

**Modellhafte Auslegung einer auf Stoffstromtrennung basierenden  
Abwasserverwertung für eine Hochhausapartmentsiedlung in  
Seoul, Südkorea**



Diplomarbeit  
Nicole Drücker

Wissenschaftliche Betreuung:  
Prof. Dr. Wolfgang Dickhaut  
Dipl. Ing. Thorsten Schütze

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Fachbereich Bauingenieurwesen  
April 2004

## **Dank an**

Wolfgang Dickhaut  
Thorsten Schütze

für die Betreuung

Mooyoung Han  
Youngjin Kim  
und alle Studenten des Water First Büros  
der Seoul National University

für die freundliche Unterstützung  
während meines Aufenthaltes in  
Seoul

Hans Christian Rüster, Christian  
Wilhelm, Ulrich Braun, Björn  
Lindner, Claudia Wendland, Ulrich  
Weise, Herrn Lüthe, Burkhard von  
Holten, Heinke Kleinschmidt

für die hilfreichen Auskünfte

Ingwer Schwensen  
Ramon Berg

für das Korrekturlesen

## Abkürzungen und Begriffsdefinitionen

Schwarzwasser:	Fäkalien, Urin und Toilettenspülwasser
Braunwasser:	Fäkalien und Toilettenspülwasser
Gelbwasser:	Urin mit oder ohne Spülwasser
Grauwasser:	Häusliches Abwasser ohne Schwarz-, Braun- und Gelbwasser
Ecosan:	Kurzbezeichnung für Ecological Sanitation, Ökologische Sanitärsysteme
BSB <sub>5</sub> /BOD	Biochemischer Sauerstoffbedarf, Biological Oxygen Demand Sauerstoffmenge, die durch die mikrobiellen Stoffwechselprozesse beim Abbau der Schmutzstoffe im aeroben Milieu bei 20°C innerhalb von 5 Tagen verbraucht wird
CSB/COD	Chemischer Sauerstoffbedarf, Chemical Oxygen Demand Sauerstoffmenge, die zur vollständigen Oxidation aller organischen Schmutzstoffe verbraucht wird
P	Phosphor
N	Stickstoff
TS	Trockensubstanz

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>4</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>2 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DEN EINSATZ ÖKOLOGISCHER SANITÄRSYSTEME IN KOREA</b> .....	<b>10</b>
2.1 EINLEITUNG.....	10
2.2 STADTENTWICKLUNG IN SEOUL .....	12
2.2.1 <i>Eine neue Megacity</i> .....	12
2.2.2 <i>Entwicklung und Stand der Siedlungswasserwirtschaft</i> .....	13
<b>3 BESTANDSAUFNAHME, BESCHREIBUNG DES PROJEKTGEBIETES BANG BAE</b> .....	<b>19</b>
3.1 BESCHREIBUNG DER SIEDLUNG .....	19
<b>4 ENTWICKLUNGSSZENARIEN FÜR DAS PROJEKTGEBIET BANGBAE</b> .....	<b>24</b>
4.1 EINLEITUNG.....	24
4.2 VORANNAHMEN .....	24
4.3 TECHNISCHE ANLAGEN UND SYSTEME .....	27
4.3.1 <i>Urinseparation</i> .....	27
4.3.2 <i>Schwarzwasserkreislauf</i> .....	29
4.3.3 <i>Braunwasserkreislauf</i> .....	30
4.3.4 <i>Rottebehälter</i> .....	31
4.3.5 <i>Biogasanlagen mit Vakuumsammlung</i> .....	31
4.3.6 <i>Tauchtropfkörper</i> .....	31
4.3.7 <i>Membranbelebungsanlagen</i> .....	33
4.4 UNTERSUCHUNGS- UND BEWERTUNGSKRITERIEN .....	34
4.4.1 <i>Trinkwasserersparnis und Abflussmenge</i> .....	34
4.4.2 <i>Flächenbedarf</i> .....	34
4.4.3 <i>Nährstoffgewinnung</i> .....	34
4.4.4 <i>Energiebedarf</i> .....	35
4.4.5 <i>Kosten; Investitionskosten und Betriebskosten</i> .....	35
4.5 VARIANTEN DER GRUPPE A: URINSEPARATIONSSYSTEME.....	37
4.5.1 <i>Variante A1: Urinseparation</i> .....	37
4.5.2 <i>Variante A2: Braunwasserkreislauf</i> .....	41
4.5.3 <i>Variante A3: Biogasanlage</i> .....	44
4.6 VARIANTEN DER GRUPPE B: SCHWARZWASSERSYSTEME .....	47
4.6.1 <i>Variante B1: Biogasanlage</i> .....	47
4.6.2 <i>Variante B2: Schwarzwasserkreislauf</i> .....	50
4.7 VARIANTEN DER GRUPPE C: GEMEINSAME BEHANDLUNG ALLER TEILSTRÖME.....	53
4.7.1 <i>VARIANTE C1: MIKROFILTRATION</i> .....	53
4.8 <i>Vergleichende Bewertung</i> .....	54
4.8.1 <i>Wasserverbrauch</i> .....	56
4.8.2 <i>Flächenverbrauch</i> .....	58
4.8.3 <i>Nährstoffgewinnung</i> .....	58
4.8.4 <i>Energieverbrauch</i> .....	60
4.8.5 <i>Kosten</i> .....	67
4.8.6 <i>Gewässerschutz</i> .....	75
4.9 ABSCHLIEßENDE BETRACHTUNG .....	76

<b>5 FAZIT UND AUSBLICK .....</b>	<b>77</b>
<b>6 QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>79</b>
6.1 LITERATURVERZEICHNIS .....	79
6.2 PERSÖNLICHE AUSKÜNFTE .....	82

## **Anhang**

<b><u>ANHANG I: BEMESSUNGSRUNDLAGEN .....</u></b>	<b>1</b>
<b><u>ANHANG II: STOFFFRACHTEN .....</u></b>	<b>5</b>
<b><u>ANHANG III: FLÄCHENBEDARF .....</u></b>	<b>7</b>
<b><u>ANHANG IV: NÄHRSTOFFGEWINNUNG.....</u></b>	<b>9</b>
<b><u>ANHANG V: ENERGIEBEDARF .....</u></b>	<b>11</b>
<b><u>ANHANG VI: KOSTEN UND LEISTUNGSVERZEICHNISSE.....</u></b>	<b>24</b>

## Diagramm- und Tabellenverzeichnis

Diagramm 1: Wasserverbrauch .....	57
Diagramm 2; Flächenbedarf .....	59
Diagramm 3: Energieverbrauch .....	61
Diagramm 4: Energiegutschriften aus Düngerertrag .....	62
Diagramm 5: Energieverbrauch bei Auslegung der Anlagen auf den Betriebswasserverbrauch .....	65
Diagramm 6: Investitionskosten.....	68
Diagramm 7: Betriebskosten .....	69
Diagramm 8: Finanzieller Mehraufwand und Investitionskosten für den Einzelhaushalt .....	73
Diagramm 9: Amortisationszeiten .....	74
Tabelle 1: Variante A1 Volumenströme .....	39
Tabelle 2: Variante A2 Volumenströme .....	42
Tabelle 3: Variante A3 Volumenströme .....	45
Tabelle 4: Variante B1 Volumenströme.....	48
Tabelle 5: Variante B2 Volumenströme.....	51
Tabelle 6: Variante C1 Volumenströme.....	54
Tabelle 7: Energiebilanz.....	63
Tabelle 8: Energiebilanz bei Auslegung der Anlagen auf den Betriebswasserverbrauch.....	66
Tabelle 9: Berechnung der Amortisation mit Wasserpreisen aus Seoul .....	70
Tabelle 10: Berechnung der Amortisation mit Wasserpreisen aus Hamburg .....	72

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geografische Lage Südkorea. Aus: Microsoft Encarta 2003 .....	10
Abbildung 2: Aufkleber auf einem Auto in Seoul .....	11
Abbildung 3: Die 25 Stadtbezirke von Seoul mit Kennzeichnung des Bezirks der untersuchten Siedlung aus: Seoul Metropolitan Government (2000), S.9 .....	12
Abbildung 4: Flächenversiegelung aus: Ministry of Environment (2002) .....	13
Abbildung 5: Wasseraufbereitungs- und Wasserspeicherstellen in Seoul. Aus: Ministry of Environment (2002) .....	14
Abbildung 6: Getrennte Sammlung des Toilettenpapiers auf öffentlichen Toiletten .....	15
Abbildung 7: Urinale auf der Frauentoilette der Seoul National University .....	16
Abbildung 8: Grenzwerte für die Einleitung von Abwasser. Aus: Ministry of Environment (2002), S: 447 .....	16
Abbildung 9: Lageplan der Kläranlagen in Seoul. Aus: Ministry of Environment (2002).....	17
Abbildung 10: Angler am Han Fluss.....	17
Abbildung 11: Lageplan Bangbae .....	19
Abbildung 12: Die Hochhäuser nach der geplanten Sanierung; Plakat des Ssangyong Konzerns.....	20
Abbildung 13: In der Mitte des Bildes ist in Längsrichtung das A Gebäude zu sehen.....	21
Abbildung 14: Vorderseite des B Gebäudes .....	21
Abbildung 15: Markt vor dem A Gebäude.....	22
Abbildung 16: Mülltrennung vor dem B Gebäude.....	23
Abbildung 17: Behälter für Küchenabfälle .....	23
Abbildung 18: Zusammensetzung von Grauwasser: Aus Fachvereinigung für Betriebs- und regenwassernutzung (2004); S.9 .....	26
Abbildung 19: Schema der Urinseparation. Aus: Johansson (2000), S.8 .....	27

Abbildung 20: Urintankwagen in Schweden. Aus: Johansson (2000), S: 20 .....	28
Abbildung 21: Schema des Schwarzwasserkreislaufes; Posterpräsentation von Björn Lindner(u.a.) auf dem Kongress „Ecosan-closing the loop“, April 2003 in Lübeck .....	29
Abbildung 22: Funktionsschema eines Tauchtropfkörpers. Aus: Werbeprospekt der Firma GEP, 2002) .....	32
Abbildung 23. Tauchtropfkörper. Aus: Werbeprospekt der Firma GEP, 2002) .....	32
Abbildung 24: Schema der Membranbelebung. Aus: Werbeprospekt der Firma Busse .....	33
Abbildung 25: Urintrenntoilette. Aus: Werbeprospekt der Firma Roediger.....	37

Alle Fotos, soweit nicht anders vermerkt, von Nicole Drücker, Winter 2003

# 1 Einleitung

„Hegel war der erste, der das Verhältnis von Freiheit und Notwendigkeit richtig darstellte. Für ihn ist die Freiheit die Einsicht in die Notwendigkeit. »Blind ist die Notwendigkeit nur, insofern dieselbe nicht begriffen wird. « Nicht in der geträumten Unabhängigkeit von den Naturgesetzen liegt die Freiheit, sondern in der Erkenntnis dieser Gesetze, und in der damit gegebenen Möglichkeit, sie planmäßig zu bestimmten Zwecken wirken zu lassen.“

Friedrich Engels (1878)

Das konventionelle, vorherrschende Abwassersystem, welches auf einer Spültoilette, Schwemmkanalisation und der anschließenden zentralen Abwasserreinigung in einer Kläranlage beruht, ist im 19. und 20. Jahrhundert vor allem im Hinblick auf hygienische Probleme entwickelt worden. Mag es zu dem damaligen Zeitpunkt eine adäquate Lösung gewesen sein, ist das System heute zu einem Problem geworden.

Es besteht die Notwendigkeit, das althergebrachte System zu hinterfragen und nach neuen Lösungen für die Probleme der Wasserver- und Entsorgung zu suchen.

Qualitativ hochwertiges Trinkwasser wird dazu benutzt, Fäkalien und Urin wegzuspülen. Durch die weit verbreitete gemeinsame Ableitung von Regenwasser und häuslichem Abwasser kommt es bei starken Regenereignissen häufig zu Mischwasserentlastungen direkt in die Gewässer. Das Sickerwasser aus den Kanälen bedeutet eine hohe Gefährdung des Grundwassers. Zentrale Kläranlagen sind in der Investition und im Betrieb teuer und stellen aus diesem Grunde nur für die so genannten Industrienationen eine erschwingliche Lösung dar.

Der in den Kläranlagen anfallende Klärschlamm muss aufgrund der zunehmenden Schadstoffbelastung als Sondermüll teuer entsorgt werden. Zur Nährstoffelimination werden in den Klärwerken, sofern sie überhaupt mit Denitrifizierung und Phosphatfällung ausgestattet sind, große Energiemengen verbraucht. Aus diesen Gründen wird das konventionelle Abwassersystem häufig als „end-of-pipe“-Technologie bezeichnet. Anstatt das Abwasserproblem an seinem Entstehungsort anzugehen, wird versucht, es vor der Einleitung in die Gewässer zu lösen.

In der BRD resultieren aus dieser Verschwendung von Ressourcen noch keine wesentlichen Einschnitte in der Versorgung der Bevölkerung, aber sie bringt gravierende Umweltprobleme mit sich.

Weltweit betrachtet, stellt sich das Problem der Wasserver- und Entsorgung anders dar. Derzeit haben 1,4 Mrd. Menschen keine gesicherte Trinkwasserversorgung, 2,4 Mrd. Menschen verfügen über keinerlei Abwasserentsorgung, verschmutztes Trinkwasser ist derzeit Krankheitsursache Nummer 1 und hat jährlich mindestens 7 Millionen Tote zur Folge.<sup>1</sup> Sicherlich ist die mangelnde Trinkwasserversorgung eines großen Teils der Weltbevölkerung vor allen Dingen ein gesellschaftliches Problem, jedoch würde die Einführung von Spültoilette und Schwemmkanalisation (und ihr weiterer Betrieb) in vielen Regionen der Welt dazu führen, dass eine ausreichende Versorgung mit Trinkwasser, selbst wenn sie gewollt wäre, an ihre natürlichen Grenzen stieße. Im Hinblick auf diese Tatsachen wird ein Umdenken und ein Suchen nach neuen Lösungen noch dringlicher.

Ein möglicher Lösungsansatz liegt in der Entwicklung von so genannten ökologischen Sanitärsystemen. Sie beruhen auf dem Prinzip der Stoffstromtrennung.

<sup>1</sup>Siehe: [http://www.wissen.swr.de/sf/begleit/bg0054/wasser\\_hintergrund.htm](http://www.wissen.swr.de/sf/begleit/bg0054/wasser_hintergrund.htm)  
[www.berlin-institut.org/pdfs/Simonis\\_Wasser%20und%20Weltbevoelkerung.pdf](http://www.berlin-institut.org/pdfs/Simonis_Wasser%20und%20Weltbevoelkerung.pdf)

Häusliches Abwasser lässt sich in die Stoffströme Schwarzwasser und Grauwasser, bzw. Braunwasser, Gelbwasser und Grauwasser aufteilen und jeweils getrennt behandeln. Das Grauwasser kann behandelt und als Betriebswasser z.B. für die Toilettenspülung wieder verwendet werden. Schwarzwasser oder Braunwasser lassen sich in Biogasanlagen zu Energie und Dünger umwandeln. Gelbwasser kann nach Speicherung ebenfalls als Dünger verwandt werden. Wichtige Nährstoffe wie Phosphat und Stickstoff können so recycelt werden. Regenwasser, welches nach der gesetzlichen Definition ebenfalls zu den Abwässern gehört, kann versickert oder nach entsprechender Aufbereitung als Betriebswasser genutzt werden. In dieser Diplomarbeit soll untersucht werden, welcher reale Nutzen aus diesen ökologischen Sanitärsystemen zu ziehen ist. Die Arbeit ist eingebettet in ein Promotionsvorhaben von Thorsten Schütze zur Untersuchung von dezentralen Abwassersystemen in hochverdichteten Siedlungen. Im Rahmen dieses Promotionsvorhabens soll ein Vergleich zwischen Hamburg, Deutschland und Seoul, Südkorea gezogen werden. So sollten für eine Hochhaussiedlung in Seoul verschiedene Modelle entwickelt und beurteilt werden. Um die Verhältnisse und Rahmenbedingungen vor Ort besser einschätzen und beurteilen zu können, erfolgte im Winter 2003 ein zweimonatiger Aufenthalt in Südkorea. Dort wurden die notwendigen Grundlagendaten erhoben und eine Hochhaussiedlung untersucht.

## 2 Rahmenbedingungen für den Einsatz ökologischer Sanitärsysteme in Korea

### 2.1 Einleitung

Südkorea gehört zu den ostasiatischen Staaten. Im Norden grenzt es an Nordkorea, ist ansonsten vom Japanischen bzw. Gelben Meer umgeben und liegt in Nachbarschaft zu Japan und China.



Abbildung 1: Geografische Lage Südkorea

Das Land wird von Süden nach Norden von einem Gebirgszug durchzogen, lediglich im Westen des Landes befindet sich eine etwa 100km breite Ebene.

Derzeit leben etwa 48.289.000 Menschen in Südkorea, davon 42.440.000 Personen in Städten; dies entspricht einer Urbanisierungsrate von 88,1%.<sup>2</sup>

Das Klima ist geprägt von kalten trockenen Wintern und heißen, niederschlagsreichen Sommermonaten.

Die Geschichte Koreas im 20. Jahrhundert ist sehr wechselhaft. Die politische und wirtschaftliche Entwicklung des Landes wurde stark von seiner geostrategischen Lage beeinflusst. So befand es sich Ende des 19. Jahrhunderts im Visier der Interessen Russlands, Japans und Chinas. 1910 schließlich wurde Korea von Japan annektiert. Die japanische Besatzung dauerte bis 1945 und war begleitet von einer brutalen Repression gegenüber der Zivilbevölkerung und jeglicher Form von Opposition gegen die japanische Herrschaft. Im Jahr 1937 greift Japan das chinesische Kernland an und beginnt damit den 2. Weltkrieg im pazifisch-asiatischen Raum. Die Entwicklung Koreas sollte vor allen Dingen auf die Kriegsführungsfähigkeit Japans ausgerichtet sein.<sup>3</sup> Korea diente den japanischen Besatzern als Agrarland zu ihrer Nahrungsmittelversorgung, Infrastrukturprojekte wurden vor allem hinsichtlich ihrer militärischen Nützlichkeit betrachtet. Viele Koreaner wurden zur Zwangsarbeit verpflichtet und z.B. in die Mandschurei deportiert, die 1931 von Japan besetzt worden war. 1945 musste die japanische Armee gegenüber den USA kapitulieren.

<sup>2</sup> Ministry of Environment (2002), S. 25

<sup>3</sup> Cumings (1997), S. 176

Der Süden Koreas wurde von den US-amerikanischen Armeen besetzt, der Norden von der Sowjetunion. Der Kalte Krieg spitzte sich auch in Korea immer weiter zu und führte 1950 zum Ausbruch des Koreakrieges. Die über 3 Jahre dauernden Kriegshandlungen forderten mehr als 4 Millionen Tote, Korea war weitestgehend zerstört und gehörte zu den ärmsten Entwicklungsländern der Welt. Um Südkorea gegenüber Nordkorea zu stärken, leisteten die USA eine enorme Wirtschaftshilfe. Zwischen 1953 und 1961 finanzierten sie nicht nur den überwiegenden Teil der Investitionsgüter und Verteidigungsausgaben, sondern auch zwischen 60 und 85% der Importe von Konsumgütern und Nahrungsmitteln.<sup>4</sup>

Auf der Basis dieser Kapitalzufuhr fand in den 60er Jahren ein starke Industrialisierung statt, die in den folgenden Jahrzehnten fortgeführt wurde. Geringe Löhne, lange Arbeitszeiten und hohe Kapitalinvestitionen aus Auslandskrediten garantierten das Wirtschaftswachstum.<sup>5</sup> Mittlerweile gehört Südkorea zu den so genannten NICs, den Newly Industrialized Countries, die innerhalb von 30 Jahren von den ärmsten Entwicklungsländern zu Industrienationen wurden. Heute ist Korea führend in der Herstellung von Halbleitern und im Schiffsbau, auch die Automobilindustrie ist weit entwickelt.



Abbildung 2: Aufkleber auf einem Auto in Seoul

---

<sup>4</sup> Linhart, Pilz (1999), S. 226

<sup>5</sup> Kim (2003), S. 30

## 2.2 Stadtentwicklung in Seoul

### 2.2.1 Eine neue Megacity

Im Jahre 1394 wird Seoul zur Hauptstadt der Yi Dynastie. Bis 1910 bleibt die Einwohnerzahl der Stadt relativ konstant bei 100.000-200.000 Einwohnern. Im Zuge der japanischen Okkupation wächst die Stadt bis 1945 auf 1 Million Einwohner an.<sup>6</sup>

Nach dem Krieg und der Kapitulation der Japanischen Armee kehren viele Koreaner aus der Mandschurei, China und Japan zurück, wohin sie verschleppt worden waren. Im Zuge dessen steigt die Einwohnerzahl auf 1,6 Millionen Einwohner. Während des Koreakrieges wird Seoul viermal eingenommen und wieder verloren, die Stadt selbst wird zu 47% zerstört.

Nach dem Krieg wächst die Stadt sprunghaft. Die Menschen ziehen in die Stadt auf der Suche nach Arbeit und besseren Lebensbedingungen. Viele Flüchtlinge wollen nicht mehr auf das Land zurückkehren. Es entstehen ausgedehnte illegale Wellblechsiedlungen.

Nach dem Militärputsch von 1961 wird die Industrialisierung des Landes forciert, in den landwirtschaftlichen Sektor des Landes wird kaum oder gar nicht investiert. Die Lebensbedingungen auf dem Land bleiben ärmlich und es setzt eine starke Landflucht in die Stadt ein; 1969 leben schon mehr als 5 Millionen Menschen in Seoul und in den 70er Jahre liegt die jährliche Zuzugsrate bei 300.000 Personen.



Abbildung 3: Die 25 Stadtbezirke von Seoul mit Kennzeichnung des Bezirks der untersuchten Siedlung

Bis zum Jahr 2002 ist die Bevölkerung in Koreas Hauptstadt auf 10,31 Millionen Menschen angewachsen. Damit hat Seoul eine Bevölkerungsdichte von 17.049 EW/km<sup>2</sup> und ist derzeit die am dichtesten besiedelte Stadt der Welt.

Der Charakter der Stadt hat sich im Verlauf dieser Entwicklung komplett geändert, sind auf den Bildern der 60er und der 70er Jahre noch vor allem die charakteristischen, eingeschossigen, koreanischen Häuser zu sehen, so ist Seoul heute von 10 bis 20 geschossigen Hochhaussiedlungen dominiert.

Die rasante Stadtentwicklung hat vielfältige Probleme hervorgerufen, sei es in der Flächennutzung, dem Verkehr, der Müllentsorgung, der Energieversorgung oder der Wasserver- und Entsorgung

<sup>6</sup> Kim; Choe( 1997), S. 7

So ist heute z.B. ein großer Teil der Fläche von Seoul durch Bebauung, Straßen und Parkflächen komplett versiegelt.

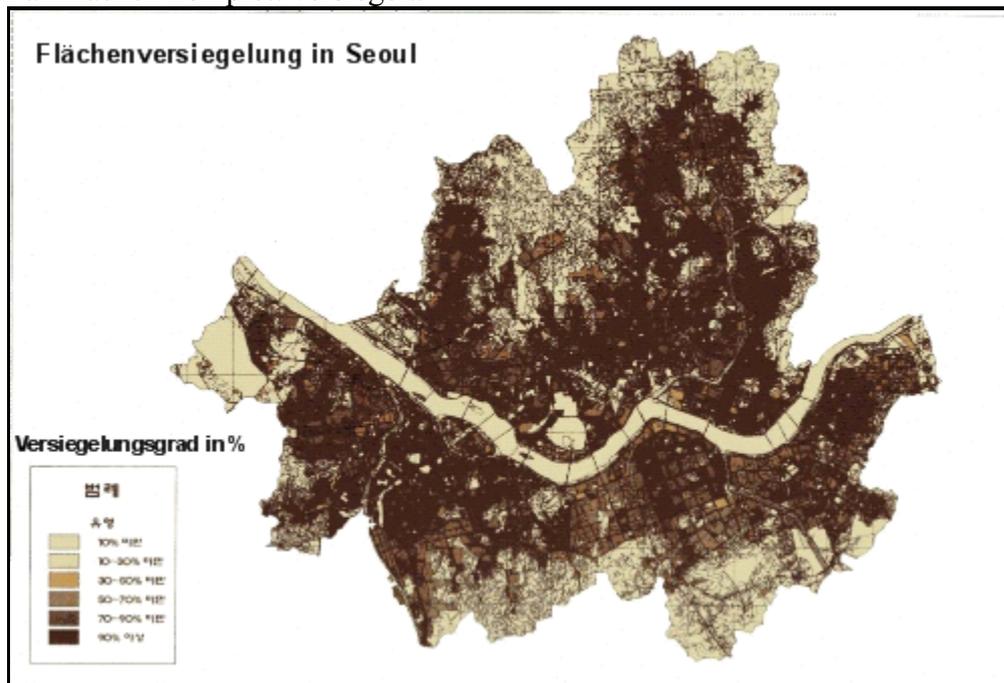


Abbildung 4: Flächenversiegelung

## 2.2.2 Entwicklung und Stand der Siedlungswasserwirtschaft

### Trinkwasserversorgung

Die ersten modernen Anlagen für die Trinkwasserbehandlung und Trinkwasserversorgung sind während der Besatzungszeit von den Japanern eingeführt worden. Auf diese Weise konnte die Sterblichkeitsrate aufgrund einer Choleraepidemie wesentlich reduziert werden.<sup>7</sup> Heute sind 99,9% der in Seoul lebenden Personen an die öffentliche Trinkwasserversorgung angeschlossen. Für Seoul und die Seoul Metropolitan Region (SMR) sind die wichtigsten Rohwasserquellen der Paldang Stausee und der Han Fluss.<sup>8</sup>

Die Trinkwasserstandards in Korea orientieren sich an den Vorgaben der WHO.

Die Gesamtmenge des 1999 in Seoul verbrauchten Wassers betrug 1.134.098.673 m<sup>3</sup>, davon wurden 776.810.640 m<sup>3</sup> Wasser für den häuslichen Gebrauch eingesetzt. Das sind mehr als 68% des gesamten Wasserverbrauchs.<sup>9</sup>

Diese hohen Zahlen repräsentieren allerdings nicht den tatsächlichen Verbrauch der Einwohner. Nach offiziellen Angaben betragen die Verluste durch undichte Wasserleitungen 18,1 % im nationalen Durchschnitt. Allein im Jahr 1998 gingen so 1 Billion m<sup>3</sup> Wasser verloren.<sup>10</sup>

Nach Berechnungen von Schütze lag der Wasserverbrauch in Privathaushalten im Jahr 2002 bei 206 l/E\*d; in der untersuchten Siedlung liegt der direkt im Gebäude gemessene Wasserverbrauch für das Jahr 2003 bei durchschnittlich 258,5 l/E\*d.<sup>11</sup> In der Bundesrepublik liegt nach Angaben des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft der durchschnittliche Verbrauch eines normalen Haushaltes bei 128 l/E\*d.

