/4"	288				1599	1529	1378	1599	1529
Transportkanal PE DN 80					359	359	359	359	359
Pumpwerk 10 EW	2				2			2	
ARA 16 EW			1				1		
ARA 20 EW		1	1			1	1		1
ARA 55 EW			1				1		
ARA 70 EW		1				1			
ARA 90 EW	1				1			1	1
PKA 10 EW									
PKA 20 EW									
PKA 55 EW									
PKA 70 EW									
PKA 90 EW									
Senkgrube 15,4 m³				4					
Senkgrube 22,5 m³									
Senkgrube 24,3 m³				9					
Senkgrube 31,3 m³				9					
Großbehälter / Fertigteil 40 m³				1					
Großbehälter / Fertigteil 50 m³									
Großbehälter / Fertigteil 55 m³				1					
Großbehälter / Fertigteil 70 m³				4					
Gelbwasserspeicher 0,5 m³									
Gelbwasserspeicher 1,0 m³									
Gelbwasserspeicher 1,5 m³									
Gelbwasserspeicher 2,0 m³									
Rottebehälter									
Grauwassertrennung A									
Grauwassertrennung C									
Gelbwassertrennung A									
Gelbwassertrennung C									
Komplette Trennung A									
Komplette Trennung C									
Septic Tank 3.800 Liter					24	24	24		
Septic Tank 5.700 Liter					4	4	4		
Feststofffilter Septic Tank					28	28	28		
Aquatron 90								8	8
Aquatron 4x200								11	11
Separator								9	9
Hausanschlüsse	28	28	28		28	28	28	28	28
Eigenausbringung LW				1237					
Transport Privat (Lkw)				1991				1,49	1,49
Übernahme Kläranlage				1991				1,49	1,49
Einzahlung für Urin									

Quelle: In Anlehnung an Köck 2004

## Anlage 2: Systemkomponenten Höf - Teil 2

Systemkomponenten Höf - Teil 2								
Bestandteil	B1a	B1b	B2a	B2b	B2c	B3a	B3b	C1
Nebenkanal DN 150			1319	1537	1378			1092
Hauptkanal DN 200			359	359	359			359
Ableitungskanal DN 150	249	260	249	260	874	249	260	260
Druckleitung 5/4"	1029	1113	288			1599	1529	
Transportkanal PE DN 80	359	359				359	359	
Pumpwerk 10 EW	1		2			2		
ARA 16 EW					1			
ARA 20 EW					1		1	
ARA 55 EW					1			1
ARA 70 EW							1	
ARA 90 EW						1		
PKA 10 EW		1						
PKA 20 EW				1				1
PKA 55 EW	1	1						
PKA 70 EW				1				
PKA 90 EW			1					
Senkgrube 15,4 m³	10	10						2
Senkgrube 22,5 m³	8	8						
Senkgrube 24,3 m³	1	1						2
Senkgrube 31,3 m³	8	8						1
Großbehälter / Fertigteil 40 m³	4	4				4	4	
Großbehälter / Fertigteil 50 m³	2	2				2	2	
Großbehälter / Fertigteil 55 m³								
Großbehälter / Fertigteil 70 m³								
Gelbwasserspeicher 0,5 m³			12	12	12	12	12	
Gelbwasserspeicher 1,0 m³			7	7	7	7	7	1
Gelbwasserspeicher 1,5 m³			8	8	8	8	8	2
Gelbwasserspeicher 2,0 m³			1	1	1	1	1	1
Rottebehälter						28	28	
Grauwassertrennung A	20	20						
Grauwassertrennung C	8	8						
Gelbwassertrennung A			20	20	20			
Gelbwassertrennung C			8	8	8	2	2	
Komplette Trennung A						20	20	
Komplette Trennung C						6	6	
Septic Tank 3.800 Liter								
Septic Tank 5.700 Liter								
Feststofffilter Septic Tank								
Aquatron 90								
Aquatron 4x200								
Separator								
Hausanschlüsse	19	19	27	27	27	28	28	
Eigenausbringung LW	1862	1862						711
Transport Privat (Lkw)	700,8	700,8						
Übernahme Kläranlage	700,8	700,8						711
Einzahlung für Urin			41,3	41,3	41,3	41,3	41,3	10,4

Quelle: In Anlehnung an Köck 2004

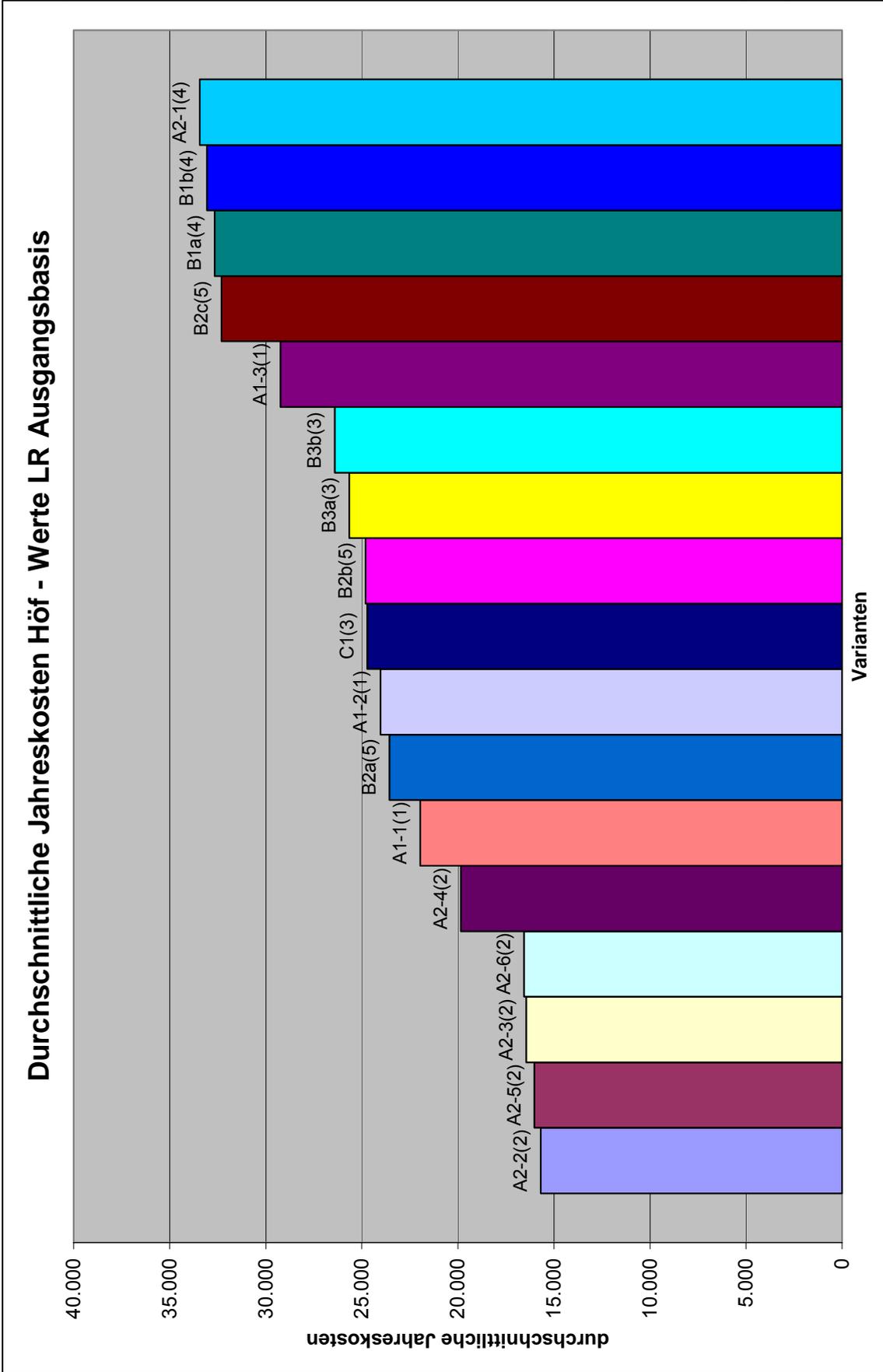
### Anlage 3: Auszahlungsgrundlage Höf

Komponente			Auszahlungen			
			lt. LR 1)	lt. Planungsbüro	laufende AZ	
Kanal	Freispiegel	DN 200	165/lfm		1/lfm	
		DN 150	125/lfm		1/lfm	
	Druckleitung	PE DN 80	49/lfm		0,7/lfm	
		PE 5/4"	33/lfm	45/lfm	0,7/lfm	
	Pumpwerk	Anlage	5.800	11.500	145	
		Energie			72,5	
ARA	Belebungsanlage	10 EW	1.017/EW	1.250/EW	131/EW	
		16 EW	837/EW	1.044/EW	94/EW	
		20 EW	799/EW	1.000/EW	78/EW	
		55 EW	456/EW	601/EW	41/EW	
		70 EW	405/EW	540/EW	35/EW	
		90 EW	358/EW	483/EW	29/EW	
PKA	Pflanzenkläranlage	10 EW	7.514		131	
		20 EW	23.430		258	
		55 EW	26.961		506	
		70 EW	52.976		553	
		90 EW	53.181		558	
Speicher	Senkgrube	15,4 m <sup>3</sup>	2.797	1.850/EW		
		22,5 m <sup>3</sup>	4.088			
		24,3 m <sup>3</sup>	4.423			
		31,3 m <sup>3</sup>	5.697			
	Großbehälter/Fertigteil	40 m <sup>3</sup>	7.280			
		50 m <sup>3</sup>	9.100			
		55 m <sup>3</sup>	10.010			
		70 m <sup>3</sup>	12.740			
	Gelbwasserspeicher	0,5 m <sup>3</sup>	235			
		1,0 m <sup>3</sup>	469			
		1,5 m <sup>3</sup>	704			
		2,0 m <sup>3</sup>	938			
		Rottebehälter		3.990		
		Septic Tank 3.800 Liter		1.000		
	Septic Tank 5.700 Liter		1.375			
	Feststofffilter		55			
Trennung	Grauwassertrennung	A	948			
	Grauwassertrennung	C	3.320			
	Gelbwassertrennung	A	1.284			
	Gelbwassertrennung	C	3.888			
	Komplette Trennung	A	1.842			
	Komplette Trennung	C	4.540			
	Aquatron 90		882			
	Aquatron 4x200		1.508			
	Separator		393			
	Hausanschluß		1.000			
Entsorgung	Eigenausbringung LW		2,9/m <sup>3</sup>	160/EW		
	Transport Privat (Lkw)		8,72/m <sup>3</sup>	9,8/m <sup>3</sup>		
	Übernahme Kläranlage		2,18/m <sup>3</sup>	1,2/m <sup>3</sup>		
	Einzahlung für Urin		4,24/m <sup>3</sup>			