<sup>7</sup> Kim; Choe (1997), S. 9

<sup>8</sup> Schütze (2003), S.12

<sup>9</sup> Seoul Metropolitan Government (2000)

<sup>10</sup> Ministry of Environment (2000), S. 34

<sup>11</sup> siehe Anhang, S. 2

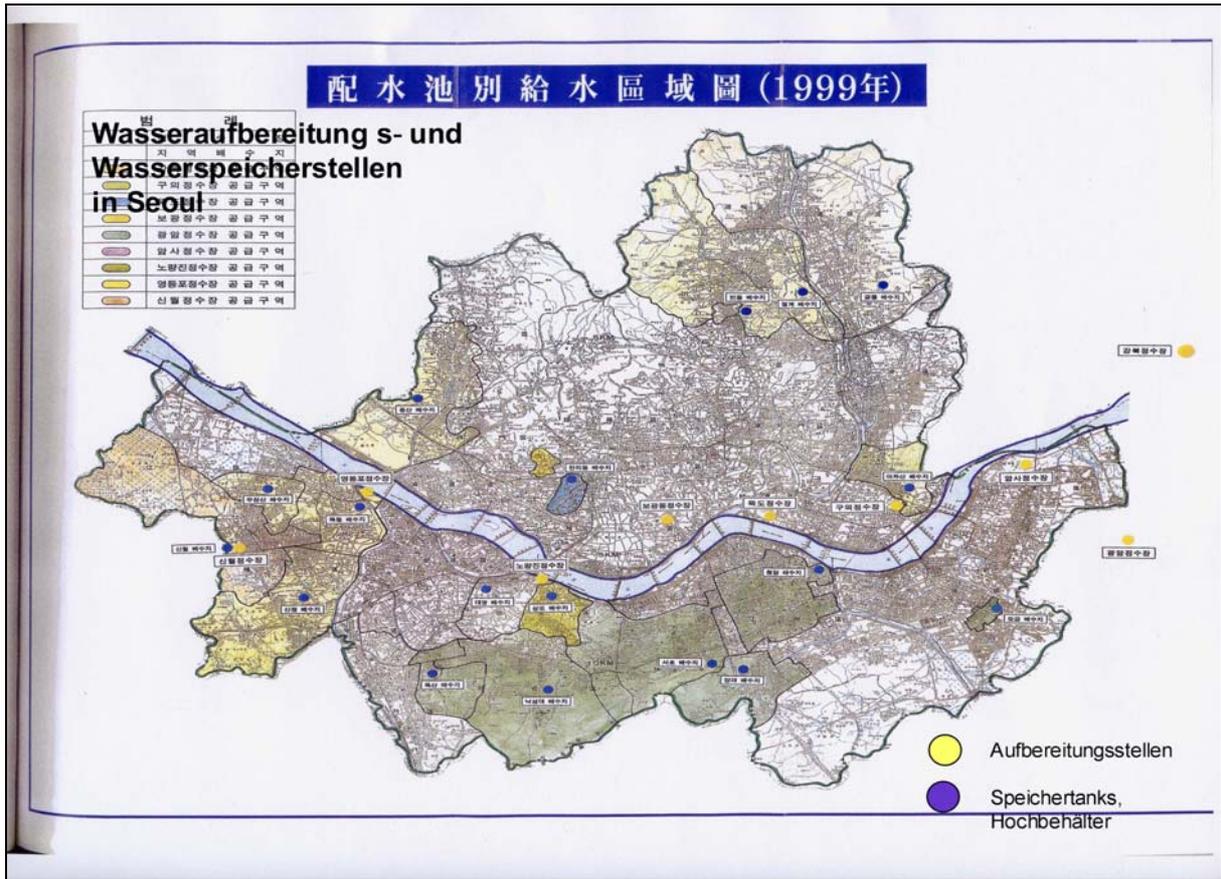


Abbildung 5: Wasseraufbereitungs- und Wasserspeicherstellen in Seoul

Dieser hohe Wasserverbrauch ist auf mehrere Ursachen zurückzuführen: Geschirr und auch Gemüse wird oft unter fließendem Wasser abgewaschen; da in der Regel auf dem Boden gegessen wird, wird dieser häufiger nass gereinigt; viele Koreaner duschen mehrmals täglich und die Toilettenspülung wird oft vor und nach dem Toilettengang betätigt.<sup>12</sup> Möglicherweise tragen auch veraltete Haushaltsgeräte und ein hoher Wasserdruck in den Leitungen zu dem hohen Verbrauch bei.

Gleichzeitig sind die vorhandenen Vorräte an Wasser sehr knapp.

Die durchschnittliche Niederschlagsmenge liegt zwar mit 1.274 mm/a 1,3 mal über dem weltweiten Durchschnitt.<sup>13</sup> Jedoch dienen diese Niederschläge nur geringfügig der Grundwasserneubildung.

Hinzu kommt die hohe Bevölkerungsdichte in Korea, so liegt die Menge an nutzbaren Wasserressourcen pro Einwohner bei 1.470m<sup>3</sup>. Aus diesem Grund wurde Korea 1993 von den Vereinten Nationen als Land mit Wasserknappheit eingestuft.<sup>14</sup>

Daraufhin entschied sich die Regierung, Maßnahmen zu ergreifen, um Wasser einzusparen. Es sollten wassersparende Armaturen eingebaut, alte Rohrleitungen ausgetauscht und Wasserrecyclinganlagen unterstützt werden. Schon seit 1991 gab es Empfehlungen der Regierung, für große Gebäudekomplexe Recyclinganlagen zu schaffen. Diese waren jedoch, sowohl was die Investitionen als auch den Betrieb anging, aufgrund der niedrigen Wasserpreise zu teuer und konnten sich nicht durchsetzen. Mittlerweile sind die Gebäudeinhaber ab einer bestimmten Größe verpflichtet, Recyclinganlagen einzubauen und zu betreiben, allerdings gilt dies z.B. nicht für Wohngebäude.

<sup>12</sup> Schütze (2003), S. 17

<sup>13</sup> Ministry of Environment (2000), S.34

<sup>14</sup> Ministry of Environment (2000), S.36

In der bereits zitierten Broschüre des koreanischen Umweltministeriums werden auch Bestrebungen dahin gehend geäußert, ein so genanntes, wassersparendes Preissystem einzuführen. Derzeit sind die Wasserpreise in Korea sehr niedrig und betragen nur etwa 70% der Aufbereitungskosten.

Im Zusammenhang mit dem neuen Preissystem wird auch eine geplante Privatisierung der Wasserversorgung angekündigt. Man hofft, dass die privaten Unternehmer Wasserpreise verlangen werden, die in Relation zu den Produktionskosten stehen und so die Einwohner zum Sparen veranlassen.<sup>15</sup>

### **Abwasserentsorgung**

Wie die zentrale Trinkwasserversorgung wurden auch die ersten Abwassersysteme von den Japanern eingeführt. In Seoul waren in den traditionellen einstöckigen Häusern Trockentoiletten sehr verbreitet, im Jahr 1999 gab es in Seoul jedoch nur noch 2025 Personen, die eine solche Trockentoilette benutzten. Mit der fortschreitenden Industrialisierung hatten sich Toiletten mit Wasserspülung durchgesetzt.

In Korea wurde die in Japan übliche Trennung von Grau- und Schwarzwasser eingeführt. Das Toilettenwasser wird über eine separate Leitung in eine Mehrkammerabsetzgrube abgeleitet. Allerdings geht die Reinigungsleistung dieser Gruben beim derzeitigen und bei dem bei der geplanten Sanierung zu erwartenden Schwarzwasseranfall gegen Null.<sup>16</sup>

Nach dieser „Vorreinigung“ wird das Schwarzwasser dann gemeinsam mit dem Grauwasser über die Kanalisation zum Klärwerk geleitet. Einmal im Jahr muss der als Night Soil Sludge bezeichnete Schlamm aus den Gruben abgepumpt werden. Etwa die Hälfte dieses Schlammes wird biologisch und mechanisch behandelt und dann auf eine Mülldeponie verbracht. Die andere Hälfte des Schlammes wird bei starken Regenereignissen in der Kläranlage dem Abwasser hinzugefügt, um den BSB- und CSB-Gehalt anzuheben und so ein Funktionieren der biologischen Reinigung zu gewährleisten.<sup>17</sup> Die im Haus durchgeführte Stoffstromtrennung wird also nicht dazu genutzt, die Abwasserströme separat zu behandeln. Bezüglich der Toilettennutzung wird in ca. 50% der privaten Haushalte das Toilettenpapier in die Toilette geworfen, bei den anderen Haushalten wird ein Abfallbehälter für das Toilettenpapier aufgestellt. Dies geschieht vor allen Dingen aus Gründen der Vorsorge vor einer Verstopfung der Abwasserleitungen.

---

<sup>15</sup> Ministry of Environment (2000), S. 34-41

<sup>16</sup> siehe Anhang S. 1

<sup>17</sup> Auskunft des Koreanischen Umweltministeriums als Antwort auf eine auf ihrer Internetseite gestellte Frage am 24.12.2003, siehe auch [www.me.go.kr](http://www.me.go.kr)



**Abbildung 6: Getrennte Sammlung des Toilettenpapiers auf öffentlichen Toiletten**



**Abbildung 7: Urinale auf der Frauentoilette der Seoul National University**

Im öffentlichen Bereich sind ebenfalls häufig separate Abfallbehälter zu finden. Diese Gewohnheit ist natürlich für den Einsatz von Urinentrenntoiletten sehr von Vorteil, da für die Bewohner keine große Umstellung hinsichtlich des Toilettenpapiers notwendig ist. Im öffentlichen Bereich wie z.B. an Universitäten, aber auch in Restaurants, Kneipen oder U-Bahnstationen sind in den Frauentoiletten häufig in den Boden eingelassene Urinale zu finden. Dies bedeutet, dass z.B. der Einsatz von wasserlosen Urinalen im öffentlichen Bereich für beide Geschlechter möglich wäre, ohne zu großen Irritationen oder Akzeptanzproblemen bei den Frauen zu führen.

In den Toiletten der U-Bahn wurde auch schon eine Lösung für das mehrmalige Spülen beim Toilettengang gefunden. Anscheinend dient das Spülen dazu, unflätige Geräusche zu übertönen und so sind in den Toiletten dort Knöpfe angebracht, die beim Betätigen ein Spülgeräusch von sich geben.

Für die Abwasserreinigung gibt es in Seoul momentan 4 Kläranlagen, die alle lediglich über eine biologische Abwasserreinigungsstufe verfügen, eine Denitrifizierung oder Phosphatfällung findet nicht statt.

Allerdings gibt es seit dem 1.1.2004 ein Gesetz über die maximal zulässigen Grenzwerte für die Einleitung von Abwasser in Gewässer, in denen auch die Mengen an Phosphat und Stickstoff begrenzt sind.<sup>18</sup> Inwieweit diese Grenzwerte tatsächlich einzuhalten sind, ist derzeit nicht abschätzbar.

**Discharged Water Quality Standards**

	BOD [mg/l]	COD [mg/l]	SS [mg/l]	T-N [mg/l]	T-P [mg/l]	MPN/ml
Wasserschutzgebiete Gebiete, die unter einem besonderem Schutz stehen	10	40	10	20	2	unter 3000
andere	20	40	20	60	8	unter 3000

**Abbildung 8: Grenzwerte für die Einleitung von Abwasser**

<sup>18</sup> Ministry of Environment (2002), S. 447



In der Regel wird das Abwasser in Seoul aus den Kläranlagen in den Han Fluss abgeleitet. In Seoul waren im Jahr 2001 98,5% der Haushalte an die zentrale Kanalisation angeschlossen.<sup>19</sup>

Der Zustand der Kanalisation ist allerdings sehr schlecht. Nach einem Internetartikel der Tageszeitung „JoongAng Ilbo“ vom 21.5.2003 lag der Anteil an Sickerwasser im Kanal bei 16%, es ist aber davon auszugehen, dass die wirklichen Zahlen noch wesentlich höher sind. Während in den 60er Jahren noch viele Menschen in Seoul ihr Trinkwasser aus Hausbrunnen bezogen, mussten die meisten dieser Brunnen aufgrund zu hoher Nitratbelastung geschlossen werden.

Ein weiteres großes Problem in der Siedlungswasserwirtschaft stellen die regelmäßigen Hochwasserfluten dar. Aufgrund der hohen Flächenversiegelung kann das Regenwasser, welches in den Sommermonaten in monsunartigen Niederschlägen fällt, kaum versickern. So gab es bei dem letzten großen Hochwasser im Jahre 2001 in Seoul 35 Tote, 104 Verletzte und einen Sachschaden von ca. 41,7 Millionen Euro.<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> Ministry of Environment (2002),

<sup>20</sup> Ministry of Environment (2002), S. 399

## 3 Bestandsaufnahme, Beschreibung des Projektgebietes Bang Bae

### 3.1 Beschreibung der Siedlung

Die untersuchte Siedlung liegt in dem Bezirk Seocho, der südlich des Han Flusses gelegen ist. Früher war das Gebiet eine Flussauenlandschaft, erst Anfang bis Mitte der 70er Jahre wurde hier Boden aufgeschüttet, um Baugrund zu schaffen.



Abbildung 11: Lageplan Bangbae

Die untersuchte Siedlung Bangbae besteht aus 3 Apartmenthochhaushäusern mit jeweils 11 Stockwerken. Sie wurde 1977 gebaut. Die Bewohner kommen vor allem aus dem gehobenen Mittelstand, es wohnen dort viele Ärzte, Professoren und Lehrer. Insgesamt handelt es sich um 216 Wohneinheiten, davon 72 Wohnungen in Gebäude A, 84 in Gebäude B und 60 in Gebäude C.

In den Gebäuden gibt es getrennte Leitungen für Grau- und Schwarzwasser und auf dem Grundstück befindet sich jeweils eine Mehrkammergrube pro Gebäude.

Für die 3 Hochhäuser gibt es ein dezentrales Heizungssystem für die Warmwasserversorgung und die Heizung. Auf dem Grundstück sind derzeit 222 Parkplätze ausgewiesen.

Für jedes Haus ist ein Hausmeister in Vollzeit eingestellt, sie sind für kleine Reparaturen, die Kontrolle des Heizungssystems, verwalterische und organisatorische Tätigkeiten verantwortlich.

Im Sommer 2004 sollen die Gebäude grundsaniert werden. Im Moment befindet sich in jeder Wohnung ein Vollbad mit Toilette, nach der Sanierung soll es in jeder Wohnung eine zusätzliche Toilette geben. Im Zuge der Sanierung soll eine Tiefgarage mit 220 Stellplätzen gebaut und die frei werdenden Parkflächen sollen begrünt werden.

Seit September 2000 wird in der Siedlung der Müll getrennt. Es sind Behälter für Papier, Glas, Dosen, Metall, Plastik, Speiseöl und Essensreste aufgestellt. Nach Angaben der Hausmeister funktioniert die Mülltrennung sehr gut und die meisten Bewohner beteiligen sich daran. Die Fotos auf den folgenden Seiten sollen einen Eindruck von der Siedlung vermitteln.



**Abbildung 12: Die Hochhäuser nach der geplanten Sanierung; Plakat des Ssangyong Konzerns**



Abbildung 13: In der Mitte des Bildes ist in Längsrichtung das A Gebäude zu sehen



Abbildung 14: Vorderseite des B Gebäudes



Abbildung 15: Markt vor dem A Gebäude



Abbildung 16: Mülltrennung vor dem B Gebäude



Abbildung 17: Behälter für Küchenabfälle

## 4 Entwicklungsszenarien für das Projektgebiet Bangbae

### 4.1 Einleitung

In einem Artikel der Zeitschrift „Korrespondenz Abwasser“ von Oktober 2002 skizzieren Martin Oldenburg und Ralf Otterpohl, Vorsitzender der Spezialistengruppe „Ecological Sanitation“ der International Water Association, 2 mögliche Szenarien für die Umstellung auf ökologische Sanitärsysteme: die schrittweise Einführung von urinseparierenden Toiletten einerseits und die Abkoppelung der Toiletten mit Ersatz durch Schwarzwassersysteme andererseits. In Anlehnung daran sind hier die einzelnen Varianten entwickelt worden. In den Varianten A werden Urinseparationssysteme untersucht, in den Varianten B Schwarzwassersysteme. Die Variante C stellt die gemeinsame Behandlung aller Teilströme durch Mikrofiltration dar.

Dabei sollen schwerpunktmäßig Modelle untersucht werden, die auf dem Prinzip der Stoffstromtrennung basieren. Zwar ermöglichen Technologien wie die Mikrofiltration bei gleichzeitiger Behandlung aller Teilströme eine hohe Wasserqualität nach Aufbereitung, doch ist kein Recycling der Nährsalze möglich. Aus diesem Grund wird hier aus Vergleichsgründen nur 1 Variante mit Einsatz eines Mikrofiltrationssystems eingesetzt. Die einzelnen Modelle werden in Bezug auf die untersuchte Siedlung Bangbae in Seoul entwickelt.

Hauptziele der Umstellung auf ökologische Sanitärsysteme sind:

- Reduzierung des Trinkwasserverbrauches
- Schutz des Grundwassers und der Oberflächengewässer als wichtige Trinkwasserquellen
- Wiedergewinnung und Verwertung von Nährsalzen
- Reduktion der Mischwasserüberläufe
- Kein erhöhter oder reduzierter Energiebedarf durch die neuen Technologien

### 4.2 Vorannahmen

Es wird davon ausgegangen, dass der Kanalanschluss zunächst erhalten bleibt. Selbst wenn es möglich sein sollte, den Grauwasseranfall dezentral auf dem Grundstück zu versickern, ist es beim derzeitigen Entwicklungsstand auch für die nächsten Jahre unrealistisch, die Regenmengen in den Sommermonaten dezentral zu versickern. Dem großen Flächenbedarf für eine derartige Maßnahme steht zusätzlich zur verdichteten Bauweise mit geringem Flächenangebot und hohem Versiegelungsgrad auch der Verkehrsflächenbedarf entgegen. An dieser Stelle wird erneut deutlich, dass die Entwässerungsproblematik nur in Form einer integrierten Stadtplanung gelöst werden kann.

Zu untersuchen wäre auch im Vorfeld, ob bei Entsiegelungsmaßnahmen durch starke Regenereignisse Bodenerosion auftritt, bzw. inwieweit durchlässige Bodenbeläge auch unter den besonderen klimatischen Bedingungen standsicher sind.

Wie bereits unter 3.1 dargestellt, ist der Boden auf dem Grundstück aufgeschüttet worden. Für Versickerungsmaßnahmen wäre sicher zu stellen, dass sich keine Altlasten im Boden befinden, um eine Gefährdung des Grundwassers auszuschließen. Dies erfordert wiederum ein detailliertes Bodengutachten, besonders hinsichtlich des künstlich geschaffenen Baugrundes.

Aus all diesen Gründen wird auch von Versickerungsmaßnahmen für den Grauwasseranfall abgesehen. Hinzu kommt, dass das Rohwasser für die Trinkwasserversorgung von Seoul zu

100% aus Oberflächengewässern, dem Paldang Stausee und dem Han Fluss, entnommen wird.<sup>21</sup> Nimmt man das Grauwasser nun aus diesem Wasserkreislauf heraus und versickert es, so ist ein Trockenfallen des Han Flusses zu befürchten.

Durch den *Erhalt der Kanalisation*, auf den in Seoul 41,7 % der Abwasserentsorgungskosten entfallen<sup>22</sup>, ist damit zu rechnen, dass das Kriterium der Wirtschaftlichkeit nur schwer einzuhalten sein wird.

Trotzdem erachte ich die Einführung von ökologischen Sanitärsystemen gerade in Südkorea als sinnvoll. Südkorea wird von den UN als Land mit Wasserknappheit eingestuft.<sup>23</sup>

Maßnahmen des Gewässer- und Grundwasserschutzes und der Wassereinsparung sollten vor allem hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung betrachtet werden; ohne funktionierende Wasserversorgung gibt es mittelfristig auch kein wirtschaftliches Wachstum.

Es wird davon ausgegangen, dass bei großflächiger Verbreitung der *Urinseparation* ein privater Dienstleister den Transport des Urins und eventuell die Vermarktung des Produktes übernimmt. Der Urinspeicher auf dem Grundstück ist so bemessen, dass 1 Tankwagen mit einer Kapazität von 10 m<sup>3</sup> bei der Abholung ausgelastet wird, dies ist nach 10-11 Tagen der Fall. Um ein Überlaufen zu verhindern und Pufferzeiten beim Abtransport zu berücksichtigen, wurde die Größe des Tanks auf 13 m<sup>3</sup> festgelegt, somit ist eine Pufferzeit von 2 Tagen gegeben. Für die Bemessung wurde davon ausgegangen, dass 100 % des Urins tatsächlich auch getrennt wird und 1,5l Urin/E\*d anfallen.<sup>24</sup>

Die vorhandenen *Septic Tanks* (Mehrkammergruben) sind aus Beton hergestellt und nicht auf die chemisch stark angreifende Belastung durch die Fäkalien ausgelegt. Da zu erwarten ist, dass durch die Mehrkammergruben große Mengen an Sickerwasser ins Grundwasser gelangen, werden diese nicht mehr für Schwarz- bzw. Braunwasser genutzt. Auch hinsichtlich des Reinigungseffektes, ist eine zukünftige Nutzung der Mehrkammergruben aufgrund des Risikos der Grundwasserverschmutzung nicht gerechtfertigt.<sup>25</sup>

Für die *Grauwasserbehandlung* wurde ein Tauchtropfkörper gewählt. Alternativ dazu wäre auch eine Behandlung durch eine Pflanzenkläranlage oder durch eine Membranbiologie vorstellbar. Die Pflanzenkläranlage scheidet jedoch für die Siedlung in Seoul aufgrund des dafür nötigen Flächenbedarfes aus.

Der Tauchtropfkörper wurde gewählt, da es sich um eine bewährte Technik handelt, die sich bei einem Projekt in China als betriebsstabil erwiesen hat, obwohl Rahmenbedingungen wie bestimmte erforderliche Raumtemperaturen nicht eingehalten worden waren.<sup>26</sup>

Normalerweise wird eine Tropfkörperanlage für Grauwasserrecycling auf den Betriebswasserbedarf ausgelegt, in der Regel bedeutet dies, dass lediglich Dusch- und Badewasser, Wasser aus Handwaschbecken und Waschwasser zum Recycling genutzt werden. Das *Küchenabwasser* wird in der Regel nicht recycelt. Das überschüssige Grauwasser wird zusammen mit dem Überschussschlamm der Anlage über die Kanalisation abgeführt. Da die Varianten jedoch darauf ausgelegt sind, ohne eine zentrale Kläranlage zu funktionieren, wird in den Modellen das gesamte Grauwasser inklusive Küchenabwasser

<sup>21</sup> Schütze (2003), S.12

<sup>22</sup> Stand 2001, Zahlen aus Berechnungen von Thorsten Schütze (unveröffentlicht), basierend auf Angaben des Ministry of Environment

<sup>23</sup> [www.kowaco.or.kr](http://www.kowaco.or.kr)

<sup>24</sup> Johansson (2000), S. 17

<sup>25</sup> siehe Anhang, S. 1

<sup>26</sup> Wilhelm (2004)

recycelt. Bei Küchenabwasser gibt es starke Schwankungen hinsichtlich des BSB<sub>5</sub>-und CSB-Anfalles.

Unbehandeltes Grauwasser unterschiedlicher Herkunft chemische und biologische Parameter				
		Herkunft		
		Badewannen, Duschen, Handwaschbecken (nach Absetzbecken)	Badewannen, Duschen, Handwaschbecken, Waschmaschine (mit Babywindeln)	Badewannen, Duschen, Handwaschbecken, Waschmaschine, Küche
CSB	[mg/l]	150 – 400 Ø 225	250 – 430	400 – 700 Ø 535
BSB <sub>5</sub>	[mg/l]	85 – 200 Ø 111	125 – 250	250 – 550 Ø 360
AFS	[mg/l]	30 – 70 Ø 40	k.A.	k.A.
P <sub>ges</sub> <sup>A)</sup>	[mg/l]	0,5 – 4 Ø 1,5	k.A.	3 – 8 Ø 5,4
N <sub>ges</sub> <sup>A)</sup>	[mg/l]	4 – 16 Ø 10	k.A.	10 – 17 Ø 13
pH	[-]	7,5 – 8,2	k.A.	6,9 – 8

A) Diese Werte können in Abhängigkeit von Konzentrationen im Trinkwasser variieren. Vorbelastungen im Trinkwasser können z.B. durch höhere Nitrat-Gehalte im Grundwasser oder durch Phosphat-Zugabe zur Vermeidung von Leitungskorrosion verursacht sein. Relevante P Einträge können auch durch Geschirrspülmittel verursacht werden.

Abbildung 18: Zusammensetzung von Grauwasser

Dies könnte möglicherweise zu Schwierigkeiten im Betrieb des Tauchtropfkörpers und zu einem erhöhten Energiebedarf führen. Eventuell könnte es deshalb sinnvoll sein, Fettabscheider vorzuschalten. Alternativ ist vorstellbar, dass das Küchenabwasser bei den Biogasanlagen mit vorgeschalteter Phasentrennung mit in den Schwarz- bzw. Braunwasserkreislauf geleitet wird, aber auch hierzu liegen keine praktischen Erfahrungen vor.

Aufgrund der Schwankungen ist es außerdem schwierig, Angaben über die Menge des anfallenden *Überschussschlammes* zu machen. Der Überschussschlamm könnte je nach Variante mit in der Biogasanlage bzw. in der Rotte behandelt werden. Da jedoch keine Mengenangaben gemacht werden konnten, wird er in der Dimensionierung nicht berücksichtigt.

Der in den Varianten beschriebene zusätzliche technische Aufwand bezieht sich auf die im Unterschied zu einer konventionellen Sanierung erforderlichen Einrichtungen. Dabei wurde angenommen, dass bei der Sanierung alle Abwasserleitungen erneuert werden.

## 4.3 Technische Anlagen und Systeme

### 4.3.1 Urinseparation

Bei der Urinseparation wird durch den Einsatz spezieller Toiletten der Urin von den Fäkalien getrennt. So ist eine separate Behandlung und Wiederverwertung als Dünger möglich. Der Urin wird von der Toilette zu Speichertanks auf dem Grundstück geleitet. Mit Tankwagen werden diese Speicher geleert und der Urin zu den landwirtschaftlichen Flächen verbracht, dort mindestens ein halbes Jahr zwischengespeichert und dann als Dünger verwertet.

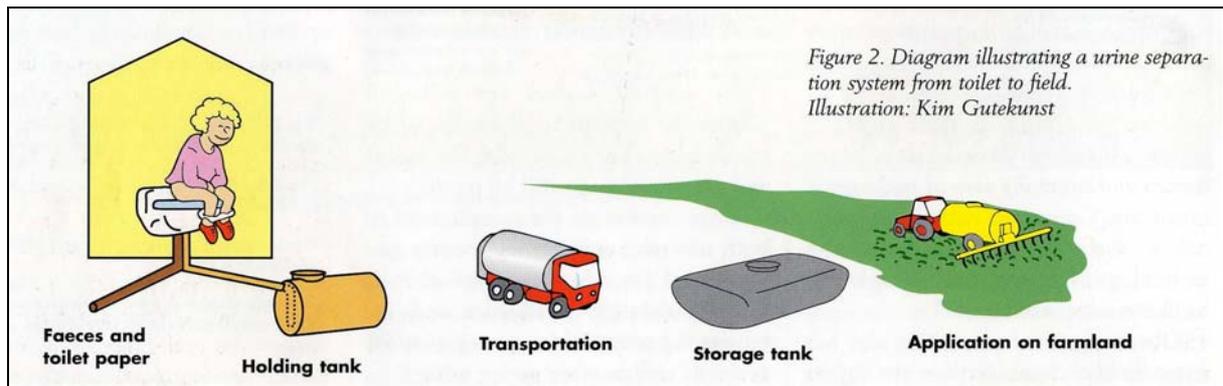


Abbildung 19: Schema der Urinseparation

Das System der Urinseparation ist schon mehr als tausend Jahre alt. Es wurde in der Vergangenheit, wie z.B. im Jemen genutzt, die Fäkalien möglichst trocken zu halten und so als Dünger einsetzen zu können; der Urin selbst wurde über eine Außenableitung an der Hauswand einfach verdunstet.

Die Grundidee der Urinseparation ist der Aufbau eines Nährstoffkreislaufes. Im Urin sind 50% der Phosphatfracht und 75% der Stickstofffracht des häuslichen Abwassers enthalten. Während im konventionellen System diese Nährstoffe in den Klärwerken mit großem Energiebedarf aus dem Abwasser herausgelöst werden müssen, ist es bei getrennter Sammlung möglich, den Urin als Flüssigdünger wieder zu verwenden.

Derzeit gibt es in Schweden die meisten Erfahrungen mit Urinseparation.

In einem 4-jährigen Projekt von 1996-2000 in der Nähe von Stockholm wurden unterschiedliche Fragestellungen hinsichtlich der Urinseparation untersucht.<sup>27</sup> So z.B. die Beständigkeit von pathogenen Keimen in Urin, fäkale Verunreinigungen in getrennt gesammeltem Urin, den tatsächlichen Nährstoffgewinn für die Landwirtschaft, die Einsatzmöglichkeiten von Urin als Dünger, sowie den Energieverbrauch von Separations- und konventionellen Systemen. Die Ergebnisse sind insgesamt als sehr positiv zu bewerten.

Nach halbjähriger Lagerung kann der Urin als hygienisch einwandfrei angesehen werden und als Dünger auf das Feld aufgebracht werden. Der Verlust von Stickstoff liegt beim Einsatz von sachgerecht entworfenen Systemen für die Sammlung, den Transport und die Speicherung bei weniger als 1%. Der Düngereffekt liegt für den Stickstoff bei ca. 90 % von künstlich hergestelltem Dünger und für Phosphor bei 100%. Die Schwermetallbelastung war wesentlich geringer als bei chemisch hergestelltem Dünger.<sup>28</sup>

Zur Nutzung des Urins als Dünger, aber auch aufgrund des erforderlichen Transportes durch Tankwagen, ist es wichtig, eine möglichst geringe Verdünnung des Urins durch Spülwasser zu erreichen. Dies ist durch den Einsatz geeigneter Toiletten zu gewährleisten.

<sup>27</sup> Johansson (2000), S. 4

<sup>28</sup> Jönsson (2001),



**Abbildung 20: Urintankwagen in Schweden**

In dem Abschlussbericht der Stockholmer Projekte wird betont, dass die Beteiligung der Bewohner für den Erfolg der Urinseparation wesentlich ist. So kann der Urin nur getrennt werden, wenn die Bewohner die Toilette richtig benutzen. Die Schwankungen für den gesammelten Urin lagen zwischen 60-90%, wobei die höchsten Raten in einer ökologischen Siedlung erreicht wurden, in der sich die Bewohner selbst für eine Urinseparation entschieden hatten.