1) Richtwerte der Landesregierungen von NÖ und OÖ

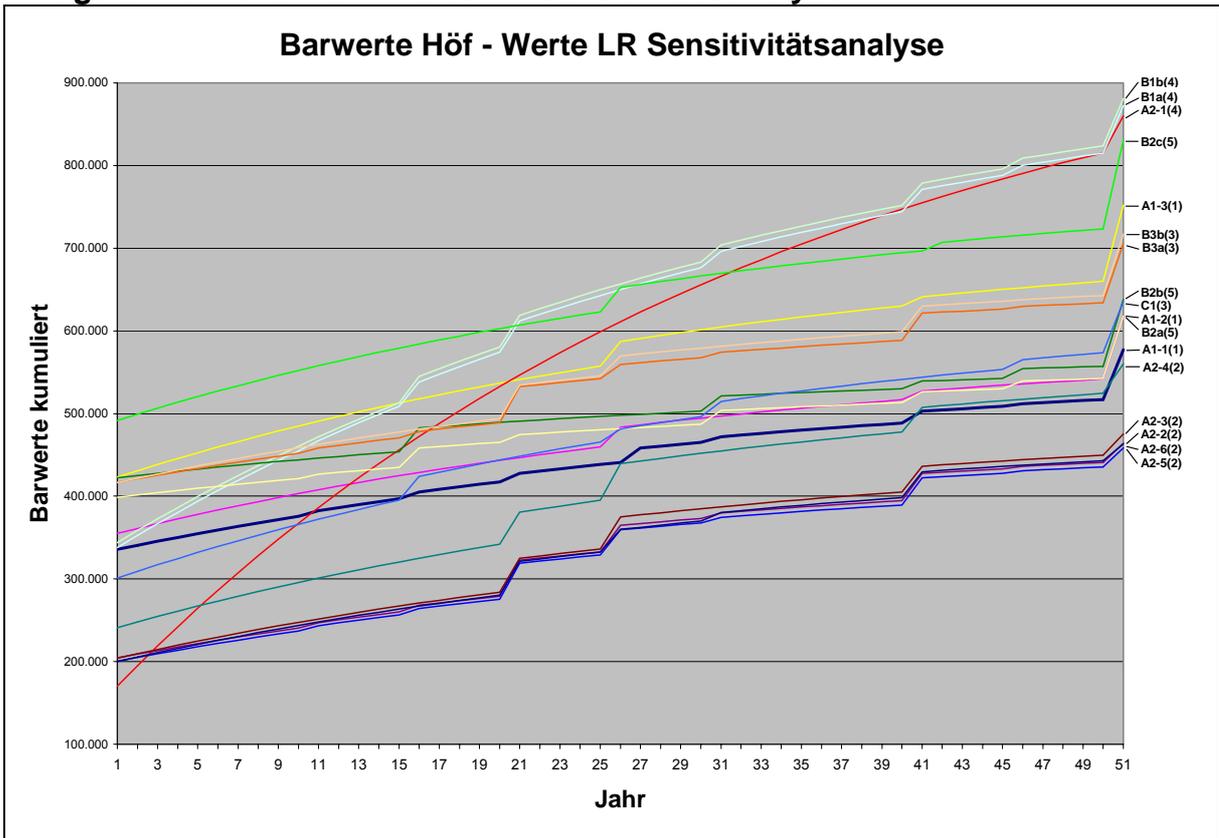
Quelle: In Anlehnung an Köck 2004

Anlage 4: Durchschnittliche Jahreskosten Höf - Werte LR Ausgangsbasis



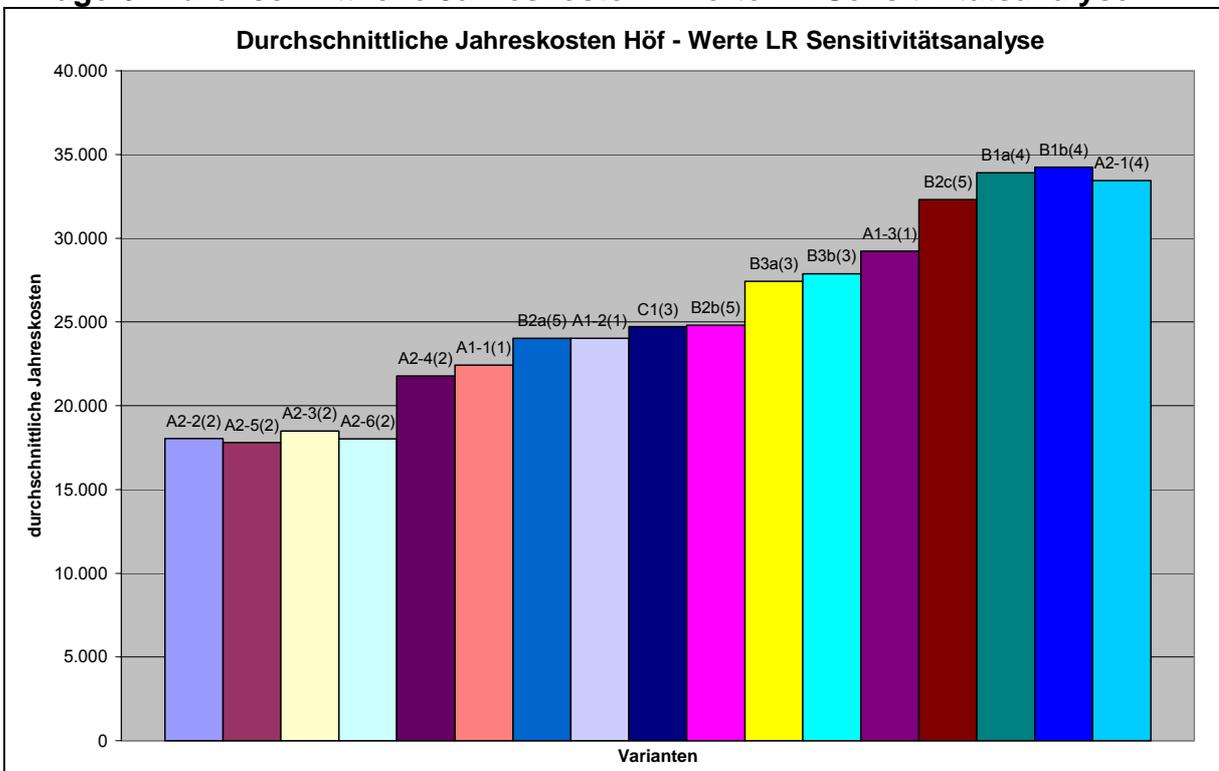
Quelle: Eigene Darstellung

### Anlage 5: Barwerte Höf - Werte LR Sensitivitätsanalyse



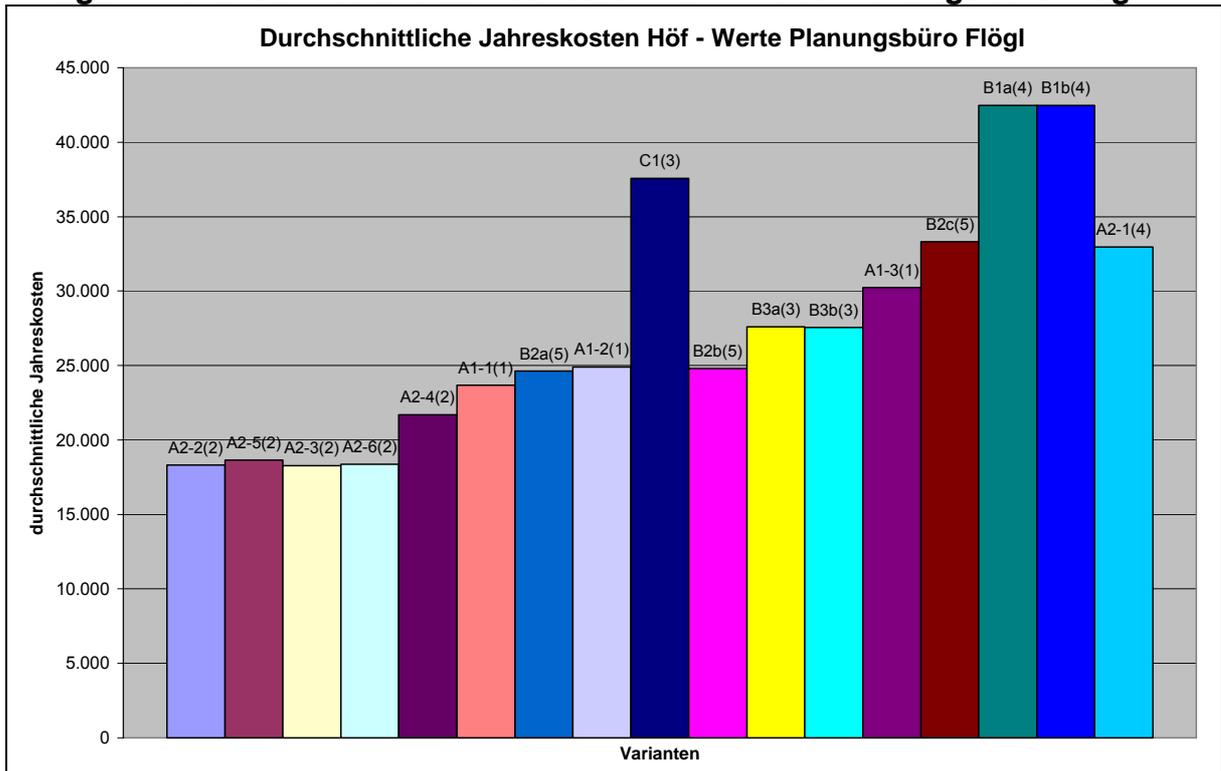
Quelle: Eigene Darstellung

### Anlage 6: Durchschnittliche Jahreskosten - Werte LR Sensitivitätsanalyse



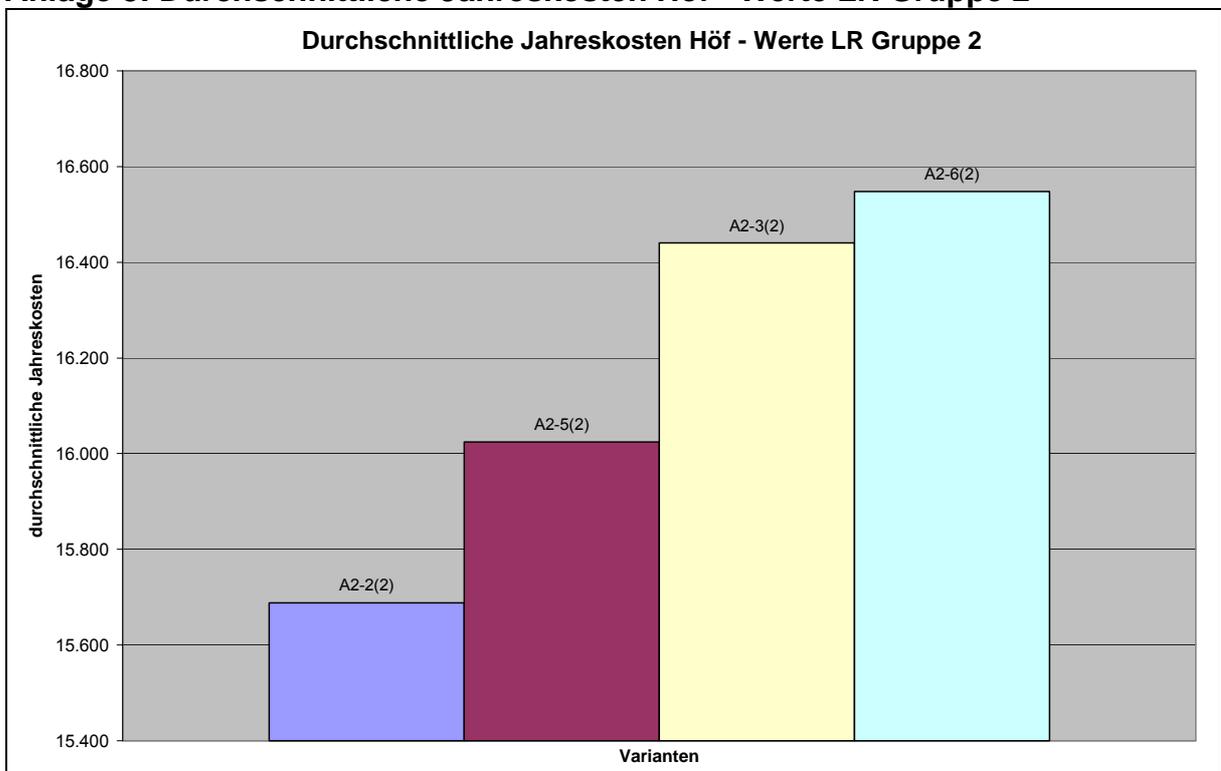
Quelle: Eigene Darstellung

### Anlage 7: Durchschnittliche Jahreskosten Höf - Werte Planungsbüro Flögl



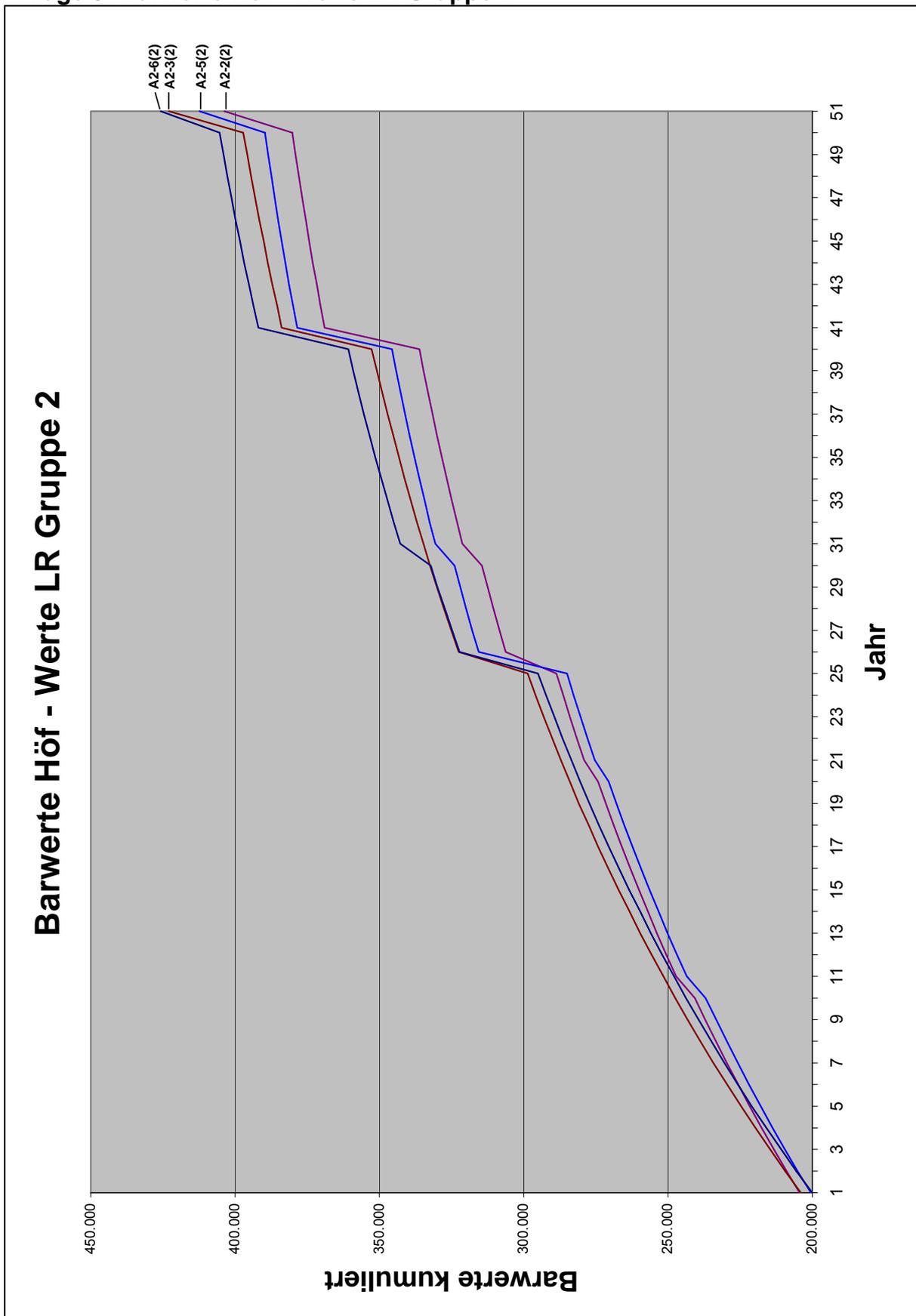
Quelle: Eigene Darstellung

### Anlage 8: Durchschnittliche Jahreskosten Höf - Werte LR Gruppe 2



Quelle: Eigene Darstellung

Anlage 9: Barwerte Höf - Werte LR Gruppe 2



Quelle: Eigene Darstellung

## Anlage 10: Systemkomponenten Wallsee - Teil 1

Systemkomponenten Wallsee - Teil 1								
Bestandteil	A11	A12	A13	A14	A21	A22	A23	A24
Nebenkanal DN 150 unverbaut	317	317	363	382		189	236	348
Hauptkanal DN 200 unverbaut	605	605	552	552				
Ableitungskanal DN 150		106	153	240				
Druckleitung DA 63						1207	1111	892
Druckleitung DA 75	1423	378	301	82				
Pumpwerk EW 7	1	1	1			1	1	
Pumpwerk EW 23			1	1			1	1
Pumpwerk EW 46								
Pumpwerk EW 47	1							
Pumpwerk EW 72	1	1						
ARA 7 EW				1				1
ARA 19 EW				1				1
ARA 26 EW			1				1	
ARA 46 EW			1	1			1	1
ARA 72 EW	1	1				1		
PKA 9 EW								
PKA 26 EW								
PKA 46 EW								
PKA 72 EW								
Senkgrube 15,4 m³								
Senkgrube 24,3 m³								
Senkgrube 31,3 m³					3			
Großbehälter / Fertigteil 50 m³								
Gelbwasserspeicher 0,5 m³								
Gelbwasserspeicher 1,5 m³								
Gelbwasserspeicher 2,0 m³								
Installation Grauwassertrennung A								
Installation Grauwassertrennung C								
Installation Gelbwassertrennung A								
Installation Gelbwassertrennung C								
Installation Komplette Trennung A								
Installation Komplette Trennung C								