Probleme bezüglich von Verstopfungen der Toiletten konnten in der Regel schnell beseitigt werden. Bei Verstopfungen, die auf Ausfällungen des Urins zurückzuführen sind, konnte durch den Einsatz von Essigsäure schnell Abhilfe geschaffen werden. Nachdem die Bewohner eingehender über die Toiletten informiert worden waren, gab es keine weiteren Probleme im Betrieb.

Ein weiteres Problem bei der Urinseparation liegt in dem Verkehrsaufkommen und dem Energieverbrauch durch den Transport. Jedoch wurde bei den Projekten in Schweden, in denen sowohl die Energieeinsparung in der Düngemittelproduktion, als auch die im Klärwerk durch geringere Nährstofffrachten berücksichtigt wurde, herausgefunden, dass man den Dünger 220 km weit mit dem LKW transportieren könne, ohne mehr Energie als im konventionellen System zu verbrauchen.<sup>29</sup>

Für den Fall, dass der Urin nicht als Dünger verwendet werden kann, wird von Larsen / Gujer (1996) die Möglichkeit beschrieben, den Urin zu Zeiten geringen Abflusses als konzentrierten Stoß der Kläranlage zuzuleiten, um diesen Teilstrom dann gesondert zu behandeln. Aufgrund des Zustandes der Kanalisation (Sickerwasser) sollte diese Zwischenlösung auf keinen Fall gewählt werden, bei Verwertungsschwierigkeiten ist nach anderen Alternativen zu suchen, z.B. Transport mit Tankwagen zur Kläranlage.

Es ist jedoch fraglich, ob eine Urinseparation unter solchen Umständen überhaupt sinnvoll ist. Es ist damit zu rechnen, dass z.B. die Energiebilanz nur dann positiv ausfällt, wenn der Urin tatsächlich auch als Dünger genutzt wird. Bei der Planung von konkreten Projekten ist daher sicher zu stellen, dass eine Verwertung des Urins erfolgt.

Wichtig ist auch, sich der Tatsache bewusst zu sein, dass von den Urintanks im Schadensfall durch die konzentrierte Stickstofffracht ein großes Risiko der Grundwasserverschmutzung ausgeht.

<sup>29</sup> Johansson (2000), S. 30

### 4.3.2 Schwarzwasserkreislauf

Das System und Prinzip des Schwarzwasserkreislaufes ist von dem Mikrobiologen Ulrich Braun entwickelt und patentiert worden. Derzeit ist eine Versuchsanlage in der Technischen Universität Hamburg Harburg in Betrieb, in der Praxis ist diese Art der Anlage bisher nicht erprobt.

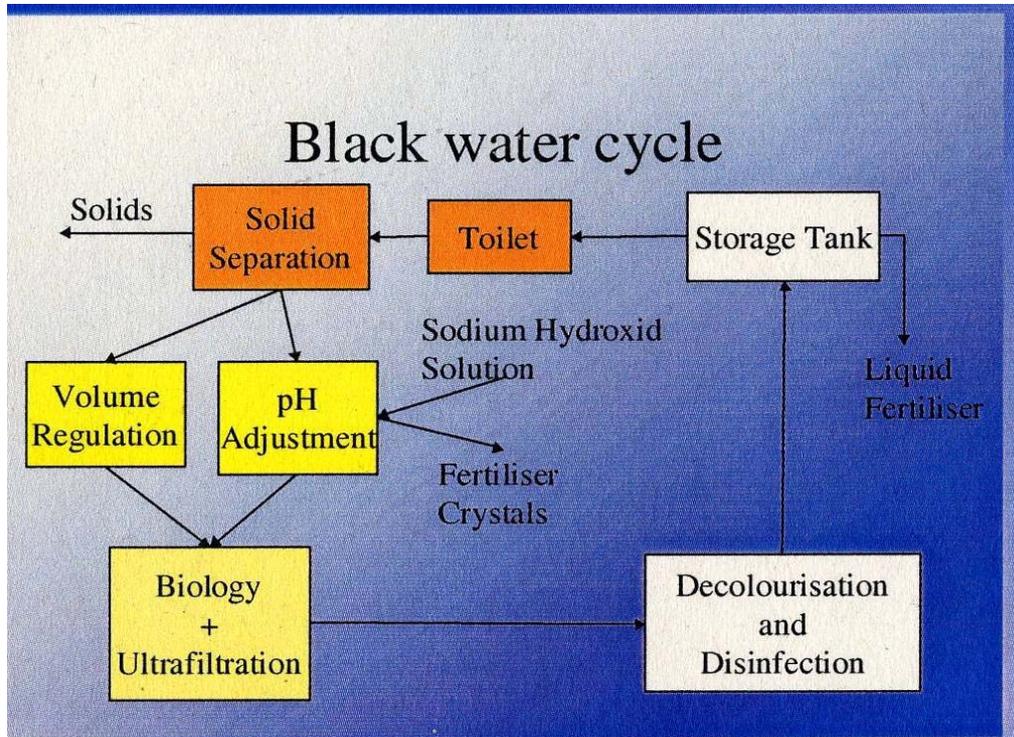


Abbildung 21: Schema des Schwarzwasserkreislaufes

Die Idee des Schwarzwasserkreislaufes besteht darin, das Toilettenabwasser von den festen Teilen abzutrennen, es zu behandeln und dann erneut als Toilettenspülwasser zu benutzen. Durch diese Kreislaufführung findet eine Aufkonzentrierung von Nährsalzen in der flüssigen Phase statt, die dann ausgefällt und als Mineraldünger verwandt werden können.

Der Schwarzwasserkreislauf ist ein autarker Wasserkreislauf, es muss kein Wasser hinzugefügt werden, da die Flüssigkeitsverluste sehr gering sind und mit dem Urin immer wieder Flüssigkeit dem Kreislauf zugeführt wird.

Das System kann mit normalen Standardtoiletten betrieben werden. In der Versuchsanlage wird das abgeführte Abwasser durch ein Rüttelsieb in eine feste und eine flüssige Phase getrennt. Je früher die Phasentrennung stattfindet, umso besser, da in den Leitungen eine starke Vermischung stattfindet und nur noch geringere Anteile der Fäkalien als feste Phase abgetrennt werden können. Für die Anwendung in der Hochhaussiedlung in Seoul erscheint es angebracht, ein Trommelsieb zu benutzen, da mit diesem Sieb eine höhere Abscheidungsrate und geringere Flüssigkeitsverluste erreicht werden können. Mit dem Trommelsieb wird der Anteil der abtrennbaren Fäkalien auf 60% geschätzt. Alternativ dazu wäre vorstellbar, in jedem Haus eine eigene Phasentrennung einzubauen, die lediglich aus Rottesäcken bestehen, der Flüssigkeitsverlust wäre jedoch deutlich höher.

Nach der Phasentrennung wird die flüssige Phase in einen Ausgleichsbehälter geleitet, um für die anschließende Membranbelebung eine kontinuierliche Beschickung zu gewährleisten.

Von dem Ausgleichsbehälter wird der Großteil des Volumens in die Membranbelebung geleitet, ein kleiner Teil wird in einen anderen Behälter befördert, um Mineraldünger (MAP = Magnesiumammoniumphosphat) auszufällen, durch die Ausfällung steigt der pH-Wert dieses Volumenstroms, der anschließend der Belebung zugeführt wird und dazu dient, den pH-Wert

konstant zu halten. In der Membranbelebung findet zunächst eine biologische Klärung statt. Anschließend wird das biologisch gereinigte Wasser durch eine Membran filtriert. Hierbei werden Feststoffe und Bakterien zurückgehalten, lediglich gelöste Salze, Viren und ein Rest des CSB können die Membran passieren. Da Viren jedoch meistens an Bakterien „hängen“, ist davon auszugehen, dass auch diese die Membran nicht passieren können.

Ein großer Vorteil der Filtration liegt darin, dass der Belebtschlamm in der biologischen Reinigungsstufe zurückgehalten wird. Hierdurch ist es möglich, die Anlage auf einen hohen TS-Gehalt und daraus folgenden geringeren Abmessungen auszulegen.

Da die Membranen sehr teuer sind, werden vor und nach der Filtration Speicherbecken angelegt, die einen kontinuierlichen, reduzierten Volumenstrom ermöglichen und so die notwendige Membranfläche verkleinern. Im Anschluss an die Filtration wird das Wasser hygienisiert und entfärbt. Dies geschieht durch UV Desinfektion.

Anschließend kann das Wasser erneut als Toilettenspülwasser genutzt werden.

Die feste Phase wird in einem Rottebehälter weiter behandelt. Im Rottebehälter findet eine Kompostierung statt, die durch die Zugabe von Würmern beschleunigt wird.

Der in der Membranbelebung entstehende Überschussschlamm wird ebenfalls in den Rottebehälter gegeben. Dieses Volumen ist allerdings für die Dimensionierung des Rottebehälters vernachlässigbar klein.

Das Endprodukt ist eine geruchslose Blumenerde. Der Vermikompostierung sollten keine organischen Küchenabfälle zugegeben werden. Eine Zugabe von Küchenabfällen ist überhaupt nur möglich, wenn dieser vorher geschreddert wird, allerdings wird vermutlich der TS-Gehalt im Rottebehälter dadurch so groß, dass der Prozess der Kompostierung gestört wird. Im Gegensatz zur Verwendung einer Biogasanlage kann durch die Rotte keine Energie erzeugt werden.

Der Einsatz einer Biogasanlage in Kombination mit einem Schwarzwasserkreislauf zur Behandlung der festen Phase lohnt sich aber erst ab einer Einwohnerzahl von 5-6000 EW. Die Anlage soll in Container eingebaut werden, auf diese Weise können sie komplett aufgestellt werden.<sup>30</sup>

### 4.3.3 Braunwasserkreislauf

Der Braunwasserkreislauf funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie der Schwarzwasserkreislauf.

Es werden jedoch keine Standardtoiletten, sondern Trenntoiletten eingesetzt.

Im Vergleich zum Schwarzwasserkreislauf wird beim Braunwasserkreislauf durch die Urinseparation die Stickstofffracht der flüssigen Phase wesentlich reduziert. Hierdurch muss in der Belebung weniger Sauerstoff zugeführt werden, was den Energiebedarf des Braunwasserkreislaufes im Vergleich zum Schwarzwasserkreislauf signifikant senkt. Auch für die Entfärbung und Hygienisierung ist ein geringerer Energieaufwand nötig.

Es findet keine Ausfällung von Feststoffen statt, da ein Großteil des Stickstoffs schon mit dem Urin abgetrennt wurde.

Durch den Einsatz der Trenntoilette verringert sich das Volumen des anfallenden Wassers in starkem Maße.

Ein großer Nachteil des Braunwasserkreislaufes gegenüber dem Schwarzwasserkreislauf liegt darin, dass dem Kreislauf immer Wasser (Betriebs- oder Trinkwasser) zugeführt werden muss, um eine ausreichende Spülwassermenge zu haben.<sup>31</sup>

---

<sup>30</sup> mündliche Auskünfte von Braun, Lindner; 29.3.2004

<sup>31</sup> mündliche Auskünfte von Braun, Lindner; 29.3.2004

#### 4.3.4 Rottebehälter

Der Rottebehälter, der auch als Vorkompostierung bezeichnet wird, ist eine relativ neue Technologie, die vor allen Dingen in dünn besiedelten Gebieten als Alternative zu Mehrkammerabsetzgruben zum Einsatz gekommen ist.

Der große Vorteil der Rottebehälter gegenüber den Mehrkammergruben liegt darin, dass Kompost zur Bodenverbesserung gewonnen wird. Das Schwarzwasser wird in Filtersäcke geleitet. Die feste Phase bleibt zurück, während die flüssige Phase durchfiltriert wird. Bei dem Einsatz von normalen Toiletten ist der Gesamtflüssigkeitsgehalt des Schwarzwassers sehr hoch und nicht unbedingt geeignet für eine Kompostierung. Aus diesem Grund ergeben sich sehr lange Kompostierungszeiten: nach 6-12 Monaten wird das vorkompostierte Material zum normalen Gartenkompost hinzu gegeben und weiter kompostiert.<sup>32</sup> In dicht besiedelten Gebieten würde dies zu Platzproblemen führen, auch wird eine Nutzung der Blumenerde unmittelbar vor Ort kaum gegeben sein.

In den hier entwickelten Varianten wird der Rottebehälter jedoch in Kombination mit einem Schwarzwasser- bzw. Braunwasserkreislauf eingesetzt. Durch die Phasentrennung und den damit verbundenen geringeren Flüssigkeitsgehalt und durch die Zugabe von Würmern verringert sich die Kompostierungszeit auf 3 Monate. Als Endprodukt entsteht eine geruchslose Blumenerde.<sup>33</sup>

Es wird davon ausgegangen, dass die Verwertung und Vermarktung der Blumenerde wie die des Urins funktioniert.

#### 4.3.5 Biogasanlagen mit Vakuumsammlung

Biogasanlagen gibt es bereits seit Ende der 40er Jahre des 20. Jahrhunderts, allerdings werden sie vor allem im landwirtschaftlichen Bereich zur Vergärung von Schweine- oder Rindergülle eingesetzt, oder im großen industriellen Maßstab zur Behandlung von Bioabfällen und Speiseresten. Biogasanlagen zur Vergärung von Schwarzwasser existieren in der BRD bisher nur in 2 Projekten: in Lübeck-Flintenbreite und in Freiburg-Vauban, allerdings sind diese Anlagen noch nicht in Betrieb.<sup>34</sup>

Biogasanlagen sind in unterschiedlicher Weise nutzbar. Zum einen können sie der Energieproduktion dienen, zum anderen dazu eingesetzt werden, organisch abbaubare Abfälle als Dünger nutzbar zu machen.

Wenn der Gärrückstand aus der Biogasanlage als Dünger weiter verwertet werden soll, ist zunächst vor der Vergärung eine Hygienisierung erforderlich. Diese erfolgt bei einer Temperatur von 50° über einen Zeitraum von ca. 10h. Durch die Hygienisierung wird auch die Biogasproduktion im Fermenter verbessert. Im Fermenter wird die Masse dann vergoren; unter anaeroben Bedingungen zerlegen die Bakterien die organischen Kohlenstoffverbindungen, dabei entsteht das Methangas. Um eine Schwarzwasservergärung zu ermöglichen, wird das Toilettenabwasser per Vakuum gesammelt. Dadurch ist die Verdünnung geringer und der Trockensubstanzgehalt höher.

Zur Optimierung der Biogasproduktion, die abhängig ist vom Trockensubstanzgehalt, ist es sinnvoll die organischen Küchenabfälle der Siedlung der Vergärung zuzugeben.

Das gewonnene Biogas kann z.B. zum Kochen genutzt werden.

#### 4.3.6 Tauchtropfkörper

Tropfkörper sind schon seit Ende des 19. Jahrhunderts aus England bekannt und gehören zu den ältesten biologischen Abwasserreinigungsverfahren.

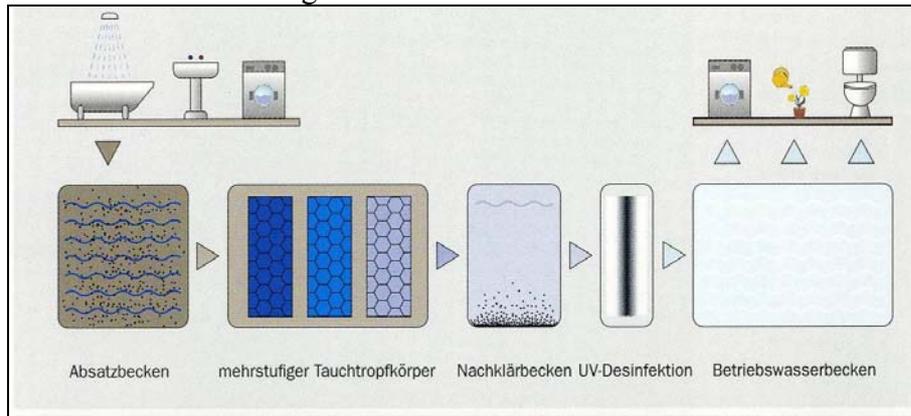
---

<sup>32</sup> Gajurel (u.a.) (2004), S. 512

<sup>33</sup> Shalabi (u.a.)(2003)

<sup>34</sup> siehe auch: [www.flintenbreite.de](http://www.flintenbreite.de), [www.vauban.de](http://www.vauban.de)

Das Grauwasser wird zunächst in einem Absatzbecken gesammelt und dann in den mehrstufigen Tauchtropfkörper geleitet. Die Oberfläche der Rotationskörper besteht aus Polyethylen, auf der spezifische Abwasserbakterien angesiedelt sind. Diese wachsen, in Abhängigkeit von der Nährstoffzufuhr, zu einem Biomassenbelag heran. Durch den Abwasserstrom werden kontinuierlich Teile des Belages von der Oberfläche abgelöst, ansonsten bestände die Gefahr einer Verstopfung des Tropfkörpers. Diese abgelösten Teile müssen dann in einem Nachklärbecken durch Sedimentation abgetrennt werden. Durch die Rotation wird für eine ausreichende Sauerstoffzufuhr gesorgt. Anschließend an die Nachklärung wird das behandelte Wasser durch UV-Strahlung desinfiziert und von dort in ein Betriebswasserbecken geleitet.

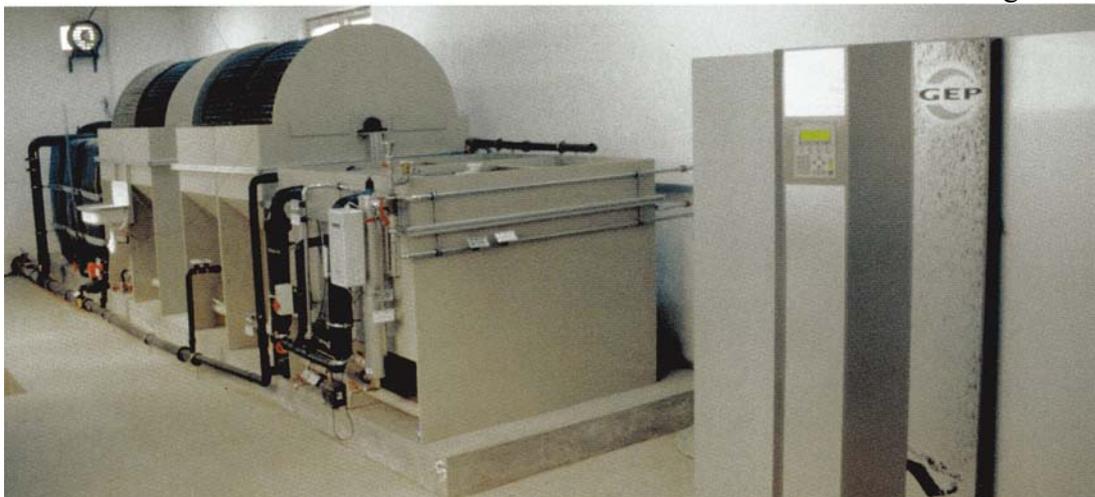


**Abbildung 22: Funktionsschema eines Tauchtropfkörpers**

Wichtig für eine gute Reinigungsleistung der Tauchtropfkörper ist eine kontinuierliche Beschickung, sowohl hinsichtlich der Menge als auch der Schmutzfrachten.

Da das Wasservolumen im Vergleich zum Luftvolumen relativ gering ist, kann es schnell abkühlen. Dies würde die Abbauleistung stark verringern. Deshalb ist die Einhaltung einer Betriebstemperatur von 10-12 Grad notwendig.<sup>35</sup>

Der Biomassenbelag kann sich auf der Oberfläche der Rotationskörper stark differenzieren, so ist unter Umständen auch die Elimination von schwer abbaubaren Stoffen möglich.



**Abbildung 23. Tauchtropfkörper**

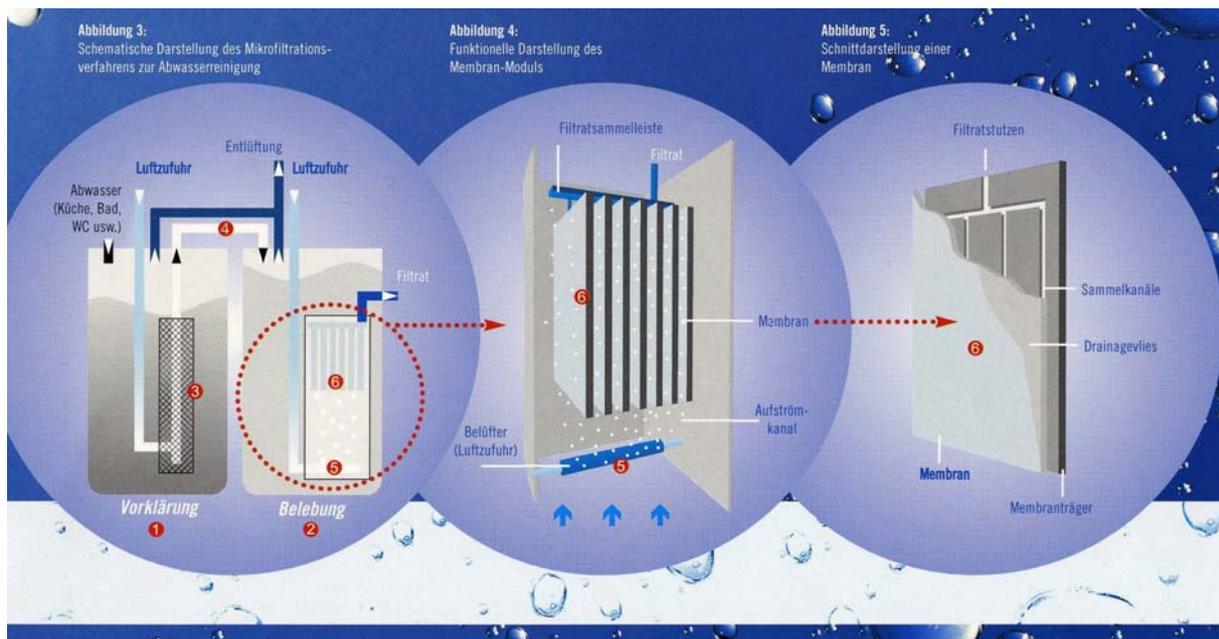
<sup>35</sup> Lange, Otterpohl (2000), S. 181 ff; Mudrack, Kunst (1994), S. 64 ff

### 4.3.7 Membranbelebungsanlagen

Bei den Membranbelebungsanlagen wird eine biologische Klärung mit einer Mikrofiltration kombiniert.

Zunächst wird das Abwasser vorgeklärt, in der Belebungsstufe werden die organischen Bestandteile des Abwassers mit Hilfe von Mikroorganismen unter Sauerstoffzufuhr abgebaut. Danach wird das Abwasser durch Filtration mittels einer Membran physikalisch gereinigt. Die Filtration dient dazu, die Biomasse abzutrennen. Je nach Porengröße der Membranen unterscheidet man Mikro-, Ultra- und Nanofiltration und Umkehrosmose.

Um zu verhindern, dass die Membran von den zurückgehaltenen Stoffen verstopft wird, muss eine bestimmte Überströmungsgeschwindigkeit (Crossflow) vorhanden sein. Hierdurch entsteht Reibung, die die Membranen reinigt und eine kontinuierliche Filtration ermöglicht.



**Abbildung 24: Schema der Membranbelebung**

Für die Anlagen gibt es unterschiedliche Verfahrensvarianten: mit externen Membranen und mit in der Belebung eingetauchten Membranen, letztere weisen wesentlich bessere Werte hinsichtlich der Reinigung auf. Dadurch dass die Überströmgeschwindigkeit, bei den getauchten Membranen durch die Belüftung sicher gestellt wird, ist der Energieaufwand wesentlich geringer, er liegt bei  $0,2 - 0,8 \text{ kWh/m}^3$ .<sup>36</sup>

Ein großer Vorteil der Membranbioreaktoren liegt darin, dass die Biomasse vollständig zurückgehalten werden kann. Hierdurch können wesentlich höhere Trockensubstanz-Konzentrationen erreicht werden, wodurch die Leistungsfähigkeit gegenüber einfachen Belebungsbecken wesentlich größer ist. Außerdem muss der Belebungsstufe keine Sedimentation nachgeschaltet werden. Die Überschussschlammproduktion ist sehr gering.<sup>37</sup>

<sup>36</sup> Kraume (2004) Vortrag in Hattingen

<sup>37</sup> siehe auch [www.ivt.rwth-aachen.de](http://www.ivt.rwth-aachen.de), [www.igb.fhg.de](http://www.igb.fhg.de)

## **4.4 Untersuchungs- und Bewertungskriterien**

Für die Untersuchung und Bewertung der einzelnen Varianten werden quantitative und qualitative Kriterien herangezogen. Die qualitativen Kriterien entsprechen den bereits in der Einleitung formulierten Zielen. So soll untersucht werden, ob die Varianten jeweils wirklich in der Lage sind, einen nachhaltigen Grundwasser- und Oberflächengewässerschutz zu gewährleisten. Zudem sollten die Anlagen möglichst nutzerfreundlich sein, wenig störanfällig, stabil im Betrieb und leicht zu warten sein.

Im Folgenden werden bezüglich der quantitativ zu erfassenden Kriterien noch weitere Ausführungen zu den Berechnungen etc. gemacht.

### **4.4.1 Trinkwasserersparnis und Abflussmenge**

Die Einsparung von qualitativ hochwertigem Trinkwasser ist ein wichtiges Kriterium für ökologische Sanitärsysteme. Dabei sollte im Vordergrund stehen, insgesamt den Wasserverbrauch zu senken und nicht nur Trinkwasser durch Recycling zu sparen. Die reduzierten Trinkwasser- und Abwassermengen wurden im Vergleich zu einer konventionellen Sanierung ermittelt. Es wurde davon ausgegangen, dass bei der konventionellen Sanierung Toiletten mit 4 bzw. 6l Spülung eingebaut und Duschen und Wasserhähne mit Durchflussbegrenzern ausgestattet werden.

### **4.4.2 Flächenbedarf**

Hinsichtlich des Flächenbedarfs wurde der unterirdische und der Bedarf an Fläche in einem Betriebsgebäude ermittelt. Wichtig ist vor allem letzterer Flächenbedarf, weil diesem durch den Bau eines ausreichend großen Betriebsgebäudes Rechnung getragen werden muss. Dies schlägt sich natürlich in den Investitionskosten nieder. In den Varianten wurden die Kosten für das Betriebsgebäude allerdings nicht berücksichtigt.<sup>38</sup>

Von Bedeutung ist auch, die Anlagen so unterzubringen, dass die Bewohner hierdurch nicht in ihrer Wohnqualität beeinträchtigt werden. Aus diesem Grunde wurde auch das Betriebsgebäude unterirdisch in der Tiefe der entstehenden Tiefgarage geplant.

### **4.4.3 Nährstoffgewinnung**

Die Gewinnung von Nährstoffen sollte zentraler Bestandteil von ökologischen Sanitärsystemen sein.

Für die Ermittlung der Nährstoffgewinne aus der Urinseparation wurde davon ausgegangen, dass nur 75 % der Toilettengänge zu Hause verrichtet werden und dass bei diesen Toilettengängen nur 75% des Urins tatsächlich separiert werden kann.

Für die Berechnungen des Gärrückstandes und der Nährstoffgewinne hieraus wurde die gleiche Annahme getroffen.

Die Nährstoffgewinne aus dem Schwarzwasserkreislauf, der Urinseparation und dem Gärrückstand aus der Biogasanlage sind in die Energiebilanzen eingeflossen. Den Varianten wurde der Energiebedarf gut geschrieben, der bei der Produktion der gleichen Menge an Dünger in der Industrie verbraucht worden wäre.

Die Gewinnung von Blumenerde beim Schwarz- und Braunwasserkreislauf konnte nicht mit in die Energiebilanz einfließen, da es kaum möglich ist, für dieses Produkt Energieäquivalente zu finden. Aber gerade in Ländern, in denen die Böden sehr arm sind, ist die Gewinnung von Blumenerde sehr wertvoll.

---

<sup>38</sup> siehe unter 4.4.5 Kosten

#### 4.4.4 Energiebedarf

Bezüglich des Energiebedarfes wurden 2 Berechnungen erstellt. Zum einen wurden der Stromverbrauch und die damit zusammenhängenden Stromkosten der Varianten ermittelt, zum anderen wurden Energiebilanzen für die einzelnen Varianten erstellt. In den Energiebilanzen wurde neben den Gutschriften für den Ertrag von Dünger auch der Energiebedarf des konventionellen Systems abgezogen. Für den Energiebedarf beim konventionellen System wurden Energieverbräuche für die Trinkwassergewinnung und Abwasserreinigung in Deutschland angesetzt. Dabei wurde der Energieverbrauch für die Trinkwassergewinnung und den Transport etwas höher angesetzt. In den Energiebilanzen wurde der Energiebedarf für die Herstellung der eingesetzten Materialien und Anlagen nicht berücksichtigt.