Septic Tank 3.800 Liter						9	9	9
Septic Tank 5.700 Liter						5	5	4
Feststofffilter						14	14	13
Aquatron 90								
Aquatron 4x200								
Separator								
Hausanschlüsse	16	16	16	15				
Eigenausbringung LW					756			
Transport Privat (Lkw)					2458	3,4	3,4	3
Übernahme Kläranlage					2458	3,4	3,4	3
Einzahlung für Urin								

Quelle: In Anlehnung an Köck 2004

## Anlage 11: Systemkomponenten Wallsee - Teil 2

Systemkomponenten Wallsee - Teil 2									
Bestandteil	A25	A26	A27	B1a	B1b	B2a	B2b	B2c	B3
Nebenkanal DN 150 unverbaut	189	236	348	168	236	317	317	363	168
Hauptkanal DN 200 unverbaut						605	605	552	
Ableitungskanal DN 150						106		153	
Druckleitung DA 63	1207	1111	892	791	1111				791
Druckleitung DA 75						378	1423	301	
Pumpwerk EW 7	1	1			1	1	1	1	
Pumpwerk EW 23		1	1	1	1			1	
Pumpwerk EW 46						1	1		
Pumpwerk EW 47									
Pumpwerk EW 72							1		
ARA 7 EW			1						
ARA 19 EW			1						
ARA 26 EW		1						1	
ARA 46 EW		1	1					1	
ARA 72 EW	1								
PKA 9 EW				1					1