#### 4.4.5 Kosten; Investitionskosten und Betriebskosten

Die ermittelten Kosten für die einzelnen Varianten sollten nicht als absolute reale Zahlen verstanden werden.

Für die Varianten ist keine Ausführungsplanung erfolgt, diese hätte den Rahmen der Arbeit gesprengt. So sind z.B. Rohrgrabenbreiten und Leitungslängen nur überschlägig ermittelt worden. Die Kosten für die Verlegung der Rohrleitungen im Gebäude sind nicht berücksichtigt worden. In den Berechnungen sind deutsche Einheitspreise verwendet worden, mit den darin enthaltenen deutschen Materialkosten und Arbeitslöhnen, diese treffen für Korea natürlich nur bedingt zu, tatsächlich sind niedrigere Preise zu erwarten.

Die Kosten für den Bau des Betriebsgebäudes sind nicht berücksichtigt worden. Das Betriebsgebäude soll unterirdisch eingebaut werden, in den derzeitigen Sanierungsplänen ist der Bau einer Tiefgarage vorgesehen, die Kosten, die für den Bau des Betriebsgebäudes anteilig an den Baugrubenkosten etc. entstanden wären, wären nur mit sehr großer Unsicherheit abzuschätzen gewesen.

Viele der untersuchten Anlagen sind noch nicht in der Praxis erprobt, Aussagen über die Betriebskosten sind also lediglich Schätzwerte. Z.T sind Kosten für die Anlagen auf eine größere Anlage hochgerechnet worden, auch dies bedeutet nur sehr bedingt zutreffende Aussagen über die realen Kosten. Die Annahmen zu den jeweiligen Kostenrechnungen finden sich im Anhang.

Die Betriebskosten für die Anlagen sind aus den Kosten für Reparatur, Wartung und Unterhaltung und den Stromkosten zusammengesetzt. Weitere Kosten wurden vernachlässigt. Somit fallen für die konventionelle Sanierung und die Variante A1 keine Betriebskosten an. Die Kosten für Reparatur, Wartung und Unterhaltung der jeweiligen Anlagen sind mit 2 % der Investitionskosten angenommen worden.<sup>39</sup>

Die Kostenrechnung dient vor allen Dingen dem Vergleich der einzelnen Varianten. Hierfür sind die ermittelten Werte zumindest in der Tendenz aussagekräftig.

Zur Berechnung der Amortisationszeiten wurden die Kosten der konventionellen Sanierung von den Investitionskosten der einzelnen Varianten abgezogen. Für die Amortisation wurde nur der Gewinn durch die Trinkwassersparnis angesetzt. Da der Dünger nicht von den Bewohnern vermarktet wird, wird davon ausgegangen, dass weder Kosten für den Abtransport, noch Gewinne durch den Düngerverkauf entstehen.

Als Preissteigerungsrate bezüglich der jährlichen Einsparungen wurde 1% angenommen. Die Kosten für den Mehraufwand im Vergleich zu einer konventionellen Sanierung fallen sehr groß aus. Dem liegt zugrunde, dass für die konventionelle Sanierung nur Kosten für den Leitungsbau, den Einbau von Wasserspararmaturen und von neuen Toiletten angesetzt wurden. Es ist nicht bekannt, welche Maßnahmen für die Sanierung bezüglich der Septic

<sup>39</sup> Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (2004), S. 19

Tanks vorgesehen sind. Im jetzt bestehenden System wird das Schwarzwasser in diesen Mehrkammergruben vorbehandelt. Die zu erwartende Reinigungsleistung ist jedoch aufgrund der zu kleinen Bemessung sehr gering.<sup>40</sup>

Da es keine technischen Argumente für den weiteren Einsatz der Mehrkammergruben gibt, wird davon ausgegangen, dass diese nicht saniert werden und das Schwarzwasser direkt in die Kanalisation geleitet wird.

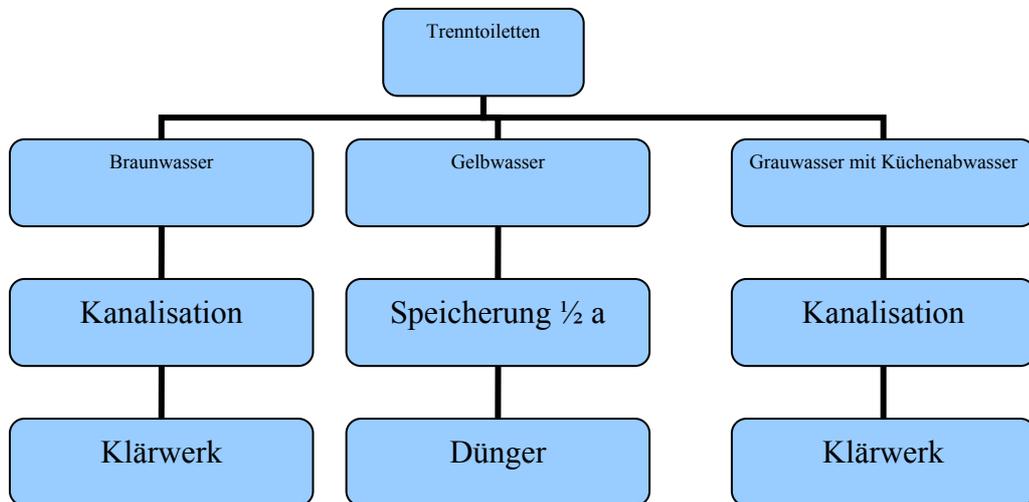
Es ist jedoch wahrscheinlich, da sowohl in Korea als auch in Deutschland nicht immer die technisch-sachlichen Argumente ausschlaggebend sind, dass weiterhin Septic Tanks eingebaut werden. Dies würde natürlich die Kosten der konventionellen Sanierung gegenüber den ökologischen Sanitärsystemen erhöhen.

---

<sup>40</sup> siehe Anhang S.1

## 4.5 Varianten der Gruppe A: Urinseparationssysteme

### 4.5.1 Variante A1: Urinseparation



Funktionsschema Variante A1

#### Beschreibung Variante A1

Variante A 1 stellt eine Übergangsmöglichkeit dar.

Durch den Einsatz einer Urintrenntoilette wird das Schwarzwasser in Braun- und Gelbwasser aufgeteilt. Im vorderen Teil der Toilette wird durch eine kleine Öffnung der Urin abgeleitet, im hinteren Teil die Fäkalien. Der Verschluss des Urinablaufs wird nur geöffnet, wenn sich eine Person auf den Toilettensitz setzt, wenn der Benutzer wieder aufsteht, wird der Verschluss wieder geschlossen. Auf diese Weise wird der Urin nahezu unverdünnt, ohne Spülwasser abgeleitet, dies funktioniert allerdings nur, wenn Männer sich beim Urinieren hinsetzen.

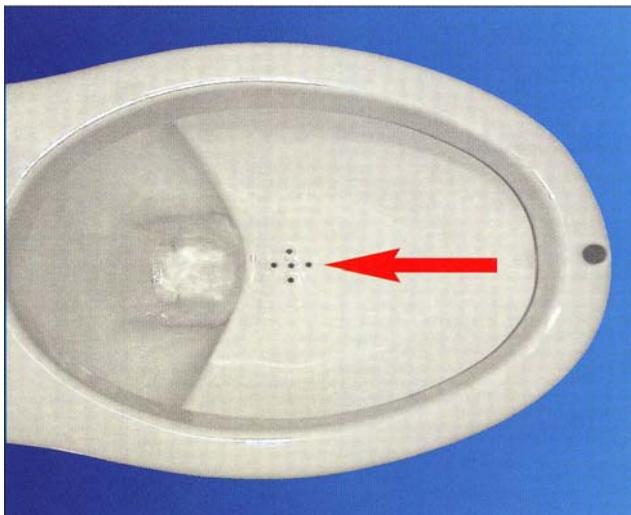


Abbildung 25: Urintrenntoilette

Der Urin wird über eine Schwerkraftleitung zu einem Urintank geleitet und dort bis zum Abtransport zwischengelagert. Der Urinspeicher wird unterirdisch eingebaut.

Das Braunwasser wird ebenfalls über Gefälle abgeleitet, außerhalb der Häuser wird die Braunwasserleitung an die Grauwasserleitung angeschlossen.

Hierdurch verringern sich die Kosten für die Rohrleitungen aufgrund von Materialeinsparung und geringerer Rohrgrabenbreite.

Da beide Teilströme ohnehin zur Kläranlage abgeführt werden, können die Teilströme auch wieder vermischt werden. Dies geschieht allerdings erst außerhalb des Hauses, um eine spätere Nachrüstung mit einer Teilstrombehandlung zu ermöglichen.

In der Variante A1 wird zunächst nur der Urin aus dem konventionellen System herausgelöst. Durch diese Maßnahme kann allerdings die Phosphatfracht des häuslichen Abwassers um 50 % und die Stickstofffracht um 75 % gesenkt werden. Hierdurch wird sowohl das Risiko der Grundwasserverschmutzung durch Sickerwasser aus dem Kanal gesenkt, als auch die Belastung der Oberflächengewässer, besonders da in den Klärwerken in Seoul keinerlei Nährstoffelimination stattfindet. Bei flächendeckendem Einsatz kann auf eine teure Nachrüstung der Kläranlagen mit Denitrifizierung und Phosphatfällung verzichtet werden. Nach der Speicherung kann der Urin als Dünger genutzt werden. Auf diese Weise werden wichtige Nährstoffe recycelt. Zusätzlich zu den genannten Vorteilen besteht die Möglichkeit des stufenweisen Ausbaus des Systems mit Braun- und Grauwasserbehandlungsanlagen. Lediglich für die Installation von Betriebswasserleitungen ist der Zutritt zu den Wohnungen erneut nötig. Alle anderen Anlagen können ohne größere Störungen für die Bewohner nachgerüstet werden.

Für die Urinseparation ist keine Wartung der Anlagen nötig. Der Abtransport wird von einem privaten Dienstleister übernommen. Zur Hygienisierung wird der Urin in zentralen Tanks 6 Monate gespeichert.

Der größte Nachteil dieser Variante besteht in dem kompletten Erhalt der bestehenden Infrastruktur. Ihre Berechtigung erhält sie vor allem durch die zu erwartenden positiven Auswirkungen auf den Gewässerschutz und durch das Nährstoffrecycling.

### **Lageplan mit Anlagen**

Siehe nächste Seite

### **Zusätzlicher Technischer Aufwand:**

Im Vergleich zur konventionellen Sanierung müssen zusätzlich Urintrenntoiletten und Urinleitungen eingebaut werden. Wichtig ist vor allen Dingen, dass der Abtransport des Urins gut organisiert ist und reibungslos funktioniert. Der Urin muss alle 10 – 11 Tage abgeholt werden, es besteht ein Zeitpuffer von 3 Tagen. Dies erfordert eine funktionierende, wenig störungsanfällige Infrastruktur, die in Seoul gegeben ist. Der Urintank ist so zu positionieren, dass er, ohne das Grundstück zu befahren, entleert werden kann.

Die Kontrolle über den regelmäßigen Abtransport kann der Hausmeister übernehmen.

### **Erforderliche Kooperation der Bewohner**

Damit das System der Urinseparation funktioniert, ist es notwendig, die Bewohner gut zu informieren. Um ein Maximum an Urin zu trennen, sollten die Männer im Sitzen urinieren. Das Toilettenpapier sollte in einen separaten Behälter neben der Toilette geworfen werden. Für die Reinigung der Toilette sind Essigsäurereiniger zu verwenden, es ist wichtig, dass keine schwer abbaubaren oder chemisch schädlichen Reiniger eingesetzt werden, da hierdurch der Einsatz des Urins als Dünger gefährdet wird. Allerdings ist davon auszugehen, dass selbst beim Einsatz solcher Substanzen nur geringe Mengen in die Urinspeicher gelangen, da die Urinleitung nur bei Belastung des Toilettensitzes geöffnet ist.

## Volumenströme A1

	Haus A	Haus B	Haus C	Gesamt
Anzahl Haushalte	72	84	60	216
Anzahl Personen [E]	277	142	208	627
Gelbwasser [l/E*d]	1,5	1,5	1,5	1,5
Gelbwasser [m <sup>3</sup> /1/2 a]	75,829	38,873	56,940	171,641
Gelbwasser [m <sup>3</sup> /11Tage]	4,571	2,343	3,432	10,346
Gelbwasser [m <sup>3</sup> /d]	0,416	0,213	0,312	0,941
Fäkalien [l/E*d]	0,14	0,14	0,14	0,14
Spülwasser [l/E*d]	11	11	11	11
Braunwasser [m <sup>3</sup> /d]	3,086	1,582	2,317	6,985
Septic Tank, Abwasservolumen [m <sup>3</sup> ]	26	11,2	21,1	
Aufenthaltsdauer [d]	8,4	7,1	9,1	
Grauwasser Behandlung [l/E*d]	-	-	-	-
Grauwasser Behandlung [m <sup>3</sup> /d]	-	-	-	-
Grauwasser Ableitung [l/E*d]	115	115	115	115
Grauwasser Ableitung [m <sup>3</sup> /d]	31,855	16,33	23,92	72,105

Tabelle 1: Variante A1 Volumenströme

Die Berechnung der Volumenströme für Schwarz-, Braun- und Gelbwasser erfolgte unter der Annahme, dass die Personen täglich 5x Urin lassen und 1x Stuhl abführen. Diese Annahme wurde auch deshalb getroffen, um eine Vergleichbarkeit mit der Diplomarbeit von Salvatore Costanzo<sup>41</sup> sicherzustellen. In der Literatur sind sehr unterschiedliche Werte zu finden, da aufgrund der immer noch geringen praktischen Erfahrungen wenig gemessene Werte vorliegen und so häufig mit plausiblen Annahmen gerechnet werden muss.<sup>42</sup>

Der Grauwasseranfall wurde trotz des Einsatzes von Wasserspararmaturen mit 115 l/E\*d angenommen. Eine überschlägliche Berechnung des Grauwasseranfalles findet sich im Anhang auf S.3.

### Einsparpotentiale, Erreichen der qualitativen Ziele

Die Einsparpotentiale werden für alle Varianten im Vergleich zu einer konventionellen Sanierung angegeben. Bei der konventionellen Sanierung werden, wie bei allen anderen Varianten auch, Wassersparttechnologien für die Wasserhähne und die Duschen eingesetzt. Als Toilettensystem werden Standardspartoiletten mit 6l bzw. 4l Spülung eingebaut.

#### *Trinkwasserersparnis und Reduktion der Abwasserableitung*

Bei der Urinseparation wird durch den Einsatz der wassersparenden Trenntoilette täglich 9,405m<sup>3</sup> Wasser pro Tag eingespart, dies entspricht einem Wasserverbrauch von 89,36% der konventionellen Sanierung. Pro Jahr ergibt sich eine Einsparung von 3432,83m<sup>3</sup> Trinkwasser. Durch die zusätzliche Heraustrennung des Urins reduziert sich die tägliche Menge an Abwasser um 10,346m<sup>3</sup>.

#### *Flächenbedarf*

Für die Variante A1 entsteht durch den Urinspeicher ein unterirdischer Flächenbedarf von 20,7 m<sup>2</sup>.

<sup>41</sup> Costanzo (2004)

<sup>42</sup> siehe Anhang, S. 3

### *Nährstoffgewinnung*

Durch die Urintrennung können im Jahr 1105,97kg Stickstoff und 95,33 kg Phosphor gewonnen werden.

### *Energiebedarf*

Da der Urin durch Gefälle abgeleitet wird, ergibt sich bei der Variante A1 kein zusätzlicher Energiebedarf, es entstehen also durch diese Variante auch keine zusätzlichen Stromkosten für die Bewohner.

Die Energiebilanz fällt außerordentlich positiv aus. Da lediglich ein Energieverbrauch für die Trinkwassergewinnung anzusetzen ist, ergibt sich jährlich eine Energieeinsparung von 10.190,22 kWh gegenüber dem konventionellen System. Hierin sind der Energieverbrauch des konventionellen Systems und die Energiegutschriften aus dem Düngerertrag enthalten. Die Energieeinsparung im Klärwerk aufgrund der stark verringerten Stickstofffracht wurde nicht berücksichtigt.

### *Kosten*

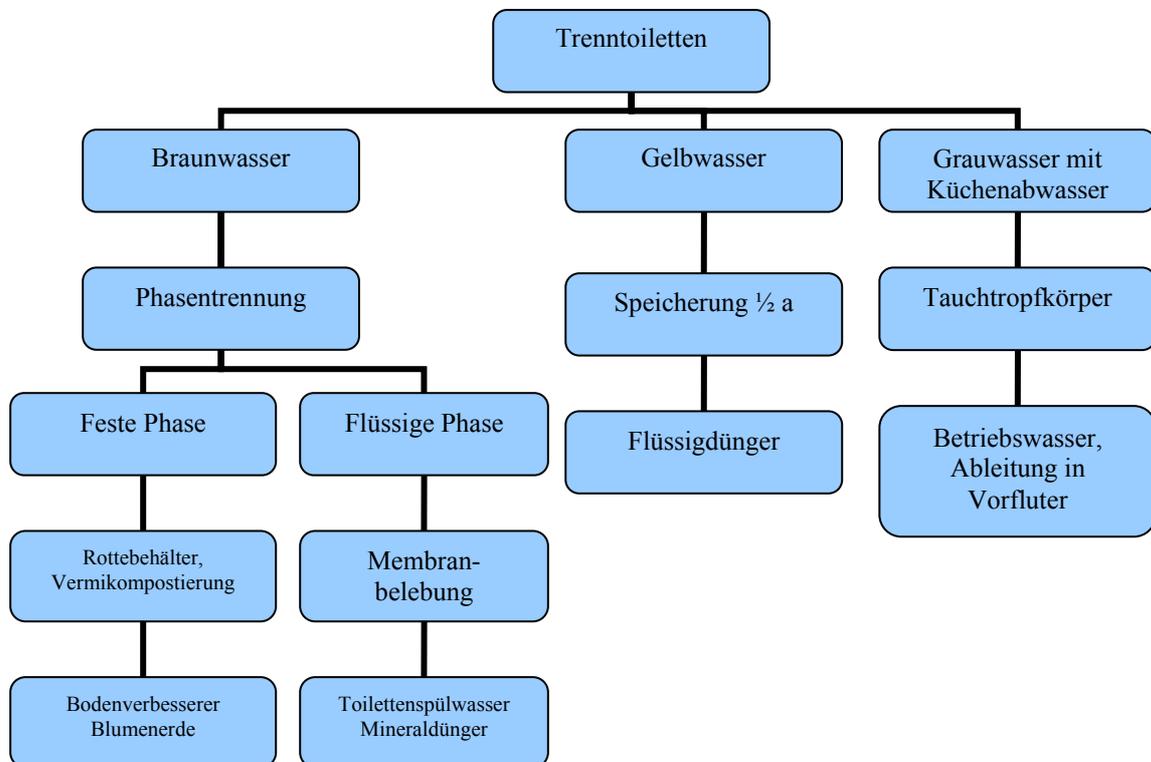
Die Gesamtinvestitionskosten betragen 393.192 €, der finanzielle Mehraufwand im Vergleich zur konventionellen Sanierung beträgt 198.013 €.

Diese hohen Kosten lassen sich vor allem auf den Einsatz der Trenntoiletten zurückführen, die mit 770 € mehr als doppelt so teuer wie die eingesetzten Standardspartoiletten sind. Der Anteil der Toiletten an den Gesamtkosten beträgt mehr als 84%.

Durch die niedrigen Wasser- und Abwasserpreise in Seoul beträgt die jährliche finanzielle Einsparung lediglich 3192 €.

Eine Amortisation der Kosten würde (ohne Anrechnung von Preissteigerungen) erst in 62 Jahren stattfinden, dies übersteigt die anzunehmende Lebensdauer bei weitem und ist für die Eigentümer in keiner Weise wirtschaftlich.

#### 4.5.2 Variante A2: Braunwasserkreislauf



Funktionsschema Variante A2

#### Beschreibung Variante A2

Bei der Variante A2 findet wie in Variante A1 eine Urinseparation durch Urintrenntoiletten statt.

Die Behandlung der Fäkalien mitsamt des Spülwassers erfolgt in einem Braunwasserkreislauf. Die Funktionsweise dieses Kreislaufes ist bereits unter 4.3.3 dargestellt. Durch den Braunwasserkreislauf wird der größte Anteil des Toilettenspülwassers gedeckt, hierfür wird allerdings auch der Einbau einer zusätzlichen Leitung für das Toilettenspülwasser notwendig.

Der Grauwasserstrom wird, wie auch in den folgenden Varianten A3, B1 und B2, in einem Tauchtropfkörper behandelt.

Das behandelte Grauwasser wird zum Teil als Betriebswasser genutzt. Die überschüssige Wassermenge wird in die Kanalisation abgeführt und kann direkt in den nächsten Vorfluter eingeleitet werden. Durch das Grauwasserrecycling wird Trinkwasser gespart und gleichzeitig die Abflussmenge reduziert.

Bei flächendeckendem Einsatz der Variante A2 ist kein zentrales Klärwerk mehr nötig. Die Klärwerke könnten zurückgebaut und so attraktive innerstädtische Flächen gewonnen werden. Die Kanalisation fungiert nur noch als Ableitung für Wasser, das direkt in den Vorfluter

gelangen kann. Dadurch kann das Leitungsnetz verkürzt werden. Das Risiko einer Grundwasserverschmutzung durch Sickerwasser aus dem Kanal entfällt.

### Lageplan mit Anlagen

Siehe nächste Seite

### Zusätzlicher technischer Aufwand

Ebenso wie in Variante A1 müssen Trenntoiletten, die dazu gehörigen Urinleitungen und der Urinspeicher eingebaut werden.

Die Braunwasserkreislaufanlage wird in einem unterirdischen Betriebsgebäude untergebracht, ebenso die Tauchtropfkörperanlage. Dieser ist für die regelmäßige Beschickung ein 14m<sup>3</sup> großes Speicherbecken vorgeschaltet und für die Betriebswasserspeicherung ein ebenso großes Becken nachgeschaltet. Für die Leitung von Betriebswasser müssen 2 Leitungen installiert werden, zum einen für das recycelte Grauwater, zum anderen für das im Kreislauf geführte Braunwasser.

Der Tauchtropfkörper muss einmal pro Jahr gründlich gewartet werden, die UV-Desinfektion muss gereinigt und die einzelnen Teile der Anlage inspiziert werden.

Vierteljährlich sollte der Hausmeister die Anlage auf Augenschein überprüfen. Für den Betrieb der Anlage sollte vor Ort eine verantwortliche Person anwesend sein.<sup>43</sup>

Eine Überwachung der Braunwasserkreislaufanlage kann über Datenfernüberwachung per Computer erfolgen. Alle 2 Monate muss der Rottebehälter zum Auffangen der festen Phase umgehängt werden, diese Aufgabe kann der Hausmeister übernehmen. Außerdem muss der Abtransport der Blumenerde kontrolliert werden. Eine chemische Reinigung der Membran ist ca. 2-3 mal im Jahr erforderlich.

### Volumenströme A2

	Haus A	Haus B	Haus C	Gesamt
<b>Anzahl Haushalte</b>	72	84	60	216
<b>Anzahl Personen [E]</b>	277	142	208	627
<b>Gelbwasser [l/E*d]</b>	1,5	1,5	1,5	1,5
<b>Gelbwasser [m<sup>3</sup>/d]</b>	0,4155	0,213	0,312	0,9405
<b>Fäkalien [l/E*d]</b>	0,14	0,14	0,14	0,14
<b>Spülwasser [l/E*d]</b>	11	11	11	11
<b>Braunwasser [m<sup>3</sup>/d]</b>	3,08578	1,58188	2,31712	6,98478
<b>Grauwasser Behandlung [l/E*d]</b>	115	115	115	115
<b>Grauwasser Behandlung [m<sup>3</sup>/d]</b>	31,855	16,33	23,92	72,105
<b>Betriebswasserbedarf [l/E*d] ohne Toilette</b>	26	26	26	26
<b>Betriebswasserbedarf [m<sup>3</sup>/d] ohne Toilette</b>	7,202	3,692	5,408	16,302
<b>Grauwasser Ableitung [l/E*d]</b>	89	89	89	89
<b>Grauwasser Ableitung [m<sup>3</sup>/d]</b>	24,653	12,638	18,512	55,803

Tabelle 2: Variante A2 Volumenströme

### Erforderliche Kooperation der Bewohner

Für das Funktionieren der Urinseparation sollten die Männer beim Urinieren sitzen. Wichtig ist vor allem, dass keine chemischen Toilettenreiniger benutzt werden, da diese den Vorgang der Kompostierung (und die Würmer) in der Rotte stark stören würden, auch wäre der Einsatz als Blumenerde in Frage gestellt.

Um die Phosphatbelastung im Tauchtropfkörper und im Ablauf gering zu halten, sollten die Bewohner möglichst phosphatfreie Waschmittel und Spülmaschinentabs verwenden. Die

<sup>43</sup> telefonische Auskunft Wilhelm, am 2.2.2004

Bewohner sollten für alle in Frage kommenden Tätigkeiten wie Hausreinigung oder Auto waschen auch tatsächlich Betriebswasser benutzen. Bezüglich der Nutzung von Betriebswasser für die Toilettenspülung und das Waschen der Wäsche waschen, können von vornherein die Leitungen an die Geräte bzw. an den Spülkasten angeschlossen werden. Trotzdem ist natürlich die Akzeptanz der Bewohner gegenüber der Nutzung des Betriebswassers sehr wichtig.

### **Einsparpotentiale, Erreichen der qualitativen Ziele**

#### *Trinkwasserersparnis und Reduktion der Abwasserableitung*

In der Variante A2 wird durch die Trenntoiletten, den Braunwasserkreislauf und das Grauwasserrecycling täglich eine Wassermenge von 32,604m<sup>3</sup> gespart. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von 11.900,46m<sup>3</sup>. Gegenüber der konventionellen Sanierung können knapp 37% an Trinkwasser eingespart werden.

Die Abwasserableitung reduziert sich auf null. Zwar wird noch über die Kanalisation Wasser vom Grundstück abgeleitet, hierbei handelt es sich aber um qualitativ hochwertiges Betriebswasser und nicht um Abwasser.

#### *Flächenbedarf*

Der Flächenbedarf beträgt unterirdisch 20,7m<sup>2</sup> und im Betriebsgebäude 55,01m<sup>2</sup> für die Braunwasserkreislaufanlage und den Tauchtropfkörper.

#### *Nährstoffgewinnung*

Zusätzlich zu den jährlichen Erträgen an 1105,97kg Stickstoff und 95,33 kg Phosphor aus der Urinseparation, können durch den Braunwasserkreislauf noch 6865,65 kg Blumenerde gewonnen werden.

#### *Energiebedarf*

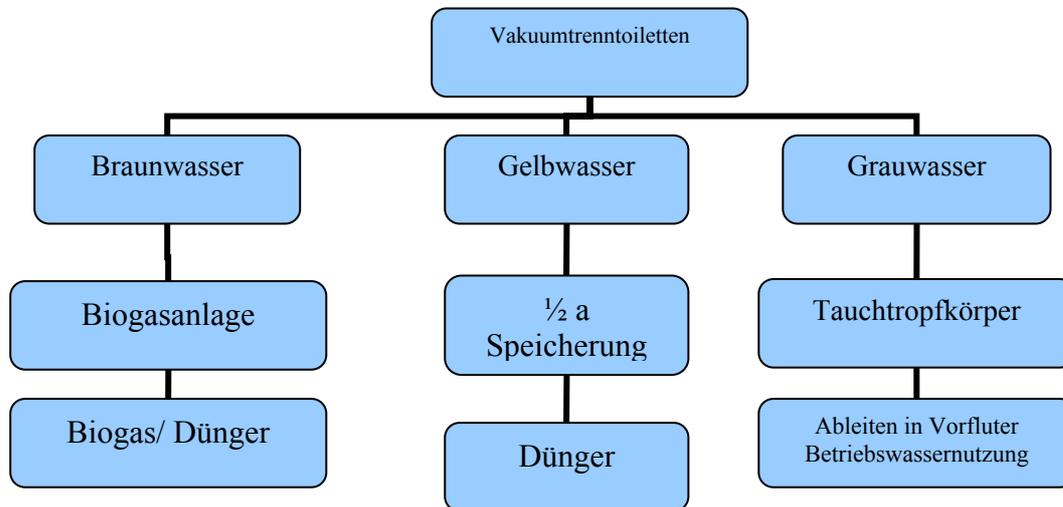
Obwohl der Energiebedarf für den Braunwasserkreislauf aufgrund des geringen Volumenstromes von 6,985m<sup>3</sup>/d und einem spezifischen Energieverbrauch von 3kWh/m<sup>3</sup> relativ gering ist, fällt die Energiebilanz für die Variante A2 negativ aus. Jährlich fällt ein zusätzlicher Energieverbrauch von 23.586,53 kWh an. Dies ist vor allem auf die Auslegung des Tauchtropfkörpers auf den gesamten Grauwasseranfall zurückzuführen. Trotz eines geringen Energieverbrauches von weniger als 2kWh/m<sup>3</sup> summiert sich der jährliche Verbrauch aufgrund des Volumenstromes von 72,105m<sup>3</sup> auf 52.636,66 kWh.