PKA 26 EW					1				
PKA 46 EW				1	1				1
PKA 72 EW						1	1		
Senkgrube 15,4 m³				1	1				1
Senkgrube 24,3 m³				2	2				2
Senkgrube 31,3 m³									
Großbehälter / Fertigteil 50 m³				2	2				2
Gelbwasserspeicher 0,5 m³						2	2	2	2
Gelbwasserspeicher 1,5 m³						10	10	10	10
Gelbwasserspeicher 2,0 m³						4	4	4	4
Installation Grauwassertrennung A				9	9				
Installation Grauwassertrennung C				4	4				
Installation Gelbwassertrennung A						12	12	12	3
Installation Gelbwassertrennung C						4	4	4	
Installation Komplette Trennung A									9
Installation Komplette Trennung C									4
Septic Tank 3.800 Liter									
Septic Tank 5.700 Liter									
Feststofffilter									
Aquatron 90	1	1	1						
Aquatron 4x200	11	11	11						
Separator	4	4	4						
Hausanschlüsse	16	16	15	13	13	16	16	16	13
Eigenausbringung LW				262,6	262,6				262,6
Transport Privat (Lkw)	0,88	0,88	0,88	788,4	788,4				788,4
Übernahme Kläranlage	0,88	0,88	0,88	788,4	788,4				788,4
Einzahlung für Urin						3,9	3,9	3,9	