Außerdem ergeben sich Energiegutschriften lediglich aufgrund des Düngerertrags aus dem Urin.

#### *Kosten*

Die Investitionskosten betragen 643.961 €, der finanzielle Mehraufwand 448.782 €. Mehr als 50% der Kosten sind auf die Toiletten zurückzuführen, einen weiteren großen Bestandteil der Kosten macht die Investition von 180.299 € für den Tauchtropfkörper aus. Da jedoch der Anteil an den Betriebskosten für Reparatur, Wartung und Unterhaltung relativ gering sind, ist die Variante A2 diejenige Variante mit der größten jährlichen Einsparung von 6062 €. Überschläglich würde die Amortisationszeit dennoch bei über 74 Jahren liegen.

### 4.5.3 Variante A3: Biogasanlage



Funktionsschema Variante A3

#### Beschreibung der Variante A3

In der Variante A3 werden zur Urinseparation Vakuumtrenntoiletten eingesetzt. Derzeit gibt es keine Vakuumtrenntoiletten auf dem Markt, da sie momentan die Zulassungsbedingungen für den deutschen Markt nicht erfüllen, dies liegt v.a. an der geforderten Bruchstabilität bei einer Belastung von 400kg.

Ihre Anwendung soll hier trotzdem untersucht werden, da sie technisch bereits so ausgereift sind, dass sie unter anderen Zulassungsbedingungen durchaus einsetzbar wären.

Im Unterschied zur Schwerkraftentwässerung wird das Toilettenabwasser durch einen Unterdruck in das Rohrleitungssystem eingesaugt. Beim Vakuumsystem ist kein Gefälle nötig und es können wesentlich kleinere Rohrquerschnitte gewählt werden.

Aufgrund der Trennung von Braun- und Gelbwasser sind bei dieser Variante 2 Vakuumstationen notwendig. Das Gelb- bzw. Braunwasser wird zunächst in einen Sammeltank befördert. Das Gelbwasser wird dann über Schmutzwasserpumpen in den Urintank weitergeleitet.

Das Braunwasser, welches durch die geringen Spülmengen von 1l/Spülung nur wenig verdünnt wird, wird von dem Sammeltank aus durch Schmutzwasserpumpen direkt in den Hygienisierungstank der Biogasanlage befördert. Von der Hygienisierung wird das Braunwasser weiter in den Fermenter geleitet, wo es vergoren wird. Die Verweildauer ist mit 20 Tagen angesetzt worden. Zur Optimierung der Biogasproduktion, die abhängig ist vom Trockensubstanzgehalt, werden außerdem die organischen Küchenabfälle der Siedlung zugegeben. Der Gärückstand aus der Anlage wird in einen Düngetank gepumpt. Dieser muss alle 2-3 Tage geleert werden. Es gibt einen Zeitpuffer von ebenfalls 2-3 Tagen.

Der Grauwasserstrom wird analog zu Variante 2 behandelt. Allerdings wird der Betriebswasserbedarf für das Toilettenspülwasser komplett aus dem Grauwasserrecycling gedeckt.

#### Lageplan mit Anlagen:

Siehe nächste Seite

**Volumenströme A3**

	Haus A	Haus B	Haus C	Gesamt
Anzahl Haushalte	72	84	60	216
Anzahl Personen [E]	277	142	208	627
Gelbwasser [l/E*d]	1,5	1,5	1,5	1,5
Gelbwasser [m³/d]	0,416	0,213	0,312	0,941
Fäkalien [l/E*d]	0,14	0,14	0,14	0,14
Spülwasser [l/E*d]	6	6	6	6
Braunwasser [m³/d]	1,70078	0,87188	1,27712	3,84978
Grauwasser Behandlung [l/E*d]	115	115	115	115
Grauwasser Behandlung [m³/d]	31,855	16,33	23,92	72,105
Betriebswasserbedarf [l/E*d]	32	32	32	32
Betriebswasserbedarf [m³/d]	8,864	4,544	6,656	20,064
Grauwasser Ableitung [l/E*d]	83	83	83	83
Grauwasser Ableitung [m³/d]	22,991	11,786	17,264	52,041

Tabelle 3: Variante A3 Volumenströme

**Zusätzlicher technischer Aufwand**

Es müssen Vakuumtrenntoiletten eingebaut werden. Die Vakuumsammlung ist relativ laut, es sollte darauf geachtet werden, dass die Spülung nur betätigt werden kann, wenn der Toilettendeckel geschlossen ist. Dies kommt auch eventuellen Ängsten der Nutzer entgegen, durch die Toilette an- oder eingesogen zu werden. Für die Vakuumsammlung können die gleichen Rohrwerkstoffe wie in Variante A2 bei der Schwerkraftentwässerung verwandt werden.

Im Betriebsgebäude werden 2 Vakuumstationen mit den dazugehörigen Schmutzwassertanks aufgestellt. Der Hygienisierungstank und der Tauchtropfkörper werden ebenfalls dort aufgestellt. Der Fermenter der Biogasanlage wird ins Erdreich eingebaut.

Der organische Küchenabfall muss vom Hausmeister der Biogasanlage zugegeben werden. Da der Gärrückstand der Biogasanlage und der Urin abtransportiert werden müssen, gibt es ein erhöhtes Schwerlastverkehrsaufkommen, mit Intervallen von 2-3 Tagen für den Gärrückstand und von 10-11 Tagen für den Urin.

Für die Versorgung mit dem Betriebswasser aus dem Grauwasserrecycling ist nur 1 Leitung erforderlich.

**Erforderliche Kooperation der Bewohner**

Für das Gelingen der Urinseparation sollten die Männer im Sitzen urinieren. Das Toilettenpapier sollte möglichst in einen separaten Behälter geworfen werden. Der unsachgemäße Einsatz von chemischen Reinigern beeinträchtigt den Gärungsprozess, die Bewohner sollten nur ihnen empfohlene Reiniger einsetzen, es dürfen keine anderen Abfälle in der Toilette entsorgt werden, dies führt aufgrund der geringen Spülmengen schnell zu Verstopfungen.

Die Bewohner sollten keine phosphathaltigen Wasch- oder Spülmittel verwenden. Um die Biogasgewinnung zu optimieren, sollten die Bewohner ihren organischen Küchenabfall trennen.

Die Nutzung des Betriebswassers sollte von den Bewohnern akzeptiert werden.

## **Einsparpotentiale, Erreichen der qualitativen Ziele**

### *Trinkwasserersparnis und Reduktion der Abwasserableitung*

Durch den Einsatz der Vakuumtechnik und der Betriebswassernutzung aus dem Grauwasserrecycling werden täglich 32,604m<sup>3</sup> Wasser eingespart, der Wasserverbrauch entspricht 63,12% der konventionellen Sanierung. Pro Jahr ergibt sich eine Einsparung von 11.900,46m<sup>3</sup> Trinkwasser.

Es wird kein Abwasser in die Kanalisation eingeleitet.

### *Flächenbedarf*

Für Urinspeicher, Düngespeicher und Fermenter besteht ein unterirdischer Flächenbedarf von 88,0 m<sup>2</sup>. Der Tauchtropfkörper, die Vakuumstationen und der Hygienisierungstank benötigen eine Fläche von 62,19,m<sup>2</sup> im Betriebsgebäude.

### *Nährstoffgewinnung*

Es werden jährlich 1105,97kg Stickstoff und 95,33 kg Phosphor aus der Urinseparation, gewonnen. Zusätzlich dazu werden aus dem Gärrückstand 506,34 kg Stickstoff und 163,06 kg Phosphor gewonnen.

### *Energieverbrauch*

Trotz der Energiegutschriften aus den Düngererträgen und der Deckung des thermischen Energiebedarfes der Biogasanlage durch den Biogasertrag, ist die Energiebilanz negativ. Jährlich werden 20.871,54 kWh Strom mehr verbraucht als im konventionellen System. Die Stromkosten für die Variante A3 sind vergleichbar mit denen der Variante A2.

### *Kosten*

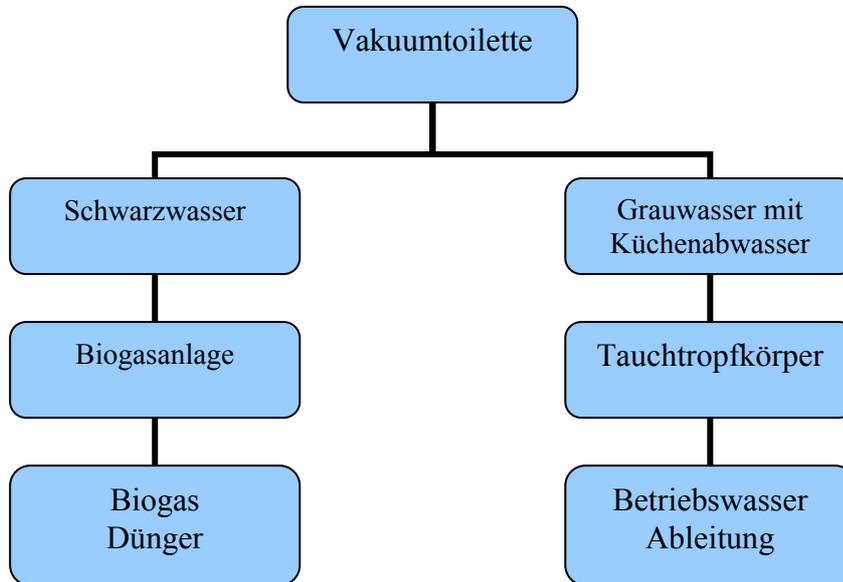
Die Investitionskosten betragen 933.277 € und stellen die höchsten Investitionskosten aller Varianten dar. Die Vakuumtoiletten, die knapp 2 1/2 mal so teuer sind wie die Standardtoiletten, tragen dazu 395.280 € bei. Weiterhin sind die Kosten für die Biogasanlage und die Vakuumtechnik sehr hoch. Sie betragen zusammen 254.910 €

Der finanzielle Mehraufwand beträgt 738.099 €. Die jährliche Einsparung gegenüber dem konventionellen System beträgt lediglich 1652 €. Dies ist auf die niedrigen Wasserpreise in Seoul, aber auch auf die hohen Betriebskosten zurückzuführen. So betragen die Kosten allein für die Wartung, Reparatur und Unterhaltung 8704 €/Jahr.

Eine „Amortisation“ (ohne Ansatz der Preissteigerungen) würde über 400 Jahre dauern.

## 4.6 Varianten der Gruppe B: Schwarzwassersysteme

### 4.6.1 Variante B1: Biogasanlage



Funktionsschema Variante B1

#### Beschreibung der Variante B1

In den Varianten der Gruppe B werden Gelbwasser- und Braunwasserstrom nicht getrennt, sondern gemeinsam als Schwarzwasserstrom behandelt.

Wie in Variante A3 wird das Schwarzwasser mit einem Vakuumsystem abgeleitet. Da nur 1 Leitung existiert, ist in dieser Variante nur 1 Vakuumsstation notwendig. Das Schwarzwasser wird aus dem Schmutzwassertank weiter in die Biogasanlage geleitet. Da der Urin mitbehandelt wird, vergrößert sich das Anlagenvolumen der Biogasanlage im Vergleich zu Variante A3.

Das Nährstoffrecycling aus dem Urin entfällt in den Schwarzwasservarianten, jedoch wird auch mit der Biogasanlage Dünger produziert. Die aufwändige Speicherung und der Abtransport des Urins entfallen.

Das Grauwasser wird wie in den vorhergehenden Varianten mit dem Tauchtropfkörper behandelt, dann abgeleitet oder als Betriebswasser genutzt.

Wie in den Varianten A2 und A3 ist bei flächendeckendem Einsatz keine zentrale Kläranlage mehr notwendig. Auch geht von dem in die Kanalisation abgeleiteten Grauwasser keine Gefahr der Grundwasserverschmutzung aus.

#### Lageplan mit Anlagen

Siehe nächste Seite

**Volumenströme B1**

	Haus A	Haus B	Haus C	Gesamt
Anzahl Haushalte	72	84	60	216
Anzahl Personen [E]	277	142	208	627
Urin [l/E*d]	1,5	1,5	1,5	1,5
Fäkalien [l/E*d]	0,14	0,14	0,14	0,14
Spülwasser [l/E*d]	6	6	6	6
Schwarzwasser [m <sup>3</sup> /d]	2,116	1,085	1,589	4,790
Grauwasser Behandlung [l/E*d]	115	115	115	115
Grauwasser Behandlung [m <sup>3</sup> /d]	31,855	16,33	23,92	72,105
Betriebswasserbedarf [l/E*d]	32	32	32	32
Betriebswasserbedarf [m <sup>3</sup> /d]	8,864	4,544	6,656	20,064
Grauwasser Ableitung [l/E*d]	83	83	83	83
Grauwasser Ableitung [m <sup>3</sup> /d]	22,991	11,786	17,264	52,041

Tabelle 4: Variante B1 Volumenströme

**Zusätzlicher technischer und organisatorischer Aufwand**

Wie in Variante A3 müssen Vakuumtoiletten eingebaut werden. Für die Schwarzwassersammlung ist jedoch nur eine Leitung, ein Schmutzwassertank und eine Vakuumstation notwendig. Der Fermenter der Biogasanlage und der Düngespeicher für den Gärrückstand werden ins Erdreich eingebaut, der Hygienisierungstank, die Vakuumstation und der Tauchtropfkörper werden im Betriebsgebäude untergebracht.

Der organische Küchenabfall muss vom Hausmeister der Biogasanlage zugegeben werden. Alle 10-11 Tage muss der Speicher für den Gärrückstand geleert werden.

**Erforderliche Kooperation der Einwohner**

Die Einwohner dürfen über die Vakuumtoiletten keine anderen Abfälle entsorgen, dies würde schnell zu Verstopfungsproblemen führen.

Weiterhin muss der organische Küchenabfall getrennt werden. Wichtig ist auch die Akzeptanz der Betriebswassernutzung.

**Einsparpotentiale, Erfüllung der qualitativen Zielsetzungen***Trinkwasserersparnis und Reduktion der Abwasserableitung*

Durch den Einsatz der Vakuumtechnik und der Betriebswassernutzung aus dem Grauwasserrecycling werden täglich 32,604m<sup>3</sup> Wasser eingespart, dies entspricht einem Wasserverbrauch von 63,12% der konventionellen Sanierung. Pro Jahr ergibt sich eine Einsparung von 11.900,46m<sup>3</sup> Trinkwasser.

Es wird kein Abwasser in die Kanalisation eingeleitet.

*Flächenbedarf*

Für Düngespeicher und Fermenter besteht ein unterirdischer Flächenbedarf von 67,3 m<sup>2</sup>. Der Tauchtropfkörper, die Vakuumstation und der Hygienisierungstank benötigen eine Fläche von 53,19m<sup>2</sup>.

*Nährstoffgewinnung*

Es werden jährlich aus dem Gärrückstand 2025,38 kg Stickstoff und 326,12 kg Phosphor gewonnen.

### *Energieverbrauch*

Trotz der Energiegutschriften aus dem Gärrückstand und der Deckung des thermischen Energiebedarfes der Biogasanlage durch den Biogasertrag, fällt die Energiebilanz negativ aus. Jährlich werden 16.111,25 kWh mehr Strom verbraucht als im konventionellen System.

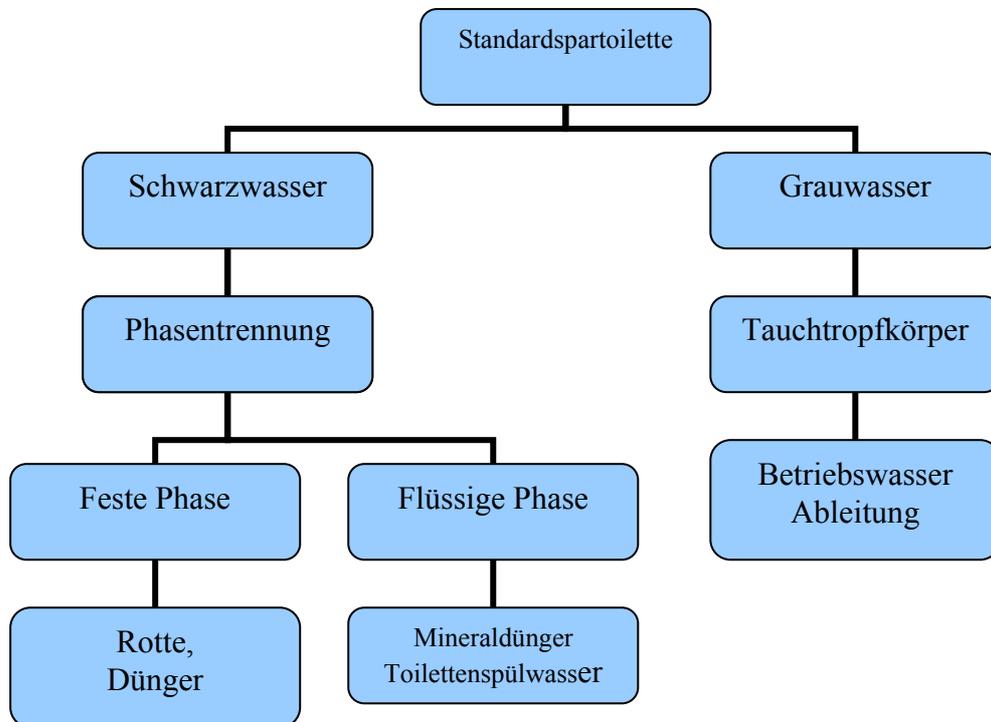
### *Kosten*

Die Investitionskosten betragen 775.644 €. Die Vakuumtoiletten tragen dazu 276.480 € bei. Weiterhin sind die Kosten für die Biogasanlage und die Vakuumtechnik sehr hoch. Sie betragen zusammen 252.355 €.

Der finanzielle Mehraufwand beträgt 580.466 €. Die jährliche Einsparung gegenüber dem konventionellen System beträgt lediglich 2050 €. Dies ist auf die niedrigen Wasserpreise in Seoul, aber auch auf die hohen Betriebskosten zurückzuführen. So betragen die Kosten allein für die Wartung, Reparatur und Unterhaltung 8653 €/Jahr.

Eine „Amortisation“ (ohne Ansatz der Zinsen) würde über 280 Jahre brauchen.

#### 4.6.2 Variante B2: Schwarzwasserkreislauf



**Funktionsschema Variante B2**

##### **Beschreibung der Variante B2**

Bei der Variante B2 handelt es sich um einen Schwarzwasserkreislauf.

Das System ist das gleiche wie der in Variante A2 beschriebene Braunwasserkreislauf.

Bei diesem Schwarzwasserkreislauf werden allerdings handelsübliche, normale Spartoiletten mit einer 6l/4l Spülung eingesetzt. Dadurch erhöhen sich natürlich die Volumenströme für die flüssige Phase und damit die Anlagengröße. Die Membranbelebungsleistung ist außerdem aufgrund der höheren Stickstofffracht größer zu bemessen.

Im Gegensatz zum oben beschriebenen Braunwasserkreislauf muss beim Schwarzwasserkreislauf durch den Flüssigkeitseintrag des Urins keine zusätzliche Flüssigkeit zugeführt werden. Der Kreislauf ist autark.

Ca. 2-3 mal pro Jahr muss die Blumenerde abgeholt werden.

Ein weiterer Unterschied besteht in der Ausfällung von Mineraldünger (MAP). Das Grauwasser wird im Tauchtropfkörper behandelt und ein Teil als Betriebswasser genutzt, der Rest wird abgeleitet.

##### **Lageplan mit Anlagen**

Siehe nächste Seite

**Volumenströme B2**

	Haus A	Haus B	Haus C	Gesamt
Anzahl Haushalte	72	84	60	216
Anzahl Personen [E]	277	142	208	627
Urin [l/E*d]	1,5	1,5	1,5	1,5
Fäkalien [l/E*d]	0,14	0,14	0,14	0,14
Spülwasser [l/E*d]	26	26	26	26
Schwarzwasser [m³/d]	7,656	3,925	5,749	17,330
Grauwasser Behandlung [l/E*d]	115	115	115	115
Grauwasser Behandlung [m³/d]	31,855	16,33	23,92	72,105
Betriebswasserbedarf ohne Toilette [l/E*d]	26	26	26	26
Betriebswasserbedarf ohne Toilette [m³/d]	7,202	3,692	5,408	16,302
Grauwasser Ableitung [l/E*d]	89	89	89	89
Grauwasser Ableitung [m³/d]	24,653	12,638	18,512	55,803

Tabelle 5: Variante B2 Volumenströme

**Zusätzlicher technischer Aufwand**

Im Betriebsgebäude muss der Tauchtropfkörper und die Schwarzwasseranlage eingebaut werden. Für die Schwarzwasserkreislaufanlage muss eine eigene Toilettenspülwasserleitung verlegt werden. Alle 4-5 Wochen muss der ausgefällte Mineralfäkalien der Anlage entnommen werden, dies erfordert allerdings nicht viel Arbeit und kann vom Hausmeister übernommen werden. Ansonsten fallen die gleichen Arbeiten wie beim Brauwasserkreislauf an: das Wechseln der Rottesäcke durch den Hausmeister und die chemische Reinigung der Membran ca. 2-3 mal pro Jahr. Die Wartung des Tauchtropfkörpers ist ebenfalls in den vorhergehenden Varianten beschrieben.

**Erforderliche Kooperation der Einwohner**

Die Bewohner sollten keine Reiniger verwenden, die die Vermikompostierung stören könnten. Für Aktivitäten wie Hausreinigung, Auto oder Wäsche waschen, sollte Betriebswasser genutzt werden.

**Einsparpotentiale, Erreichen der qualitativen Ziele***Trinkwasserersparnis und Reduktion der Abwasserableitung*

In der Variante B2 wird durch das Grauwasserrecycling täglich eine Trinkwassermenge von 32,604m³ gespart. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von 11.900,46m³. Gegenüber der konventionellen Sanierung können knapp 37% an Trinkwasser eingespart werden. Die Abwasserableitung reduziert sich auf Null. Zwar wird noch über die Kanalisation Wasser vom Grundstück abgeleitet, hierbei handelt es sich aber um qualitativ hochwertiges Betriebswasser und nicht um Abwasser.

*Flächenbedarf*

Der Flächenbedarf im Betriebsgebäude beträgt 69,34m² für die Schwarzwasserkreislaufanlage und den Tauchtropfkörper.

*Nährstoffgewinnung*

Durch die Ausfällung im Schwarzwasserkreislauf werden jährlich 13.731,3 kg Magnesiumammoniumphosphat gewonnen. Der Stickstoffanteil liegt hier bei ca. 1/6, dies bedeutet einen Stickstoffertrag von 2288,55kg/a. Zusätzlich werden jedes Jahr 6865,65 kg Blumenerde gewonnen.

### *Energiebedarf*

Die Energiebilanz der Variante B2 fällt negativ aus. Jährlich fällt ein zusätzlicher Energieverbrauch von 48.665,59 kWh an. Dies ist auf den hohen Energieverbrauch von 5,5kWh/m<sup>3</sup> des Schwarzwasserkreislaufes und auf die Auslegung des Tauchtropfkörpers auf den gesamten Grauwasseranfall zurückzuführen. Trotz eines geringen Energieverbrauches des Tauchtropfkörpers von weniger als 2kWh/m<sup>3</sup> summiert sich der jährliche Verbrauch aufgrund des Volumenstromes von 72,105m<sup>3</sup> auf 52.636,66 kWh.

Außerdem ergeben sich Energiegutschriften lediglich aufgrund des Mineraldüngerertrag aus dem Schwarzwasserkreislauf.

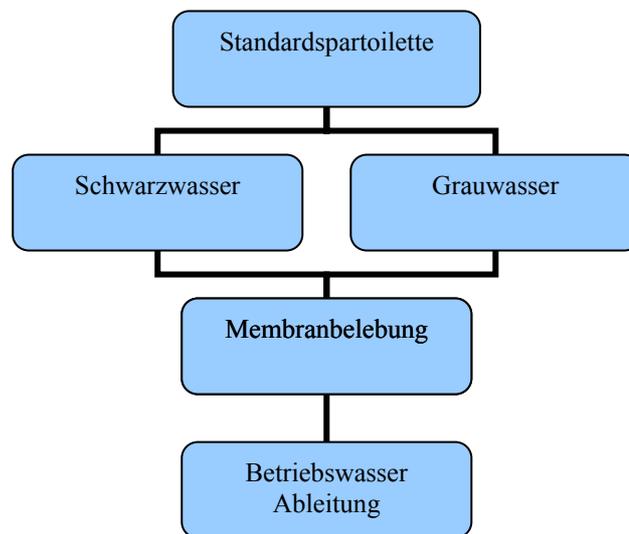
### *Kosten*

Die Investitionskosten betragen 444.821 €, der finanzielle Mehraufwand 249.643 €. Einen großen Bestandteil der Kosten macht die Investition von 180.299,55 € für den Tauchtropfkörper aus.

Durch die hohen Stromkosten liegen die jährlichen Einsparungen lediglich bei 1816 €. Eine Amortisation der Kosten würde über 130 Jahre dauern.

## 4.7 Varianten der Gruppe C: gemeinsame Behandlung aller Teilströme

### 4.7.1 Variante C1: Mikrofiltration



Funktionsschema Variante C1

#### Beschreibung der Variante C1

In Variante C1 werden das Grauwasser und das Schwarzwasser gemeinsam in einem Membranbioreaktor behandelt. Eine Stoffstromtrennung findet nicht statt. Es ist kein Nährstoffrecycling möglich, jedoch wird das behandelte Wasser erneut als Betriebswasser genutzt. Diese Variante wird v.a. aus Vergleichsgründen untersucht.

#### Lageplan mit Anlagen

Siehe nächste Seite

**Volumenströme**

	Haus A	Haus B	Haus C	Gesamt
Anzahl Haushalte	72	84	60	216
Anzahl Personen [E]	277	142	208	627
Urin [l/E*d]	1,5	1,5	1,5	1,5
Fäkalien [l/E*d]	0,14	0,14	0,14	0,14
Spülwasser [l/E*d]	26	26	26	26
Schwarzwasser [m³/d]	7,656	3,925	5,749	17,330
Grauwasser [l/E*d]	115	115	115	115
Grauwasser [m³/d]	31,855	16,33	23,92	72,105
Abwasseranfall [m³/d]	39,511	20,255	29,669	89,435
Betriebswasserbedarf [l/E*d]	52	52	52	52
Betriebswasserbedarf [m³/d]	14,404	7,384	10,816	32,604
Ableitung [l/E*d]	90,64	90,64	90,64	90,64
Ableitung [m³/d]	25,107	12,871	18,853	56,831

Tabelle 6: Variante C1 Volumenströme

**Zusätzlicher technischer Aufwand**

In das Betriebsgebäude muss der Membranbioreaktor eingebaut werden. Außerdem muss die Entsorgung und/oder Verwertung des Überschussschlammes organisiert werden.

**Notwendige Kooperation der Bewohner**

Für den Einsatz der Membranbelebungsanlage ist keine besondere Kooperation der Bewohner notwendig. Lediglich auf die Verwendung von phosphatfreien Wasch- und Spülmitteln ist zu achten.

**Einsparpotentiale und Erfüllung der qualitativen Ziele***Trinkwasserersparnis und Reduktion der Abwasserableitung*

In der Variante C1 wird durch das Wasserrecycling täglich eine Trinkwassermenge von 32,604m³ gespart. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von 11.900,46m³. Gegenüber der konventionellen Sanierung können knapp 37% an Trinkwasser eingespart werden. Die Abwasserableitung reduziert sich auf null. Zwar wird noch über die Kanalisation Wasser vom Grundstück abgeleitet, hierbei handelt es sich aber um qualitativ hochwertiges Betriebswasser und nicht um Abwasser.

*Flächenbedarf*

Der Flächenbedarf beträgt für die biologische Stufe und die Vorklärung 23,62m² im Betriebsgebäude.

Das Membranmodul wird in die biologische Stufe eingebaut.<sup>44</sup>

*Nährstoffgewinnung*

Bei der Membranbelebung findet keine Nährstoffgewinnung statt.

Eventuell lässt sich der entstehende Überschussschlamm als Dünger oder Bodenverbesserer nutzen. Hierfür wäre aber vorher eine Untersuchung des Schlammes notwendig.

*Energieverbrauch*

Die Energiebilanz fällt wie in den anderen Varianten negativ aus. Der jährliche Mehrbedarf an Strom beträgt 17.055,86kWh.

<sup>44</sup> Email von Weise, am 13.4.04

*Kosten*

Die Investitionskosten für den Einsatz der Membranbelebungsanlage sind mit 285.991 € sehr gering. Eine Amortisation würde jedoch trotzdem mehr als 23 Jahre brauchen.

## **4.8 Vergleichende Bewertung der Varianten**

### **4.8.1 Wasserverbrauch**

Wie dem Diagramm auf der nächsten Seite zu entnehmen ist, ist der Gesamtwasserverbrauch beim Braun- und Schwarzwasserkreislauf (A2, B2) am geringsten. Dies ist auf die Kreislaufführung des Toilettenspülwassers zurückzuführen.

Die notwendige Zufuhr von 89 l/E\*d an Trinkwasser ist für alle Varianten, außer der Urinseparation in Variante A1, gleich. Da in Variante A1 kein Grauwasserrecycling stattfindet, muss auch das Toilettenspülwasser und das Wasser für Hausreinigung und Wäsche durch Trinkwasser abgedeckt werden.

Unterschiede zwischen den anderen Varianten gibt es nur hinsichtlich des Betriebswasserbedarfes. Dieser liegt mit 26 bzw. 27 l/E\*d bei den Kreisläufen am niedrigsten. Relativ gering ist er auch bei den Vakuumtoiletten in Variante A3 und B1 mit 32 l/E\*d. Der hohe Betriebswasserbedarf in Variante C1 erklärt sich durch den Einsatz von Standardspartoiletten, die allein 26 l/E\*d verbrauchen. Die Möglichkeit des Betriebswasserrecycling sollte nicht dazu führen, mit diesem Wasser verschwenderisch umzugehen, da auch für die Bereitstellung von Betriebswasser Energie verbraucht wird. So wäre bei Variante C1 der Einsatz von Vakuum- oder Trenntoiletten zu überlegen, auch wenn sich hierdurch die Investitionskosten erheblich erhöhen.

Zusammenfassend ist der Wasserverbrauch in den Varianten A2 bis B2 als gleichwertig zu sehen.

Variante C1 ist hinsichtlich der Schonung von Trinkwasserressourcen diesen Varianten gleichzustellen. Der Gesamtwasserverbrauch dieser Variante wäre eventuell zu optimieren. Der Gesamtwasserverbrauch in Variante A1 ist genauso hoch wie in Variante A3 und B1, jedoch schlechter zu bewerten, da der Bedarf ausschließlich mit Trinkwasser gedeckt werden muss. Auf den Wasserverbrauch bezogen schneidet die Variante A1 als schlechteste ab.

### Wasserverbrauch

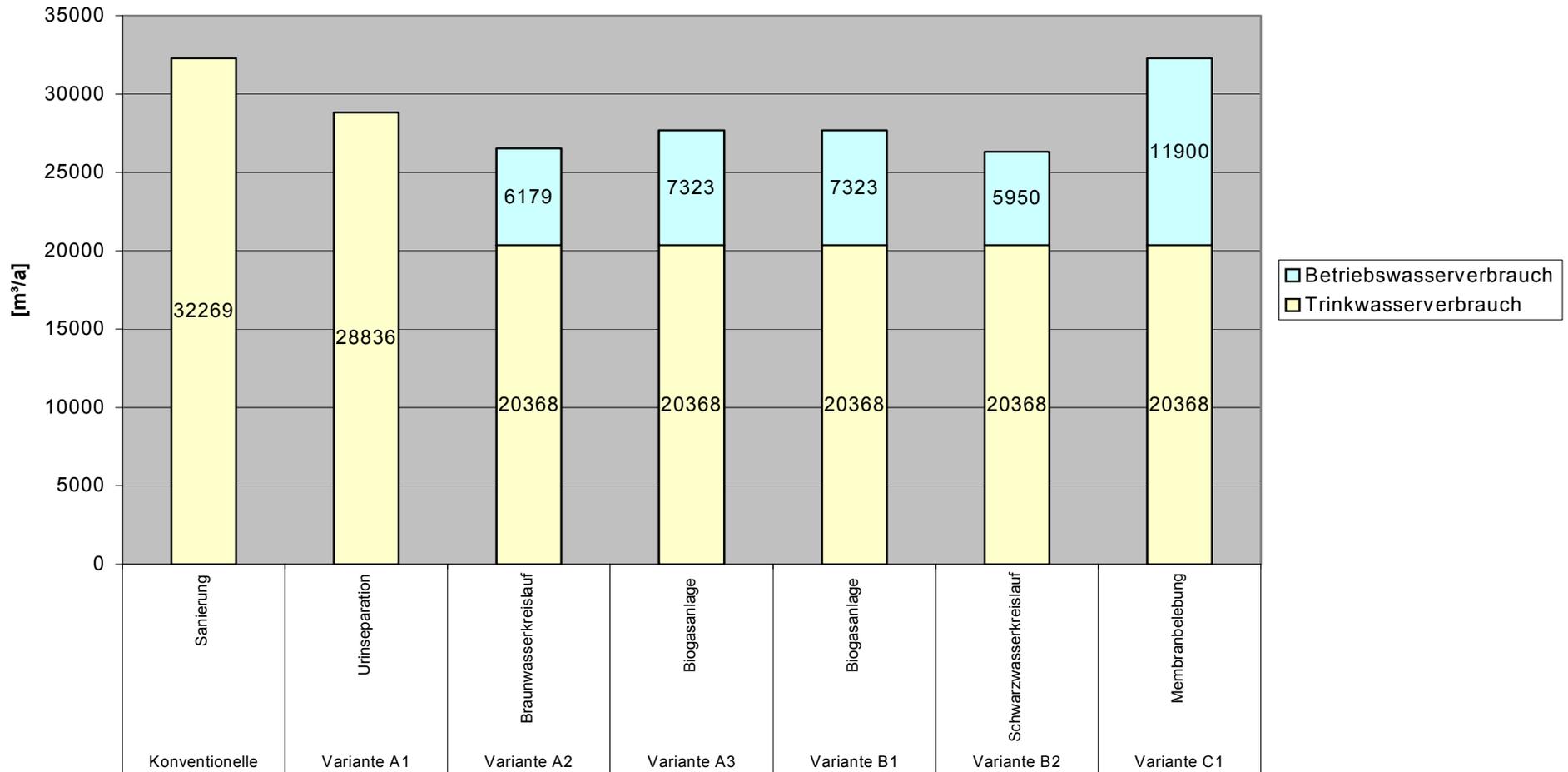


Diagramm 1: Wasserverbrauch

#### **4.8.2 Flächenverbrauch**

Ein Diagramm zum Flächenverbrauch der einzelnen Varianten findet sich auf der folgenden Seite.

Der geringste Flächenbedarf ergibt sich bei der Variante A1, in dieser Variante wird jedoch auch nur ein Teilstrom separat behandelt, so dass außer dem Urintank keine weiteren Anlagen notwendig sind.

Insofern weist hinsichtlich der untereinander vergleichbaren Varianten von A2 bis C1 die Membranbelebungs (Variante C1) den geringsten Flächenbedarf auf.

Die Varianten mit den Biogasanlagen haben aufgrund des großen Fermenters und des Speichers für den Gärrückstand den größten absoluten Flächenbedarf. Jedoch können diese Anlagen auch unterirdisch eingebaut werden. Hinsichtlich des Flächenbedarfs im Betriebsgebäude unterscheiden sich die Varianten A2 bis B2 kaum.

#### **4.8.3 Nährstoffgewinnung**

Die höchsten Nährstoffgewinne ergeben sich beim Schwarzwasserkreislauf (Variante B2). Es werden pro Jahr 2288,55 kg Stickstoff in Form von ausgefälltem

Magnesiumammoniumphosphat gewonnen. Zusätzlich werden im Jahr 6865,65 kg Blumenerde gewonnen. Der große Vorteil dieser Art der Nährstoffgewinnung ist, dass die Volumina sehr klein sind und wenig Transportaufwand verursachen. Werden die LKW jeweils mit 10 Tonnen beladen, so sind im Jahr nur 2,06 LKW Fahrten erforderlich.

Hinsichtlich der Nährstoffgewinnung ist der Schwarzwasserkreislauf als optimal anzusehen.

In der Variante B1 mit der Biogasanlage entstehen 1311,263 m<sup>3</sup> Dünger aus dem Gärrückstand. Dies ergibt einen Gesamtertrag von 2025,38 kg Stickstoff und 326,12 kg Phosphor. Für den Transport sind im Jahr 131,13 Fahrten notwendig. Die Nährstoffgewinne sind zwar nur unwesentlich geringer als beim Schwarzwasserkreislauf, jedoch sind die Volumina sehr groß. Bei flächendeckendem Einsatz würde sich bei dieser Variante ein nicht unerhebliches Schwerlastverkehrsaufkommen ergeben.

Ähnliches gilt für die Variante A3; die Nährstoffgewinne liegen bei 1612,31 kg Stickstoff und 258,39 kg Phosphor, der Transportaufwand liegt bei 119,31 Fahrten im Jahr. Von dem gesamt anfallenden Stickstoff befinden sich jedoch allein 1105,97 kg, das sind mehr als 68%, in nur 139,2 m<sup>3</sup> Urin, hierfür sind lediglich 13,92 Fahrten im Jahr nötig.

In den Varianten A1 und A2 fallen 1105,97 kg Stickstoff und 95,33 kg Phosphat aus der Urinseparation an. Für den Transport sind 13,92 Fahrten im Jahr erforderlich. Zusätzlich entstehen beim Braunwasserkreislauf in Variante A2 wertvolle 6865,65 kg Blumenerde. Bei der Membranbelebungs findet keinerlei Nährstoffgewinnung statt.

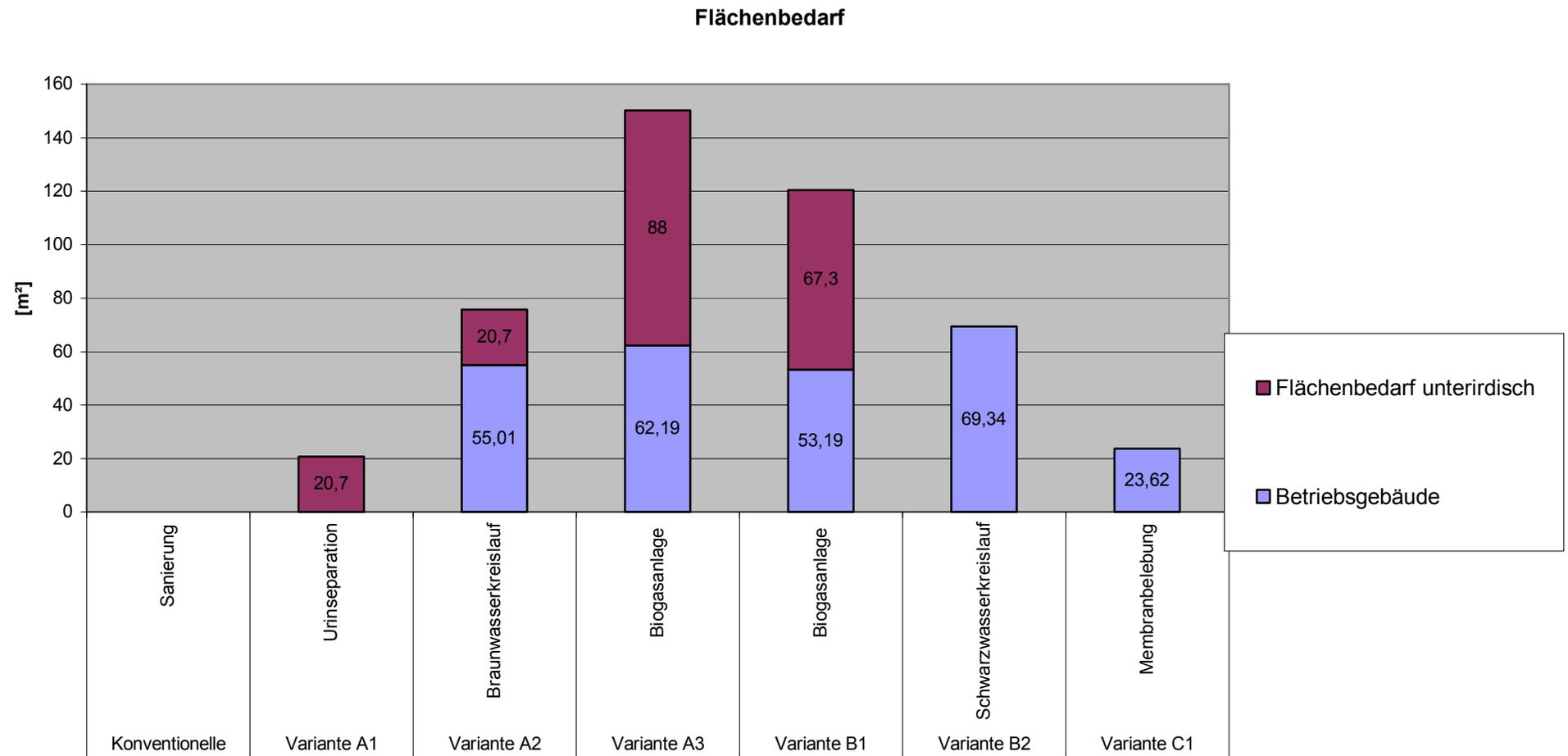


Diagramm 2; Flächenbedarf

#### 4.8.4 Energieverbrauch

Die Diagramme und Tabellen der drei folgenden Seiten stellen den Energiebedarf der Varianten, die entsprechenden Energiegutschriften und die Energiebilanz dar.

Leider war es während des Aufenthaltes in Seoul nicht möglich, Zahlen über den Energieverbrauch für die konventionelle Abwasserreinigung im Klärwerk und für die Trinkwasserversorgung zu bekommen. Aus diesem Grunde wurde mit Durchschnittswerten aus Deutschland gerechnet.

Der Gesamtenergieverbrauch ist für die Urinseparation am geringsten. Die Varianten A2, A3, B1 und C1 sind hinsichtlich des Energieverbrauchs als gleichwertig zu betrachten, es ergeben sich nur geringe Unterschiede. Der Gesamtenergiebedarf für den Schwarzwasserkreislauf sticht jedoch als extrem hoch hervor. Dies ist auf den hohen Energieverbrauch für die Behandlung des Schwarzwassers von  $5,5 \text{ kWh/m}^3$  Abwasser und den hohen Volumenstrom von  $17,33 \text{ m}^3/\text{d}$  durch den Einsatz von Standardspartoiletten zurückzuführen.

Bei den Energiebilanzen wurde der Energieverbrauch für den Transport des Düngers nicht berücksichtigt, weil davon ausgegangen wurde, dass auch bei konventioneller, industrieller Herstellung der Dünger zum Verwendungsort transportiert werden muss. Hierdurch ergibt sich allerdings eine Schieflage im Vergleich der einzelnen Varianten hinsichtlich des Schwarzwasserkreislaufes. Beim Schwarzwasserkreislauf fällt der Dünger in hoch konzentrierter Form an, so dass für die Variante nur 2 LKW-Fahrten anfallen (im Vergleich zu 119 /131 Fahrten bei den Varianten A3/B1 oder 14 Fahrten bei den Varianten A1 und A2). Durch die genaue Berücksichtigung des Energieverbrauches für den Transport würde sich also die Variante B2 wesentlich verbessern.

Die Energiebilanzen sind nur für die Urinseparation (A1) und die Biogasanlage mit nur 1 Vakuumstation (B1) positiv, alle anderen Varianten weisen gegenüber dem konventionellen System einen erhöhten Energiebedarf auf.

Bei den meisten Varianten ist die negative Bilanz auf den hohen Gesamtenergieverbrauch des Tauchtropfkörpers zurückzuführen. Dieser setzt sich zusammen aus dem großen Volumenstrom von  $26.318,33 \text{ m}^3/\text{a}$  Grauwasser und einem Energieverbrauch von  $2 \text{ kWh/m}^3$ . Hierin sind die Grauwasserreinigung und die Druckerhöhung für die Betriebswasserversorgung enthalten. Für die konventionelle Trinkwasserversorgung und die Abwasserreinigung wird aber zusammen nur ein Wert von  $1,384 \text{ kWh/m}^3$  angesetzt. Das bedeutet, dass der Einsatz des Tauchtropfkörpers hinsichtlich der Energiebilanz nur Sinn macht, wenn die Trinkwassergewinnung und/oder die Abwasserreinigung mehr Energie verbraucht, wie z.B. bei der Meerwasserentsalzung zur Trinkwassergewinnung oder wenn der niedrigere Energiebedarf des konventionellen Systems durch die höheren Mengen ausgeglichen werden. So ist ja die liefernde Menge Trinkwasser aufgrund der undichten Leitungen um 18% höher als beim Betriebswasserrecycling und auch die anfallende Menge Abwasser im Klärwerk ist durch Niederschlag und Fremdwasser wesentlich höher als die auf dem Grundstück anfallenden Grau- und Schwarz- bzw. Braunwassermengen. Normalerweise werden Grauwasserrecyclinganlagen für den Betriebswasserbedarf ausgelegt und das überschüssige Grauwasser wird in die Kanalisation abgeleitet.

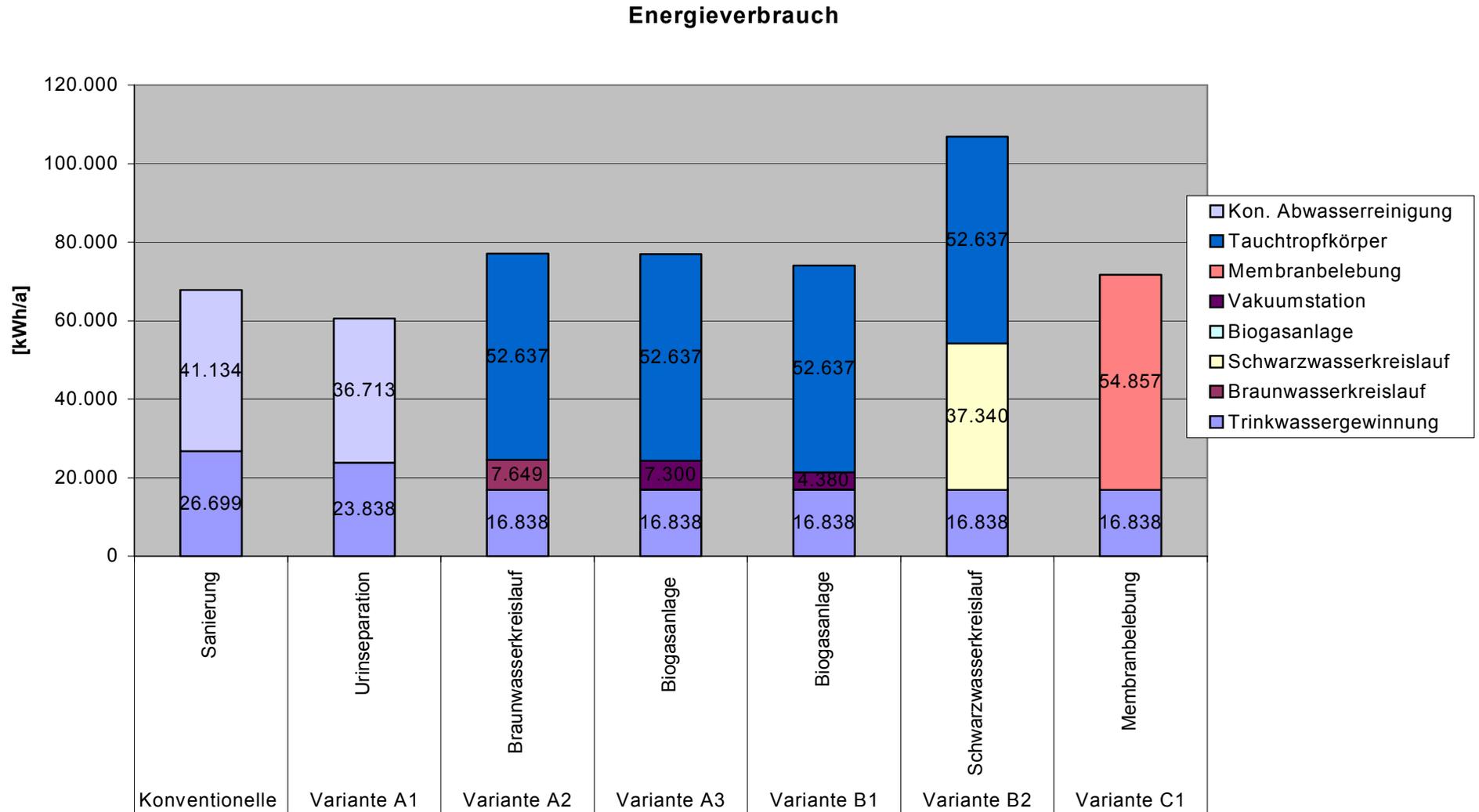
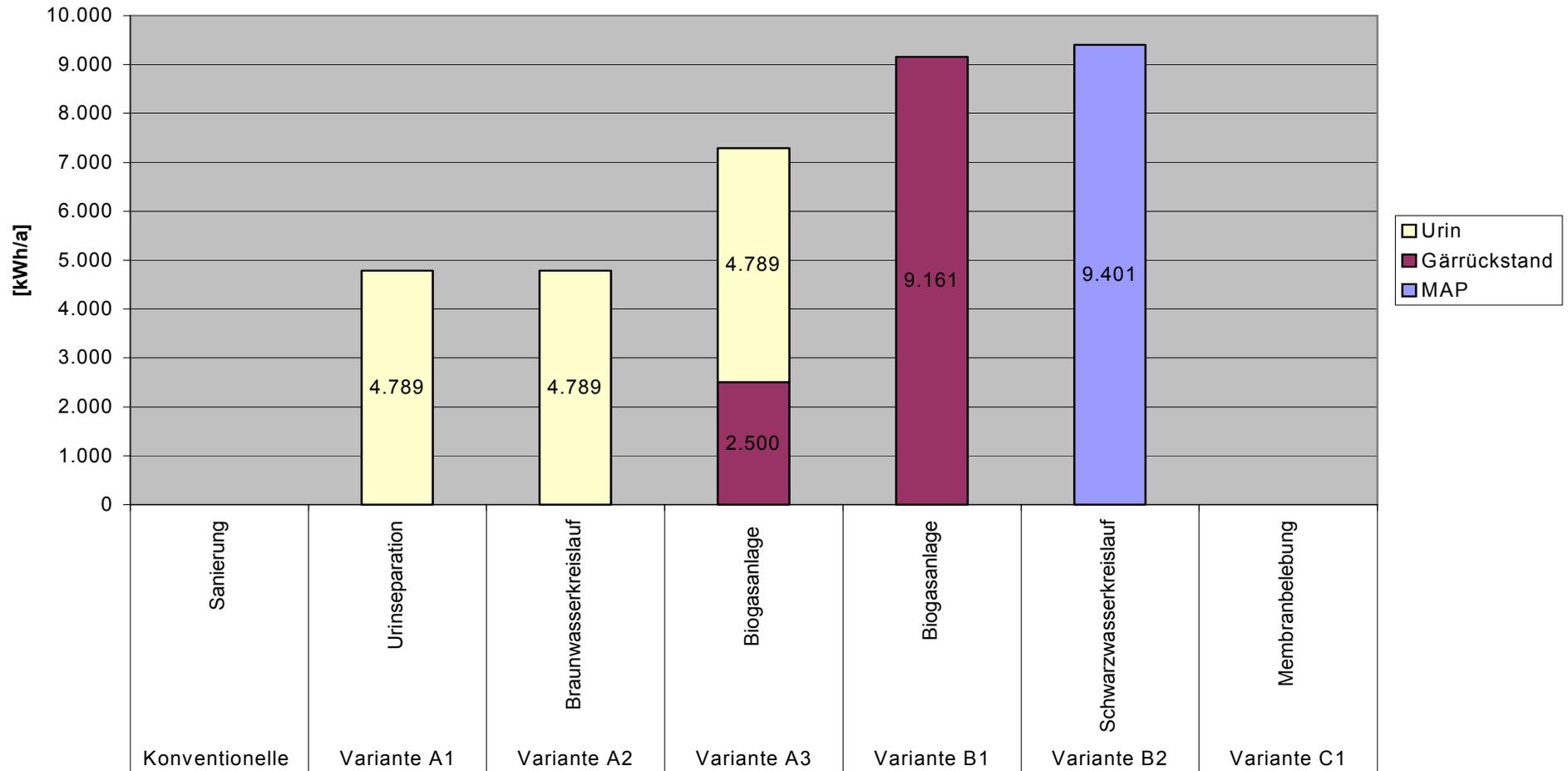


Diagramm 3: Energieverbrauch

**Energiegutschriften aus Düngerertrag**



**Diagramm 4: Energiegutschriften aus Düngerertrag**

**Energiebilanz Berechnung 1**

	Variante A1 Urinseparation [kWh/a]	Variante A2 Braunwasserkreislauf [kWh/a]	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf [kWh/a]	Variante C1 Membranbelebung [kWh/a]
Trinkwassergewinnung	23.838,50	16.838,31	16.838,31	16.838,31	16.838,31	16.838,31
Braunwasserkreislauf		7648,58				
Schwarzwasserkreislauf					37.339,50	
Biogasanlage			134,06	165,22		
Vakuumsammlung			7300	4380		
Membranbelebung						54.856,55
Tauchtropfkörper		52.636,66	52.636,66	52.636,66	52.636,66	
Abwasserreinigung	36.498,17					
Energiegutschriften aus Dünger	-4788,91	-4788,91	-2.500,47 -4788,91	-9.160,83	-9400,77	
konventionelles System						
Trinkwassergewinnung	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41
Abwasserreinigung	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60
<b>Summe</b>	<b>-12.262,25</b>	<b>4.524,63</b>	<b>1.809,64</b>	<b>-2.950,65</b>	<b>29.603,69</b>	<b>3.884,85</b>

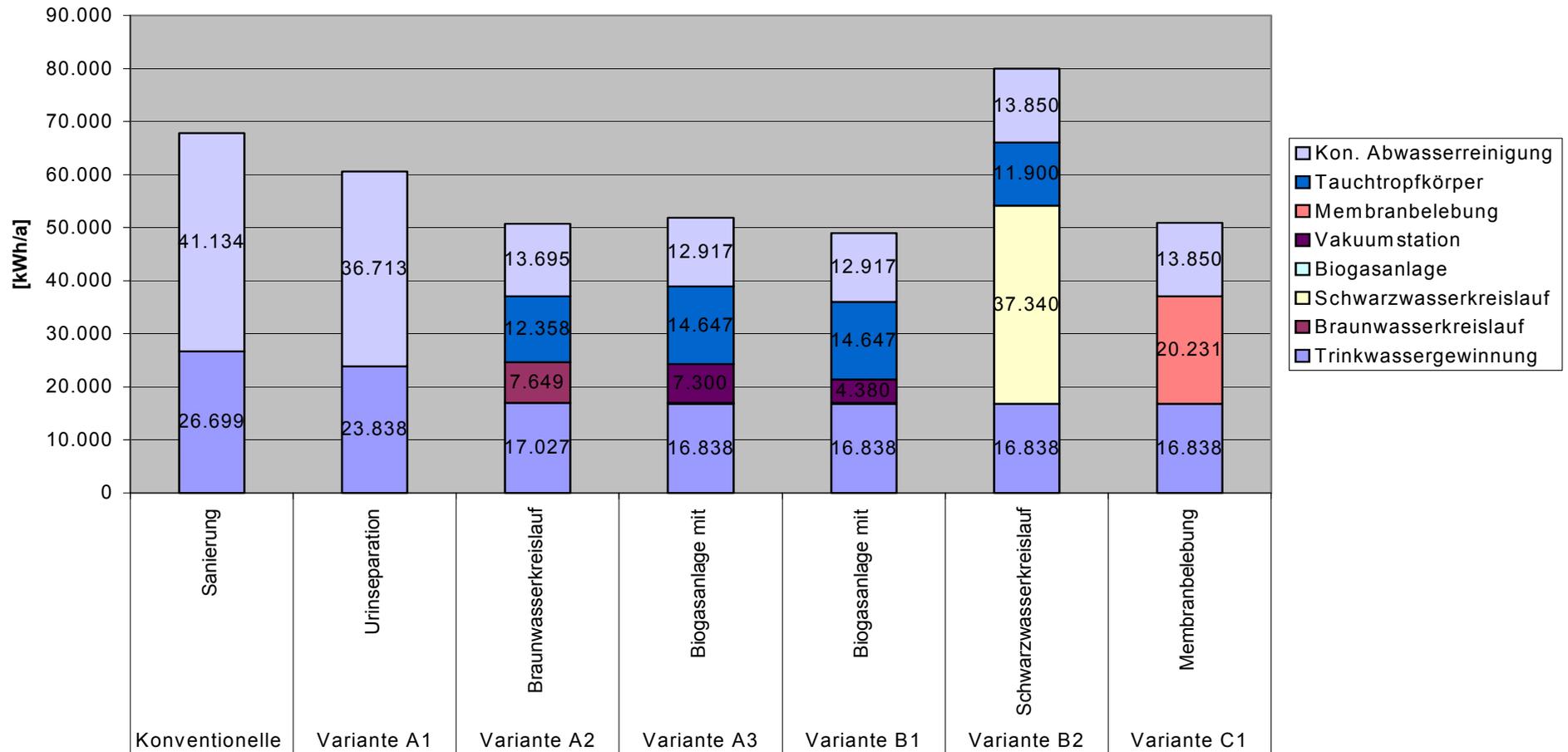
Tabelle 7: Energiebilanz

Bei den hier entwickelten Varianten sollte jedoch eine dezentrale Lösung gefunden werden, bei der kein Anschluss an eine Kläranlage nötig ist. Das gereinigte Grauwasser sollte ohne weitere Behandlung in den nächsten Vorfluter geleitet werden. Dies bedeutet aber auch, dass mit hohem Energieaufwand Grauwasser zu qualitativ hochwertigem Betriebswasser aufbereitet wird, um es dann in ein Gewässer zu leiten. Hier stellt sich die Frage, ob dies notwendig ist, bzw. ob für das nicht als Betriebswasser weiter zu verwendende Grauwasser eine andere Art der Behandlung möglich wäre. Die Behandlung mit Pflanzenbeeten würde sich für die Verringerung des Energiebedarfes anbieten, ist aber leider aufgrund des geringen Flächenangebots nicht möglich.

Zum Vergleich erfolgt auf den nächsten Seiten eine Berechnung der Energiebilanzen für den Fall, dass nur das benötigte Betriebswasser recycelt wird. Das überschüssige Grauwasser wird zur Kläranlage geleitet und dort gereinigt.

Es zeigt sich, dass bei Auslegung des Tauchtropfkörpers auf den Betriebswasserbedarf sich für alle Varianten, außer für den Schwarzwasserkreislauf, eine positive Energiebilanz ergibt. Dies bedeutet allerdings, dass bei flächendeckendem Einsatz eine zentrale Kläranlage als Grauwasserkläranlage erhalten bleiben muss.

**Energiebedarf bei Auslegung der Anlagen auf Betriebswasserbedarf**



**Diagramm 5: Energieverbrauch bei Auslegung der Anlagen auf den Betriebswasserverbrauch**

**Energiebilanz: Auslegung des Tauchtropfkörpers/ der Membranbelebung für Betriebswasserbedarf**

	Variante A1 Urinseparation [kWh/a]	Variante A2 Braunwasserkreislauf [kWh/a]	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf [kWh/a]	Variante C1 Membranbelebung [kWh/a]
Trinkwassergewinnung	23.838,50	17.027,50	16.838,31	16.838,31	16.838,31	16.838,31
Braunwasserkreislauf		7648,58				
Schwarzwasserkreislauf					37.339,50	
Biogasanlage			134,06	165,22		
Vakuumsammlung			7300	4380		
Membranbelebung						20.230,78
Tauchtropfkörper		12.358,18	14.646,72	14.646,72	11.900,46	
Abwasserreinigung	36.498,17					
Energiegutschriften aus Dünger	-4788,91	-4788,91	-2.500,47 -4788,91	-9.160,83	-9400,77	
Grauwasserreinigung konventionelles System		13694,68	12916,58	12916,58	13850,31	13850,308
Trinkwassergewinnung	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41
Abwasserreinigung	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60
<b>Summe</b>	<b>-12.262,25</b>	<b>-21.869,98</b>	<b>-23.263,72</b>	<b>-28.024,01</b>	<b>2.717,80</b>	<b>-16.890,61</b>

Tabelle 8: Energiebilanz bei Auslegung der Anlagen auf den Betriebswasserverbrauch

#### 4.8.5 Kosten

Die Investitionskosten für die einzelnen Varianten schwanken zwischen 285.991 und 933.277. Die Membrananlage weist die niedrigsten Investitionskosten auf, bei gleichzeitig im Mittelfeld liegenden Betriebskosten.

Die Kostenunterschiede zwischen den Varianten A2, A3, B1 und B2 lassen sich hauptsächlich auf die jeweiligen eingesetzten Toilettentypen zurückführen. Variante A3 ist die teuerste aufgrund der hier eingebauten Vakuumtrenntoiletten mit den zugehörigen Vakuumstationen, Variante B2 die billigste wegen der Verwendung der Standardspartoilette. Hinzu kommt, dass die Kreislaufanlagen in der Investition günstiger sind als die Biogasanlagen.

Hinsichtlich der Betriebskosten unterscheiden sich die Varianten A3 bis C1 kaum, nur der Brauwasserkreislauf ist im Betrieb wesentlich günstiger und bei der Urinseparation fallen überhaupt keine Betriebskosten an.

Auf den folgenden Seiten sind die Investitionskosten und die Betriebskosten in Diagrammen dargestellt. Bei den Investitionskosten ist zudem aufgeführt, wie hoch die einzelnen Belastungen für einen Haushalt sind.

Der Tabelle auf der Seite 70 ist zu entnehmen, dass die jährlichen Kostenersparnisse für die Varianten A2, A3, B1, B2 und C1 nur etwa 2.000-6000€ höher sind als die jährlichen Betriebskosten. Bei Investitionskosten bzw. einem finanziellem Mehraufwand von mehreren hunderttausend Euro ist somit keine Amortisation abzusehen. Dieses schlechte Ergebnis der ökologischen Sanitärsysteme im Vergleich zum konventionellen System ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen:

- sehr niedrige Wasserpreise in Korea
- Preise für die Toiletten

Diese Punkte sollen im Folgenden erläutert werden. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Leistungsverzeichnisse mit Preisansätzen aus Deutschland berechnet wurden.

##### *Wasserpreise in Korea*

Durch den Wasserpreis von umgerechnet 0,60 €/m<sup>3</sup>, den die Verbraucher in Korea zahlen, werden die Kosten für die Trinkwassergewinnung nur zu 70% gedeckt.<sup>45</sup>

Dies bedeutet, dass in der Wasserversorgung und auch in der Abwasserentsorgung eine massive Subventionierung stattfindet.

Ähnlich wie also die öffentliche Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung subventioniert werden, müsste subventioniert werden, wenn Bewohner die Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung auf dem Grundstück selbst übernehmen. Im Rahmen der Beschreibung der Entwicklung der Siedlungswasserwirtschaft unter 2.2.2 wurde bereits geschrieben, dass eine Privatisierung der Wasserver- und Entsorgung geplant wird. Unter diesen Umständen würden sich die Wasserpreise vermutlich drastisch erhöhen.

##### *Toilettenpreise*

Bei den Varianten, bei denen Spezialtoiletten eingesetzt wurden, machen diese einen großen Teil der Gesamtinvestitionskosten aus. Die Spezialtoiletten sind fast doppelt so teuer wie normale Standardtoiletten.

Die Tatsache, dass keine Amortisation der Kosten für die Eigentümer stattfindet, heißt aber auch noch nicht, dass die einzelnen Varianten unwirtschaftlich sind, sie sind es lediglich aus privatwirtschaftlicher Sicht. Eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von ökologischen Sanitärsystemen sollte jedoch nach volkswirtschaftlichen Kriterien erfolgen, handelt es sich doch um eine Infrastruktur, die der Staat zur Verfügung stellen sollte. In diese Berechnungen

<sup>45</sup> Ministry of Environment (2001), S. 35

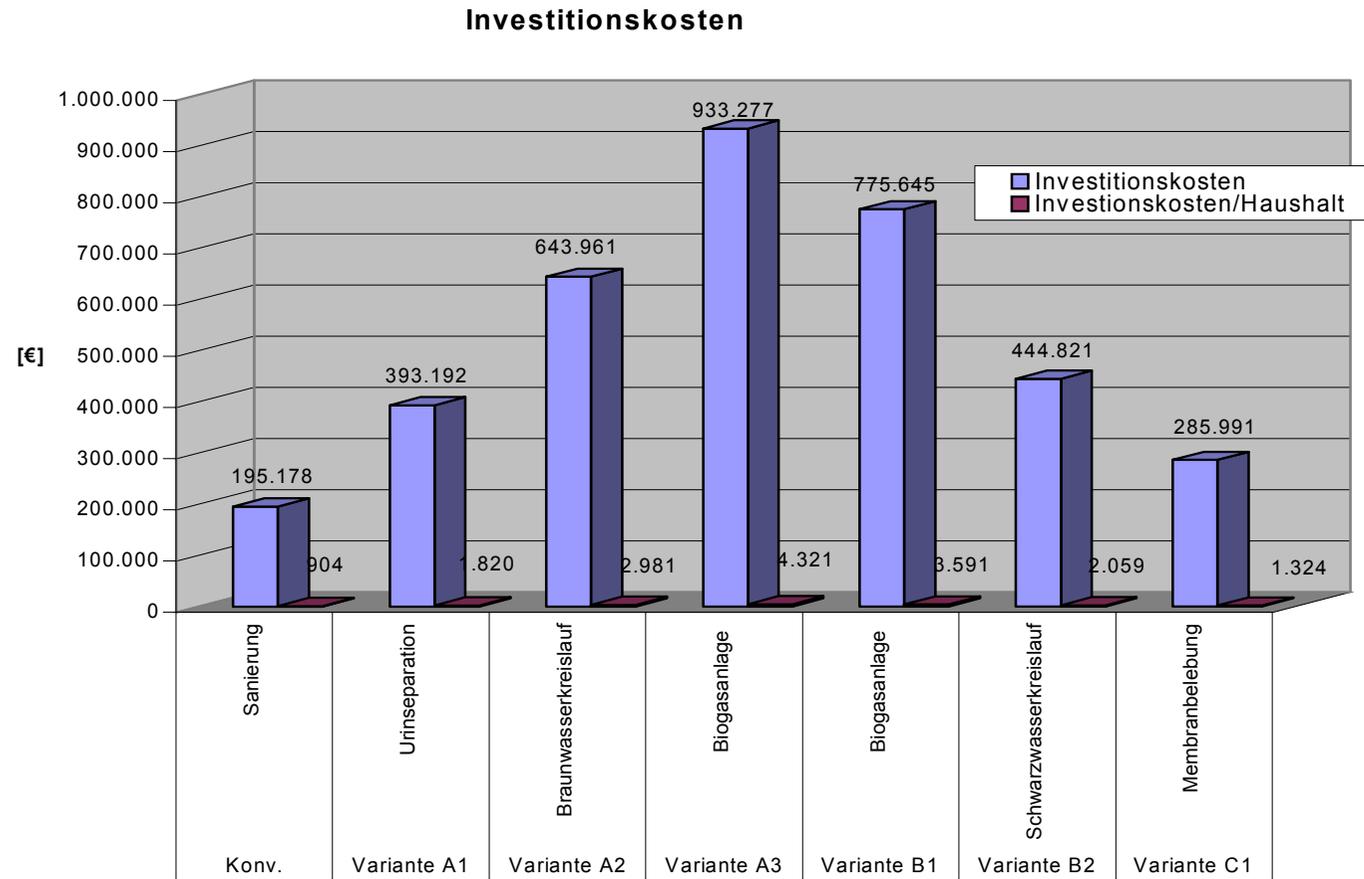


Diagramm 6: Investitionskosten

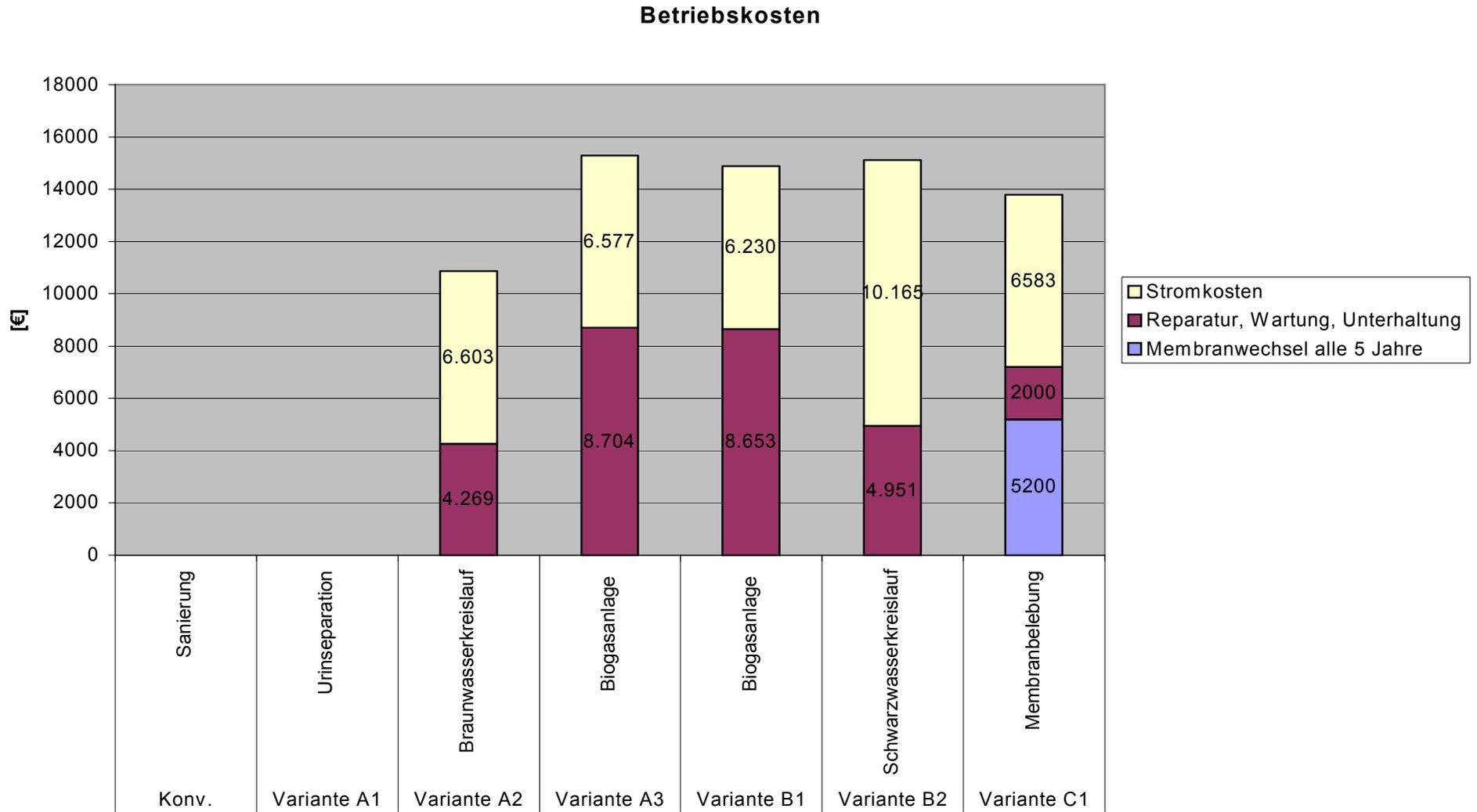


Diagramm 7: Betriebskosten

## Amortisation Berechnung 1

	Konventionelle Sanierung	Variante A1 Urinseparation	Variante A2 Braunwasserkreislauf	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf	Variante C1 Membranbelebung
<b>Investitionskosten [€]</b>	<b>195.178,20</b>	<b>393.192,09</b>	<b>643.961,01</b>	<b>933.277,30</b>	<b>775.644,92</b>	<b>444.821,46</b>	<b>285.991,26</b>
Braun/Schwarzwasserkreislauf			33.126,08			67.247,49	
Biogasanlage				173.910,75	207.355,13		
Vakuumsstation				81.000,00	45.000,00		
Membranbiologie							100.000,00
Tauchtropfkörper			180.299,55	180.299,55	180.299,55	180.299,55	
<b>Summe</b>			<b>213.425,63</b>	<b>435.210,30</b>	<b>432.654,68</b>	<b>247.547,04</b>	<b>100.000,00</b>
davon 2 %			4.268,51	8.704,21	8.653,09	4.950,94	2000
Membranwechsel alle 5 a jährliche Kosten							5200
Reparatur, Wartung, Unterhaltung [€/a]			4.268,51	8.704,21	8.653,09	4.950,94	2000
Stromkosten [€/a]			6602,59	6576,85	6230,19	10165,50	6582,79
Betriebskosten [€/a]			<b>10871,10</b>	<b>15281,05</b>	<b>14883,28</b>	<b>15116,44</b>	<b>13782,79</b>
Kostensparnis gegenüber konventioneller Sanierung in [€/a]		<b>3192,47</b>	<b>16933,41</b>	<b>16933,41</b>	<b>16933,41</b>	<b>16933,41</b>	<b>16933,41</b>
<b>jährliche Einsparung in [€/a]</b>		<b>3192,47</b>	<b>6062,31</b>	<b>1652,36</b>	<b>2050,13</b>	<b>1816,97</b>	<b>3150,62</b>
finanzieller Mehraufwand gegenüber kon. Sanierung in [€]		<b>198013,89</b>	<b>448782,81</b>	<b>738099,10</b>	<b>580466,72</b>	<b>249643,26</b>	<b>90813,06</b>

Tabelle 9: Berechnung der Amortisation mit Wasserpreisen aus Seoul

sollten die Einsparungen durch den Rückbau von Kläranlagen und Kanal, die reduzierten oder völlig obsolet werdenden Betriebskosten der Kläranlage, die Kosten für die Unterhaltung des Kanals, aber auch die positiven Auswirkungen auf den Grund- und Oberflächengewässerschutz einfließen. Diese monetär zu bewerten ist jedoch relativ kompliziert und erfordert genauere Untersuchungen über die tatsächlich zu erwartenden Auswirkungen. Im Rahmen dieser Arbeit konnten solche Berechnungen nicht erfolgen.

Da die Berechnungen der Leistungsverzeichnisse mit deutschen Preisen erfolgten, wurde auf den nächsten Seiten eine Vergleichsrechnung mit den Wasserpreisen aus Hamburg erstellt. Die jährlichen Einsparungen liegen bei den Varianten A2 bis C1 mit Werten zwischen 85.482 und 89.739 € relativ gleich. Die Einsparungen bei der Urinseparation (A1) sind mit 14.514 € vergleichsweise gering, dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass für den separierten Urin weder Gewinne noch Verluste angerechnet wurden, Bei dieser Variante ist auch die längste Amortisationszeit mit 13 Jahren gegeben. Bei der Variante C1 hingegen haben sich die Kosten schon nach nicht einmal 2 Jahren amortisiert. Auch für die anderen Varianten gibt es akzeptable Amortisationszeiten von 3 bis 9 Jahren.

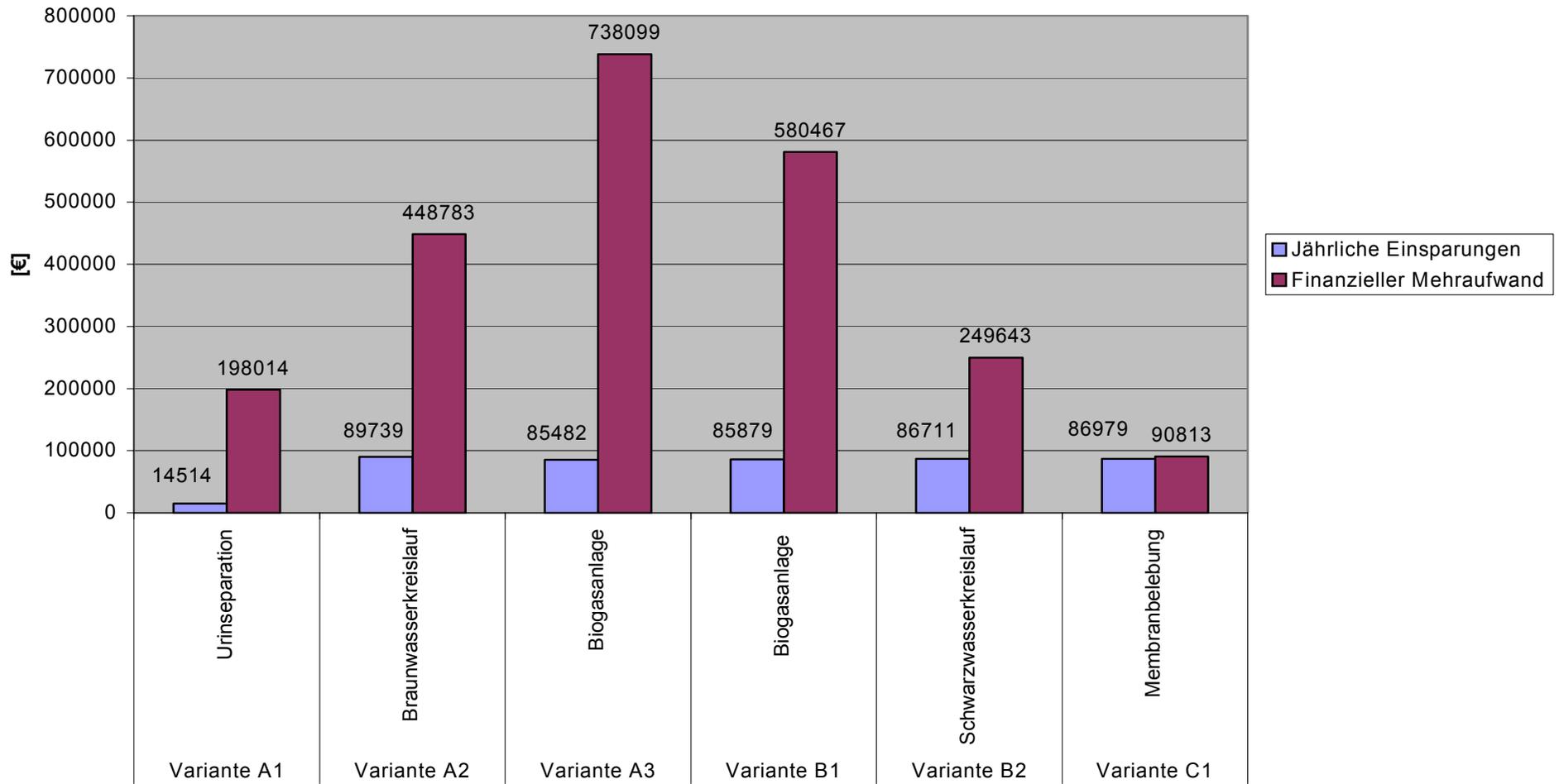
## Amortisation Berechnung 2

	Konventionelle Sanierung	Variante A1 Urinseparation	Variante A2 Braunwasser- kreislauf	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B2 Schwarzwasser- kreislauf	Variante C1 Membranbelebung
<b>Investitionskosten [€]</b>	<b>195.178,20</b>	<b>393.192,09</b>	<b>643.961,01</b>	<b>933.277,30</b>	<b>775.644,92</b>	<b>444.821,46</b>	<b>285.991,26</b>
Braun/Schwarzwasserkreislauf			33.126,08			67.247,49	
Biogasanlage				173.910,75	207.355,13		
Vakuumsstation				81.000,00	45.000,00		
Membranbiologie							100.000,00
Tauchtropfkörper			180.299,55	180.299,55	180.299,55	180.299,55	
<b>Summe</b>			<b>213.425,63</b>	<b>435.210,30</b>	<b>432.654,68</b>	<b>247.547,04</b>	<b>100.000</b>
davon 2 %			4.268,51	8.704,21	8.653,09	4.950,94	2000
Membranwechsel alle 5 a jährliche Kosten							5200
Reparatur, Wartung, Unterhaltung [€/a]			4.268,51	8.704,21	8.653,09	4.950,94	2000
Stromkosten [€/a]			6755,56	6576,85	6230,19	9100,50	6582,79
Betriebskosten [€/a]			<b>11024,07</b>	<b>15281,05</b>	<b>14883,28</b>	<b>14051,44</b>	<b>13782,79</b>
Kostensparnis gegenüber konventioneller Sanierung in [€/a]		<b>14513,51</b>	<b>100762,58</b>	<b>100762,58</b>	<b>100762,58</b>	<b>100762,58</b>	<b>100762,58</b>
jährliche Einsparung in [€/a]		<b>14513,51</b>	<b>89738,51</b>	<b>85481,53</b>	<b>85879,30</b>	<b>86711,14</b>	<b>86979,79</b>
finanzieller Mehraufwand gegenüber kon. Sanierung in [€]		<b>198013,89</b>	<b>448782,81</b>	<b>738099,10</b>	<b>580466,72</b>	<b>249643,26</b>	<b>90813,06</b>

Berechnung mit Wasserpreisen aus Deutschland, Hamburg  
Wassergebühren 1,39€, Abwassergebühren 2,58€

**Tabelle 10: Berechnung der Amortisation mit Wasserpreisen aus Hamburg**

**Finanzieller Mehraufwand und jährliche Einsparungen**



**Diagramm 8: Finanzieller Mehraufwand und Investitionskosten für den Einzelhaushalt**

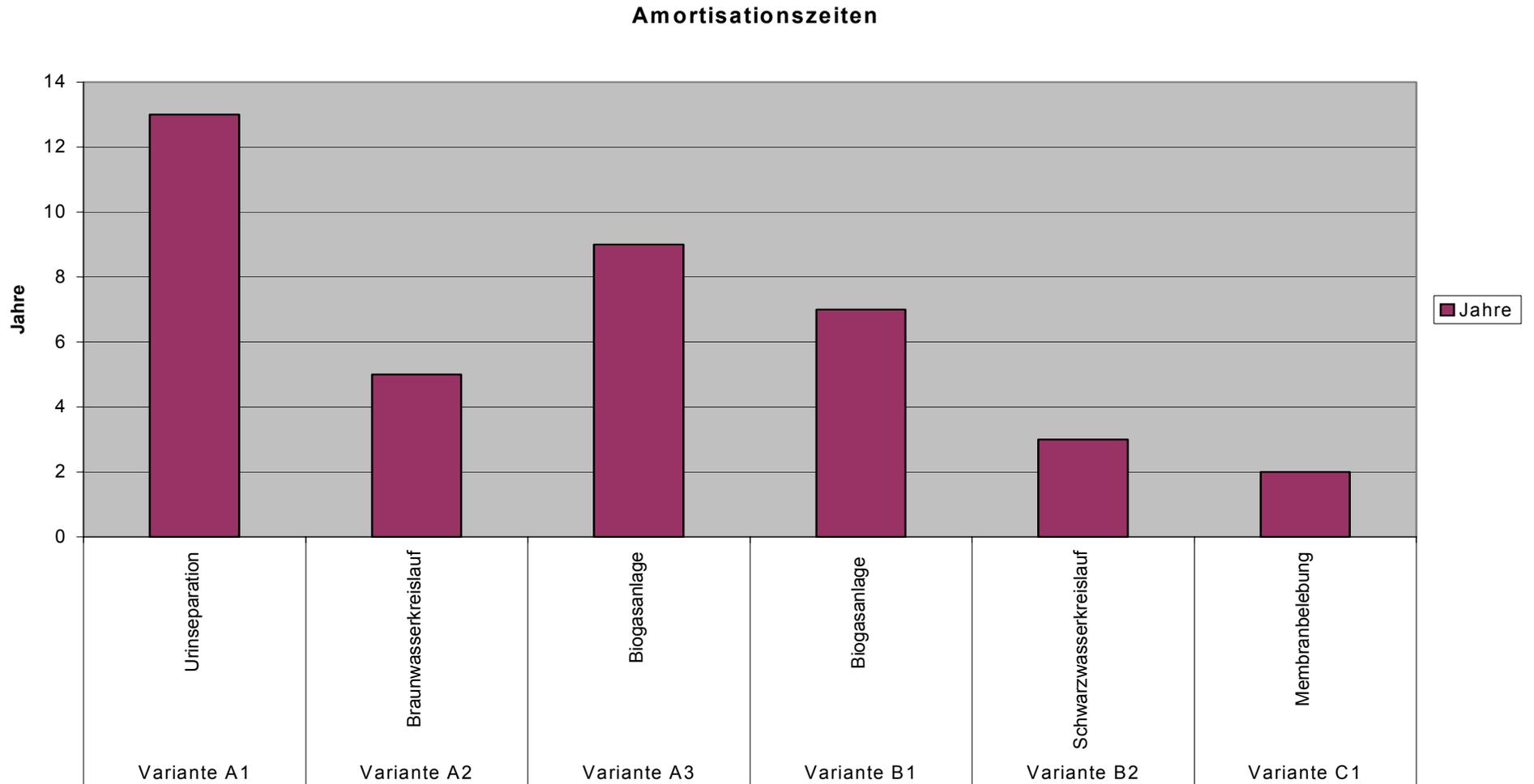


Diagramm 9: Amortisationszeiten

#### **4.8.6 Gewässerschutz**

Bei den Varianten A2 bis C1 wird kein Abwasser mehr über die Kanäle abgeleitet. Das Wasser ist bereits behandelt und von ihm geht keinerlei Risiko der Grundwasserverschmutzung aus. Auch für die Oberflächengewässer sind Verbesserungen zu erwarten, da die Ablaufwerte des Tauchtropfkörpers und der Membranbelebungsanlage vergleichbar bzw. besser sind, als die der Kläranlage. Wichtig ist, dass die Bewohner keine phosphathaltigen Wasch- und Spülmittel verwenden, dieses könnte hohe Phosphatwerte im Ablauf der Tauchtropfkörper und der Membranbelebungsanlage zur Folge haben, die zu einer Eutrophierung von Gewässern führen.