Quelle: In Anlehnung an Köck 2004

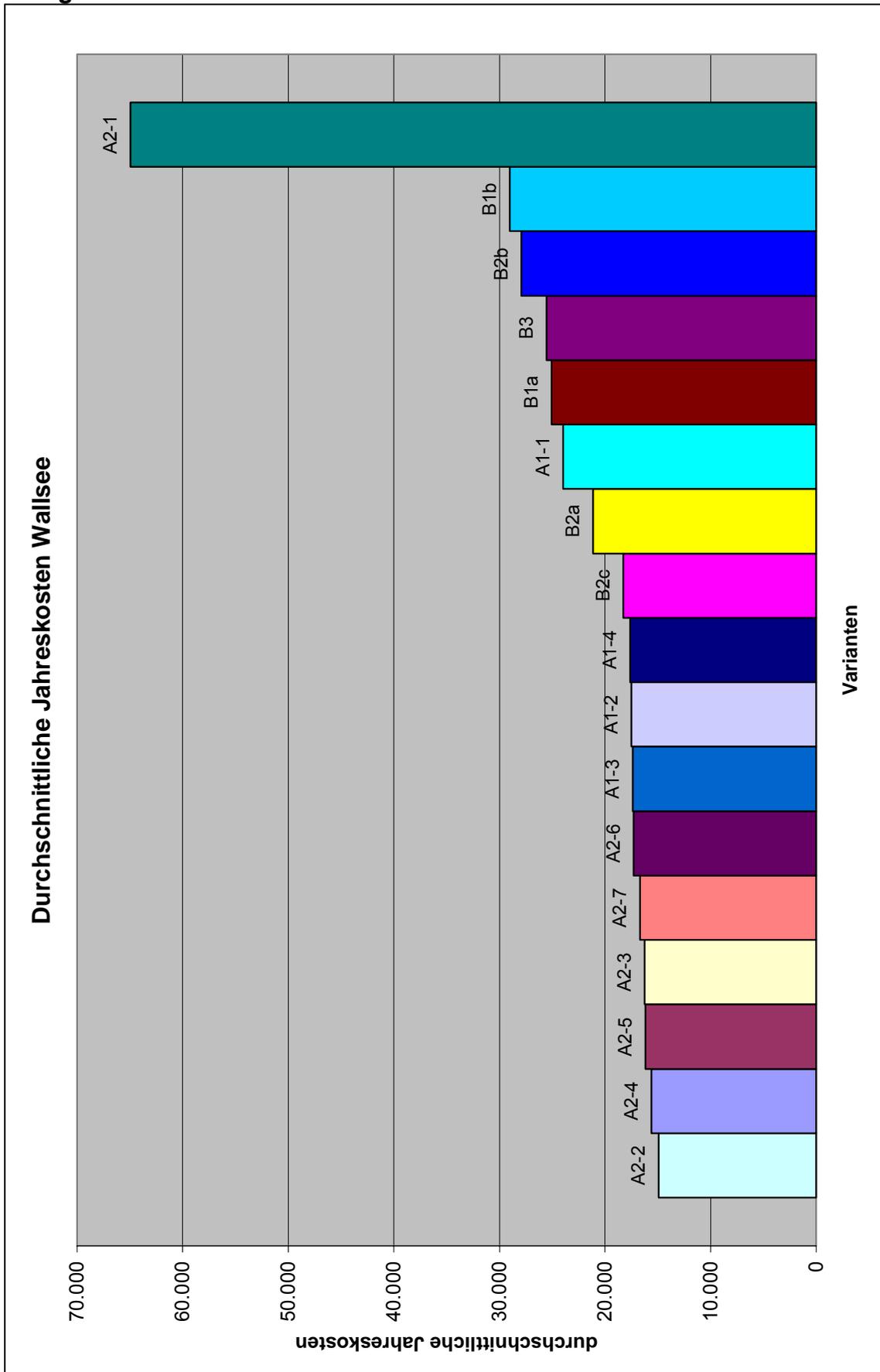
## Anlage 12: Auszahlungsgrundlage Wallsee

Komponente			Investition <sup>1)</sup>	laufende AZ	
Kanal	Freispiegel	HK DN 200	130/lfm	1/lfm	
		NK DN 150	130/lfm	1/lfm	
		AK DN 150	130/lfm	1/lfm	
	Druckleitung	DA 63/75	110/lfm	0,40/lfm	
	Pumpwerk	7 EW	4.500	216	
		23 EW	6.297	344	
		46 EW	7.125	406	
		47 EW	7.161	409	
		72 EW	11.039	440	
ARA	Belebungsanlage	7 EW	1.242/EW	74/EW	
		19 EW	808/EW	40/EW	
		26 EW	706/EW	44/EW	
		46 EW	552/EW	35/EW	
		72 EW	455/EW	38/EW	
PKA	Pflanzenkläranlage	9 EW	1.051/EW	41/EW	
		26 EW	794/EW	41/EW	
		46 EW	682/EW	38/EW	
		72 EW	606/EW	44/EW	
Speicher	Senkgrube	15,4 m <sup>3</sup>	2.797		
		24,3 m <sup>3</sup>	4.423		
		31,3 m <sup>3</sup>	5.697		
		Großbehälter/Fertigteil	50 m <sup>3</sup>	9.100	
			Gelbwasserspeicher	0,5 m <sup>3</sup>	235
			1,5 m <sup>3</sup>	704	
			2,0 m <sup>3</sup>	938	
		Rottebehälter		3.990	
		Septic Tank 3.800 Liter		1.000	
		Septic Tank 5.700 Liter		1.375	
		Feststofffilter		55	
	Trennung	Grauwassertrennung	A	948	
			C	3.320	
Gelbwassertrennung		A	1.284		
		C	3.888		
Komplette Trennung		A	1.842		
		C	4.540		
		Aquatron 90		882	
		Aquatron 4x200		1.508	
		Separator		393	
	Hausanschluß		1.000		
Entsorgung	Eigenausbringung LW		2,9/m <sup>3</sup>		
			8,72/m <sup>3</sup>		
	Übernahme Kläranlage		2,18/m <sup>3</sup>		
			4,24/m <sup>3</sup>		