Bei der Urinseparation wird das Braun- und Grauwasser weiterhin über die Kanalisation zur Kläranlage geführt, jedoch ist die Belastung mit Phosphat und Stickstoff wesentlich geringer als bei der konventionellen Sanierung. Somit ist die Gefährdung des Grundwassers durch Sickerwasser aus dem Kanal zumindest eingedämmt.

#### **4.9 Abschließende Betrachtung**

Die Variante A1 ist vor allem aus volkswirtschaftlicher Perspektive interessant. Für die Bewohner gibt es keine direkten Vorteile, sondern nur einen finanziellen Mehraufwand, der sich allerdings mit 917 € pro Haushalt in Grenzen hält. Bei den derzeitigen Wasserpreisen ist nicht von einer Amortisation auszugehen. Umsetzbar wäre die Variante bei einer Subventionierung durch den Staat.

Gesamtwirtschaftlich gesehen bringt die Variante A1 große Vorteile: die Kläranlagen könnten optimiert werden und würden wesentlich weniger Energie verbrauchen. Durch die Düngerproduktion ergäben sich weitere Einsparungen im Energiebereich.

Bei flächendeckendem Einsatz ist mit einer wesentlichen Verbesserung der Oberflächengewässerverschmutzung zu rechnen und wertvolle Grundwasserressourcen werden geschützt.

Der Wartungsaufwand für die Separation ist gering, die Hausmeister müssen lediglich den regelmäßigen Abtransport des Urins kontrollieren. Die erforderliche Infrastruktur für den Transport ist in Seoul vorhanden. Für die Nutzer ergeben sich nur geringfügige Änderungen, die nach den Erfahrungen in Schweden gut akzeptiert werden. Das ganze System ist wenig störanfällig.

Von einer Umsetzung der Varianten A2, A3, B2 und C1 ist abzusehen, da die Energiebilanz negativ ausfällt. Ökologische Sanitärsysteme sollten keinen höheren Energiebedarf bedeuten. Sinnvoll erscheint eine Umsetzung bei der Auslegung der Tauchtropfkörper bzw. der Membranbelegung auf den Betriebswasserbedarf. Hierbei ergeben sich, außer für die Variante mit dem Schwarzwasserkreislauf, positive Energiebilanzen. Hierdurch wird allerdings die Aufrechterhaltung der kompletten Infrastruktur inklusive der Kläranlage notwendig. Diese kann zwar als Grauwasseranlage mit niedrigerem Energieaufwand betrieben werden, aber der volkswirtschaftliche Nutzen der Varianten reduziert sich stark, ebenso wie die Schonung des Grundwassers durch Sickerwasser aus dem Kanal.

Die Variante B2 mit dem Schwarzwasserkreislauf könnte durch den Einsatz von Vakuumpötoiletten oder anderen Toiletten mit 2 bzw. 4l Spülung optimiert werden, mit einem verringerten Volumenstrom des Schwarzwassers würde sich auch für diese Variante eine positive Energiebilanz ergeben. Als besonders wertvoll erweist sich diese Variante hinsichtlich der Nährstoffgewinnung.

Neben der Urinseparation ergibt sich nur für Variante B1 eine positive Energiebilanz.

Kritisch zu betrachten ist jedoch der enorme Schwerlastverkehr der sich aus dem Gärrückstand der Biogasanlage ergibt. Außerdem ergibt sich die positive Bilanz nur, wenn in der Biogasanlage der Küchenabfall mit verwertet wird, da sich hieraus der größte Biogasertrag ergibt.

Die Varianten A2 bis C1 bedeuten eine signifikante Ressourcenschonung hinsichtlich des Trinkwassers.

Unter den gegebenen Umständen ergibt sich für keine der Varianten eine Amortisation.

## 5 Fazit und Ausblick

In einem Land wie Südkorea mit Wasserknappheit sollten die Schonung der Trinkwasserressourcen und die nachhaltige Sicherstellung der Versorgung der Einwohner an erster Stelle stehen.

Bei allen untersuchten Varianten hat sich gezeigt, dass dieses Ziel durch ökologische Sanitärsysteme zu realisieren ist.

Besonders hervorzuheben ist hierbei die Bedeutung eines intelligenten Wassermanagements. Der Einsatz von Wasser unterschiedlicher Qualitäten je nach Nutzung ermöglicht die Einsparung großer Trinkwassermengen, gerade bei den hohen Leitungsverlusten in Seoul.

Vielfach wird die Auffassung vertreten, dass Wasser ausreichend teuer sein müsse, damit Wasser gespart werde. Sicherlich ist es richtig, dass eine Verhaltensänderung oft über finanziellen Druck funktioniert. Wasser ist aber auch ein Grundnahrungsmittel, welches billig und in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung stehen sollte. Auch für die Körperhygiene und zur Garantie der Gesundheit ist qualitativ hochwertiges Wasser erforderlich. Vielversprechender zur Gewährleistung der Wasserversorgung bei gleichzeitiger Schonung der Ressourcen ist meiner Ansicht nach ein gutes Wassermanagement hinsichtlich des Einsatzes und der damit zusammenhängenden erforderlichen Wasserqualität und die Unterstützung von Anlagen zur Betriebswassernutzung.

Nicht zu vernachlässigen ist in dem Zusammenhang der Ressourcenschonung jedoch auch die Instandsetzung der Wasserleitungen, bezifferten sich doch die Verluste durch die undichten Leitungen im Jahr 1998 landesweit auf ca. 1 Milliarde Tonnen Wasser.<sup>46</sup>

Kritisch sind die ökologischen Sanitärsysteme vor allem hinsichtlich ihres Energieverbrauches zu betrachten. So zeigte sich, dass die Auslegung des Tauchtropfkörpers auf den Gesamtgrauwasseranfall zu negativen Energiebilanzen führt.

Es sollte untersucht werden, inwieweit Anlagen für das Grauwasserrecycling hinsichtlich ihres Energieverbrauches optimiert werden können. Bei der Planung von Neubausiedlungen ist abzuwägen, ob Flächen für eine dezentrale Abwasserentsorgung z. B. in Form von Pflanzenkläranlagen vorgesehen werden.

In hochverdichteten Siedlungen wie in Seoul oder anderen Megacities ist dies jedoch keine Option. Beim derzeitigen Entwicklungsstand der Technik sollten die Grauwasserrecyclinganlagen nur auf den Betriebswasserbedarf ausgelegt werden, um positive Energiebilanzen zu erhalten. Eine komplett dezentrale Abwasserentsorgung ist unter diesen Rahmenbedingungen nicht sinnvoll.

Auch und gerade im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch sollte darauf geachtet werden, den Wasserverbrauch für die Toilettenspülung möglichst gering zu halten. Hierdurch kann die Verdünnung des Schwarz- oder Braunwassers und der Volumenstrom drastisch verringert werden. Dieses wirkt sich positiv auf die Energiebilanz aus, da für diesen Abwasserstrom der höchste Energieverbrauch pro m<sup>3</sup> notwendig ist.

Die zur Volumenreduktion notwendigen Spezialtoiletten sind derzeit unwirtschaftlich teuer, es ist allerdings zu erwarten, dass bei flächendeckender Umsetzung von ökologischen Sanitärsystemen durch die höheren Stückzahlen die Preise deutlich sinken.

Ein weiteres Problem bei den wassersparenden Toiletten sind die Prüfbestimmungen für Klosettbecken.

---

<sup>46</sup> Ministry of Environment (2000), S. 36

So sind in Deutschland bisher keine Toiletten mit einer Spülmenge von unter 4l erlaubt. Bei geringeren Spülmengen soll die Gefahr der Verstopfung der Leitung bestehen. Diese Aussage stützt sich auf eine Studie der Fachhochschule Münster.<sup>47</sup>

Von vielen Experten wird allerdings die Aussagefähigkeit dieser Studie angezweifelt, so wird kritisiert, dass das Verhalten von Fäkalien mit Prüfkörpern nicht simuliert werden könne.

Wichtiger jedoch ist, dass bei dieser Beurteilung andere langjährige Studien und vor allem praktische Erfahrungen, die das Gegenteil beweisen, komplett ignoriert worden sind.<sup>48</sup>

An diesem Beispiel zeigt sich, dass Erkenntnisse oft interessensgeleitet und z.T. wenig objektiv sind. Es wäre wünschenswert, dass auch gegenteilige Erfahrungen in die Gestaltung der DIN Normen einfließen.

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ökologischer Sanitärsysteme sollte v.a. aus volkswirtschaftlicher Sicht erfolgen. Die meisten Vorteile und Einsparungen ergeben sich für den derzeit aus öffentlicher Hand finanzierten Bereich und machen sich für die Eigentümer finanziell nicht positiv bemerkbar.

Da sich die ökologischen Sanitärsysteme für die Eigentümer unter den Rahmenbedingungen als komplett unwirtschaftlich erwiesen haben, ist eine Einführung nur durch staatliche Subventionen, Gesetzesvorgaben oder Preiserhöhungen möglich.

Bei der Erarbeitung der Diplomarbeit wurde deutlich, dass es zwar viele gute Ansätze und Ideen für ökologische Sanitärsysteme gibt, jedoch leider sehr wenige praktische Erfahrungen, vor allen Dingen hinsichtlich der Sanierung im Bestand in urbanen Gegenden, die über ein sehr begrenztes Flächenangebot verfügen.

Dies ist allerdings nicht auf technische Probleme zurückzuführen, sondern eher darauf, dass es zu wenige Projekte gibt, in denen neue Technologien oder auch größere Anlagen eingesetzt werden können. Nur in der Praxis lassen sich die Anlagen optimieren und lässt sich der reale Nutzen von ökologischen Sanitärsystemen ermitteln.

---

<sup>47</sup> Zentralverband Sanitär Heizung Klima (2000)

<sup>48</sup> Feurich (2002), S. 76-80

## 6 Quellenverzeichnis

### 6.1 Literaturverzeichnis

Costanzo, Salvatore (2004): Möglichkeiten und Potentiale der Verwertung von Abwasser und Stoffströmen am Beispiel einer innerstädtischen Blockrandbebauung in Hamburg. Diplomarbeit am Fachbereich Bauingenieurwesen der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.

Cumings, Bruce (1997): Korea`s place in the sun. A modern History. New York: Norton

Engels, Friedrich (1878): Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft. In: Marx Engels Werke. Bd. 20. Berlin: Dietz, 1975; S. 1-303 (hier S. 106)

Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. – (fbr) (2004): Grauwasser-Recycling-Anlagen für Haushalte und für den öffentlichen / gewerblichen Bereich (Entwurf). (fbr – Hinweisblatt ; H201) Darmstadt: fbr

Feurich, Hugo (2002): Entwässerungsanlagen. Stand der Normen und Stand der Technik. In: Gesundheits-Ingenieur. 123, 2; S.71-87

Gajurel, Deepak R.; Li, Zifu; Otterpohl, Ralf (2003): Investigation of the effectiveness of source control sanitation concepts including pre-treatment with Rottebehälter. In: Water Science and Technology. 48, 1; S. 111-118

Gajurel, Deepak R.; Behrendt, Joachim; Li, Zifu; Otterpohl, Ralf (2004): Investigation on effectiveness of Rottebehaelter for pre-treatment of brown water in source control sanitation. In: Werner, Christine (Hrsg.); S. 511-514

Hamburger Wasserwerke (2002): Wassersparende Armaturen. Einsatz-Kosten-Wirkung. (Informationsblatt der HWW) Hamburg: HWW

Hosang, Wilhelm; Bischof, Wolfgang (1998): Abwassertechnik. Stuttgart: Teubner

Jönsson, Hakan (2001): Urine separation – Swedish experiences. In: EcoEng Newsletter. Nr.1.

[http://www.iees.ch/EcoEng011/downloads/EcoEng011\\_F1.pdf](http://www.iees.ch/EcoEng011/downloads/EcoEng011_F1.pdf)

Johansson, Mats (2000): Urine Separation. Closing the Nutrient Cycle. Final Report on the R&D Project Source-Separated Human Urine - a Future Source of Fertilizer for Agriculture in the Stockholm Region? Stockholm: Stockholm Vatten

Kim, Inhee (2003): Stadtentwicklung und Planungskultur in Seoul. Ursachen und Auswirkungen der Stadtentwicklung in der Modernisierungsphase von 1963-1996. Dissertation an der Fakultät VII – Architektur Umwelt Gesellschaft - der Technischen Universität Berlin

[http://edocs.tu-berlin.de/diss/2003/kim\\_inhee.pdf](http://edocs.tu-berlin.de/diss/2003/kim_inhee.pdf)

Kim, Joochul; Choe, Sang-Chuel (1997): Seoul. The Making of a Metropolis. Chichester: Wiley

Kraume, Matthias (2004): Grauwasserrecycling unter Anwendung von Membranverfahren. Mündlicher Vortrag auf der Konferenz „Grauwasser-Recycling – Chance für die deutsche Wirtschaft!“ am 24.02.2004 im Zentrum für Entsorgungstechnik und Kreislaufwirtschaft, Hattingen

Lange, Jörg; Otterpohl, Ralf (2000): Abwasser. Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Donaueschingen-Pföhren: Mall-Beton-Verlag

Larsen, Tove A.; Gujert, Willi (1996): Separate Management of Anthropogenic Nutrient Solutions. In: Water Science and Technology.34, 3-4; S. 87-94.

Linhart, Sepp; Pilz, Erich (Hrsg.) (1999): Ostasien. Geschichte und Gesellschaft im 19. und 20. Jahrhundert. Wien: Promedia

Loga, Tobias; Born, Rolf; Großklos, Marc; Bially, Matthias (2001): Energiebilanz Toolbox. Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung / Warmwasser. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH  
<http://www.iwu.de/datei/ephw-toolbox.pdf>

Ministry of Environment, Republic of Korea (Hrsg.) (2000): Green Korea 2001. In pursuit of economic and environmental sustainability. Gwacheon: Ministry of Environment

Ministry of Environment, Republic of Korea (Hrsg.) (2002): Environmental Statistics Yearbook 2002. Gwacheon: Ministry of Environment

Mönninghoff, Hans (1993): Wege zur ökologischen Wasserversorgung. Staufen bei Freiburg: Ökobuch

Mudrack, Klaus; Kunst, Sabine (1994): Biologie der Abwasserreinigung. (4., überarb. Aufl.) Stuttgart: G. Fischer

Müller, Wolfgang; Korda, Martin (1999): Städtebau. (4., neubearb. Aufl.) Stuttgart: Teubner

Otterpohl, Ralf; Oldenburg, Martin (2002): Innovative Technologien zur Abwasserbehandlung in urbanen Gebieten. In: Korrespondenz Abwasser. 49, 10  
 Hier zitiert nach: <http://www.tu-harburg.de/susan/downloads/ka260702.pdf>

Peters, Christian (2002): Technischer und wirtschaftlicher Vergleich innovativer Abwasser- und Energiekonzepte am Beispiel Lübeck Flintenbreite und Freiburg Vauban. Diplomarbeit am Arbeitsbereich Abwasserwirtschaft der Technischen Universität Hamburg- Harburg

Schneider, Klaus-Jürgen (Hrsg.) (1998): Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen. (13. Aufl.) Düsseldorf: Werner

Schütze, Thorsten (2003): Geschichte der Abwasserentsorgung. (Unveröffentlichtes Manuskript)

Seoul Metropolitan Government (2000): Seoul Statistical Yearbook 2000. Seoul: Seoul Metropolitan Government

Shalabi, Moataz; Gajurel, Deepak R.; Otterpohl, Ralf (2003): Vermicomposting of sieved blackwater using the Rottebehälter system.  
<http://www.tu-harburg.de/susan/downloads/vermi.pdf>

Werner, Christine (Hrsg.) (2004): Ecosan – closing the loop. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> international symposium, 7<sup>th</sup> - 11<sup>th</sup> April 2003, Lübeck, Germany. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)

Wilhelm, Christian (2004): Grauwasserrecycling in der Wohnbebauung am Beispiel von Peking. Mündlicher Vortrag auf der Konferenz „Grauwasser-Recycling – Chance für die deutsche Wirtschaft!“ am 24.02.2004 im Zentrum für Entsorgungstechnik und Kreislaufwirtschaft, Hattingen

Zentralverband Sanitär Heizung Klima (ZVSHK) (2000): Selbstreinigungsfähigkeit von Entwässerungsleitungen bei Verwendung von wassersparenden Klosettanlagen. ZVSHK-Schlussbericht, 28.07.2000. St. Augustin: ZVSHK

## **6.2 Persönliche Auskünfte**

Ulrich Braun; Firma Intagua AG, Berlin; Gespräch am 29.03.04

Björn Lindner; TU Hamburg-Harburg; Gespräch am 29.03.04

Herr Lütke; Firma Anlagen und Apparatebau Lütke GmbH, Heide; Telefonische Auskunft am 30.03.04

Hans- Christian Rüster; Firma Roediger, Vakuum- und Haustechnik GmbH, Hanau; Telefonische Auskunft am 25.03.04

Ulrich Weise; Firma Weise Water Systems GmbH&Co KG, E-mail vom 13.04.04

Claudia Wendland, TU Hamburg-Harburg, Gespräch am 16.03.2004

Christian Wilhelm; Firma GEP Umwelttechnik GmbH, Eitorf; Telefonische Auskunft am 02.04.04

## Bemessungsgrundlagen

### Ermittlung der Einwohnerzahlen

Es konnten während des Aufenthaltes keine genauen Einwohnerdaten ermittelt werden, weder für die Einzelwohnungen noch für die Gebäudekomplexe.

Die Einwohnerzahl ist unter Zuhilfenahme des statistischen Mittels von 2,9 EW/Haushalt<sup>49</sup> für alle 3 Hochhäuser berechnet worden. Diese Gesamteinwohnerzahl von 626,4 Personen ist dann im Verhältnis zu den Wohnungsgrößen auf die Gebäude A, B und C aufgeteilt worden. Für das Gebäude A ergeben sich 277 EW, Gebäude B 142 EW, Gebäude C 208 EW.

Diese Annahme der Personenverteilung nach unterschiedlichen Wohnungsgrößen deckt sich im Schnitt mit den gemessenen Wasserverbrauchsdaten.

### Abmessungen der Mehrkammerabsetzgruben

Es konnten keine Pläne der Septic Tanks eingesehen werden. Die Abmessungen wurden nach den Konstruktionsvorschriften der Firma Baekjae in Abhängigkeit von der Anzahl der angeschlossenen Einwohner abgeschätzt. Die Einwohnerzahlen wurden dabei gerundet.<sup>50</sup>

Haus A: gerundet 300 EW; aufnehmbares Abwasservolumen: 31,2m<sup>3</sup>/d

Haus B: gerundet 150 EW; aufnehmbares Abwasservolumen: 16,1m<sup>3</sup>/d

Haus C: gerundet 200 EW; aufnehmbares Abwasservolumen: 21,1m<sup>3</sup>/d

Diese Annahme kann als begründet angesehen werden, da sich die Konstruktionen der Mehrkammergruben in den letzten Jahren kaum verändert haben.

Schwarzwasseranfall vor Sanierung: 78l/E\*d (6 Toilettengänge a 13 l Spülung)

Haus A: 277 EW; 21,606 m<sup>3</sup>/d, Aufenthaltsdauer: 1,4 Tage

Haus B: 142 EW; 11,076m<sup>3</sup>/d, Aufenthaltsdauer: 1,5 Tage

Haus C: 208 EW; 16,224m<sup>3</sup>/d, Aufenthaltsdauer: 1,3 Tage

Schwarzwasseranfall nach der Sanierung: 26 l/E\*d (5 Toilettengänge a 4l, 1 Toilettengang a 6l Spülung)

Haus A: 277 EW; 7,202 m<sup>3</sup>/d, Aufenthaltsdauer: 4,3 Tage

Haus B: 142 EW; 3,692m<sup>3</sup>/d, Aufenthaltsdauer: 4,4 Tage

Haus C: 208 EW; 5,408m<sup>3</sup>/d, Aufenthaltsdauer: 3,9 Tage

Nach DIN 4261 Teil 1 Kleinkläranlagen sind Mehrkammerabsetzgruben bei nicht vorhandenem Schlamm Speicher mit 0,425m<sup>3</sup>/EW zu bemessen, um eine befriedigende Reinigungsleistung zu erhalten; die Mehrkammergruben müssten hiernach 117,7m<sup>3</sup>/d, 60,35m<sup>3</sup>/d bzw. 88,4m<sup>3</sup>/d Abwasser fassen können. Es ist davon auszugehen, dass die mechanische Reinigungswirkung der Grube relativ gering ist. Außerdem hat sich in der Praxis gezeigt, dass gerade bei kleinen Anlagen die BSB<sub>5</sub> Abnahme zeitlich veränderlich ist und zwischen 0 und 50% schwanken kann.<sup>51</sup>

<sup>49</sup> Seoul Statistical Yearbook (2000)

<sup>50</sup> [www.baekjae.co.kr](http://www.baekjae.co.kr); Tabelle von Thorsten Schütze überarbeitet

<sup>51</sup> siehe [www.wasser-wissen.de](http://www.wasser-wissen.de); Internetportal für Wasser und Abwasser, Institut für Verfahrenstechnik der Universität Bremen

## Anforderungen an Trinkwasser in Korea

### Water Quality Standards

#### für Grundwasser

	Gebrauch in privaten Haushalten	Gebrauch in der Landwirtschaft	Gebrauch in der Industrie
pH Wert	5,8 - 8,5	6 - 8,5	5,0 - 9,0
COD [mg/l]	6	8	10
E-coli Bakterien [MPN/100ml]	5000	/	/
NO <sub>3</sub> - N [mg/l]	20	20	40
Cl [mg/l]	250	250	500
Cd [mg/l]	0,01	0,01	0,02
Arsen [mg/l]	0,05	0,05	0,1
Zyan C <sub>2</sub> N <sub>2</sub> [mg/l]	not detected	not detected	0,2
Hg [mg/l]	not detected	not detected	not detected
organisches Phosphat [mg/l]	not detected	not detected	0,2
Phenol [mg/l]	0,005	0,005	0,01
Pb 6+ [mg/l]	0,1	0,1	0,2
Cr [mg/l]	0,05	0,05	0,1
Trichlotethylen [mg/l]	0,03	0,03	0,06

aus: Ministry of Environment (2002), S. 444

## Anforderungen für die Einleitung von Abwasser

### Discharged Water Quality Standards

	BOD [mg/l]	COD [mg/l]	SS [mg/l]	T-N [mg/l]	T-P [mg/l]	MPN/ml
Wasserschutzgebiete Gebiete, die unter einem besonderem Schutz stehen	10	40	10	20	2	unter 3000
andere	20	40	20	60	8	unter 3000

aus: Ministry of Environment (2002), S. 447

## Annahmen über den Wasserverbrauch

Der derzeitige durchschnittliche Wasserverbrauch liegt in der Siedlung in Banbae bei 256,5 l/E\*d. Hierbei handelt es sich um einen Durchschnittswert, der sich aus Messungen über 10 Monate ergibt. Es fehlen die Wintermonate November und Dezember.

Da in den Wintermonaten der Wasserverbrauch geringer ist, würde sich bei einer ganzjährigen Messung der Durchschnittswert leicht nach unten korrigieren.

Nimmt man 6 Toilettengänge E/d an mit Spülwassermengen von 13l/Spülung<sup>52</sup> so ergibt sich für den Wasserverbrauch ein Anteil von 78 l/E\*d Schwarzwasser und 178,5 l/E\*d Grauwasser.

<sup>52</sup> Angabe des Masterstudenten Youngwan Kim der Seoul National University

## Wasserverbrauch in Deutschland

	I/E*d	in %	geschätzter Anteil in Korea in %
Baden, Duschen	46	35,9	40
Toilette	35	27,3	27,0
Wäsche	15	11,7	12,0
Geschirr	8	6,3	9,0
Hausreinigung, Garten, Auto	8	6,3	8,0
Kochen, Trinken	5	3,9	4,0
Kleingewerbe	11	8,6	0,0
<b>Summe</b>	<b>128</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>

erweiterte nach Lange, Otterpohl (2000), S. 117

Zum Vergleich wurden die Annahmen über den Wasserverbrauch von Lange und Otterpohl in prozentuale Anteile umgerechnet.

Dann wurde der prozentuale Anteil für die einzelnen Verrichtungen für Korea geschätzt. Für Baden, Duschen, Wäsche waschen, Geschirr spülen und Hausreinigung sind aufgrund des unterschiedlichen Umgangs mit Wasser erhöhte Werte angenommen worden (Abspülen unter fließendem Wasser, häufigere Reinigung der Fußböden, da man auf dem Boden sitzt). Aufgrund der reinen Wohnnutzung entfällt der Kleingewerbeanteil. Der prozentuale Anteil für die Toilettennutzung ist als gleich bzw. geringfügig niedriger als in Deutschland angenommen worden.

Nach den angenommenen prozentualen Schätzungen für Bangbae liegt der Grauwasseranteil bei 69%, das wären 177 l/E\*d, dies deckt sich in etwa mit den oben ermittelten Werten.

### Einsparpotentiale bei Grauwasser

Um den zukünftigen Grauwasseranfall für die Dimensionierung der Anlagen abzuschätzen, wurden die Einsparpotentiale abgeschätzt. Es wird angenommen, dass durch wassersparende Maßnahmen insgesamt 63 l Trinkwasser eingespart werden kann.

Dies ist wie folgt begründet:

- Einsatz von Sparstrahlern für Wasserhähne mit einem Durchfluss von 6 – 8 l/min, die geschätzte Einsparung beträgt 3 l/min. Bei einem 10 min laufenden Wasserhahn für Händewaschen, Abspülen etc ergibt dies eine Einsparung von 30 l
- Einsatz von Durchflussbegrenzern bei Duschen mit einem Durchfluss von 7 – 9 l/min. Die angenommene Einsparung beträgt 5 l/min, bei 5 min Duschen / Tag bedeutet dies eine Einsparung von 25 l
- Die durch Verhaltensänderung bedingte Einsparung wird mit 8 l angenommen

Bei diesen Annahmen ergibt sich der Grauwasseranfall zu 115 l/E\*d.

178 l/E\*d – 63 l Einsparung = 115 l/E\*d

### Anzahl der Toilettengänge

Wegen Vergleichbarkeit mit der Diplomarbeit von Costanzo (2004) wurden für die Berechnungen 6 Toilettengänge; 5 Teilspülungen und 1 Vollspülung angenommen. Diese Annahme deckt sich mit den in der Literatur bei Mönninghoff (1993) angegebenen Werten. Es lassen sich jedoch recht unterschiedliche Werte finden.

So wurden zur Bemessung der Anlagen des Ökoparks in Hannover 2 große Spülungen und 7 kleine Spülungen zugrunde gelegt.

## **Betriebswasserbedarf**

Betriebswasser kann genutzt werden für die Toilettenspülung, die Waschmaschine, Hausreinigung und Gratenbewässerung.

Aus der Anzahl der Toilettengänge ergibt sich für die einzelnen Toilettensysteme folgender Betriebswasserbedarf.

### **Trenntoilette; Firma Roediger:**

1\* Vollspülung a 6 l: 6 l/E\*d

5\*Teilspülung a 1 l: 5 l/E\*d

Wäsche: geschätzt: 12 %, entspricht 15,6 l/E\*d

Hausreinigung: geschätzt 8% , entspricht 10,4 l/E\*d

**Gesamt: 37 l / E \* d**

### **Spartoilette; Standard:**

1\* Vollspülung a 6 l: 6 l/E\*d

5 Teilspülungen a 4 l: 20 l/E\*d

Wäsche: geschätzt: 12 %, entspricht 15,6 l/E\*d

Hausreinigung: geschätzt 8% , entspricht 10,4 l/E\*d

**Gesamt: 52 l / E \* d**

### **Vakuuntoilette/ Vakuumentrenntoilette; Firma Roediger**

6\* Spülungen a 1,0 l: 6,0 l/E\*d

Wäsche: geschätzt: 12 %, entspricht 15,6 l/E\*d

Hausreinigung: geschätzt 8% , entspricht 10,4 l/E\*d

**Gesamt: 32 l / E \* d**

## Stofffrachten

In Lange, Otterpohl (2000) sind Anhaltswerte über die Stoffstromfrachten für Grau- und Schwarzwasser angegeben.

### Grauwasserrecycling

Abwasseranfall [l/E*d]	80
BSB <sub>5</sub> Fracht [g/E*d]	10 - 20
CSB Fracht [g/E*d]	35
Nges Fracht [[g/E*d]	1
Pges Fracht [g/E*d]	0,2