<sup>1)</sup> Kostenrichtwerte der Landesregierungen der Stmk, OÖ und NÖ

Quelle: In Anlehnung an Köck 2004

### Anlage 13: Durchschnittliche Jahreskosten Wallsee - Werte LR



Quelle: Eigene Darstellung

## 6. Literaturverzeichnis

Berger Biotechnik (2002):

[http://www.berger-biotechnik.de/downloads/aquatron\\_deutsch.pdf](http://www.berger-biotechnik.de/downloads/aquatron_deutsch.pdf) [Stand: 3.7.2004]

BMLFUW (2002): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft der Republik Österreich, Abteilung VII/6 - Siedlungswasserwirtschaft: Kosten-Nutzen-Überlegungen zur Gewässerschutzpolitik in Österreich mit besonderer Berücksichtigung des ländlichen Raumes

Däumler, Klaus-Dieter (2000): Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung. 10. Auflage

Docekal, Josef (1999): Österreichs Wirtschaft im Überblick 98/99, Wirtschaftsstudio des Österreichischen Gesellschafts- und Wirtschaftsmuseums

Eiswirth, M. (2000): in UmweltPraxis 2000, 12; [http://www.agk.uni-karlsruhe.de/mitarbeiter/eiswirth/Eiswirth\\_UP\\_12-2000.pdf](http://www.agk.uni-karlsruhe.de/mitarbeiter/eiswirth/Eiswirth_UP_12-2000.pdf) [Stand: 5.7.2004]

Friedman, Daniel (2003): <http://www.inspect-ny.com/septic/tankpump.htm> [Stand: 13.7.2004]

Grob, Heinz Lothar (2001): Einführung in die Investitionsrechnung: eine Fallstudien-geschichte. 4. Auflage

Kaiserslautern, Technische Universität (2003): <http://gandalf.arubi.uni-kl.de/info/info.shtml> [Stand: 17.7.2004]

Köck, Stefan (2004): Planung alternativer Abwasserentsorgungssysteme im ländlichen Raum (noch nicht veröffentlicht)

Kuhnert, Ulrike (1996): Der Stand der Abwasserreinigung in Österreich – Case Studies; DA am Institut für Technologie und Warenwirtschaftslehre der Wirtschaftsuniversität Wien

LAWA (1998): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 6. Auflage

Mecklenburg County (2002):

<http://www.charmeck.org/Departments/Health+Department/Programs+and+Services/Environmental+Health/IWWS/On-Site+Wastewater/home.htm> [Stand: 13.7.2004]

Orlando, Laura (2000a): in Musings, June 13, 2000, Sustainable Sanitation, Part 2, <http://www.riles.org/musings29.htm> [Stand: 5.7.2004]

Orlando, Laura (2000b): in Musings, June 26, 2000, Sustainable Sanitation, Part 3, <http://www.riles.org/musings30.htm> [Stand: 5.7.2004]

Peter-Fröhlich, Anton / Kraume, Isabelle / Lesouëf, André / Oldenburg, Martin (2004): Separate Ableitung und Behandlung von Urin, Fäkalien und Grauwasser – ein Pilotprojekt. In: KA – Abwasser, Abfall 2004 (51. Jahrgang) Nr. 1 (Januar 2004)

Rolfes, Bernd (2003): Moderne Investitionsrechnung – Einführung in die klassische Investitionstheorie und Grundlagen marktorientierter Investitionsentscheidungen. 3. Auflage

Rudolph, Karl-Ulrich (1996a): Bestandsaufnahme über Instrumente und Wirkungen einer nachhaltigen Wasserpolitik – Arbeitsschwerpunkt Abwasserentsorgung, <http://www.difu.de/stadtoekologie/projekte/vorstudien/abwasserentsorgung.shtml> [Stand: 5.7.2004]

Rudolph, Karl-Ulrich (1996b): Handlungsspielräume einer nachhaltigen Abwasserwirtschaft, Vortrag zum Seminar-Difu/BMBF „Forum Stadtökologie“ am 5.5.1997 in Berlin, <http://www.difu.de/stadtoekologie/dokumente/online/wasser/rudolph.pdf> [Stand: 5.7.2004]

Schneider, Erich (1973): Wirtschaftlichkeitsrechnung. 8. Auflage

Seicht, Gerhard (1983): Investitionsentscheidungen richtig treffen – Theoretische Grundlagen und praktische Gestaltung moderner Investitionsrechnungsverfahren. 4. Auflage

Seicht, Gerhard (2001): Investition und Finanzierung. 10. Auflage

SWAMP (2004a): <http://www.swamp-eu.org/GERMAN/overview/overview32.html>  
[Stand: 8.7.2004]

SWAMP (2004b): <http://www.swamp-eu.org/GERMAN/overview/overview33.html>  
[Stand: 8.7.2004]

Swoboda, Peter (1996): Investition und Finanzierung - Betriebswirtschaftslehre im Grundstudium der Wirtschaftswissenschaft; Bd. 3, 5. Auflage

Walz, Hartmut / Gramlich, Dieter (1997): Investitions- und Finanzplanung: eine Einführung in finanzwirtschaftliche Entscheidungen unter Sicherheit; Grundstudium Betriebswirtschaftslehre; Bd. 3, 5. Auflage

Schönbäck, Wilfried (1995): Kosten und Finanzierung der öffentlichen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in Österreich.

Umweltbundesamt (2004):  
<http://www.umweltbundesamt.at/umwelt/wasser/abwasser/> [Stand: 12.7.2004]]

Wikipedia (2004): <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserwirtschaft>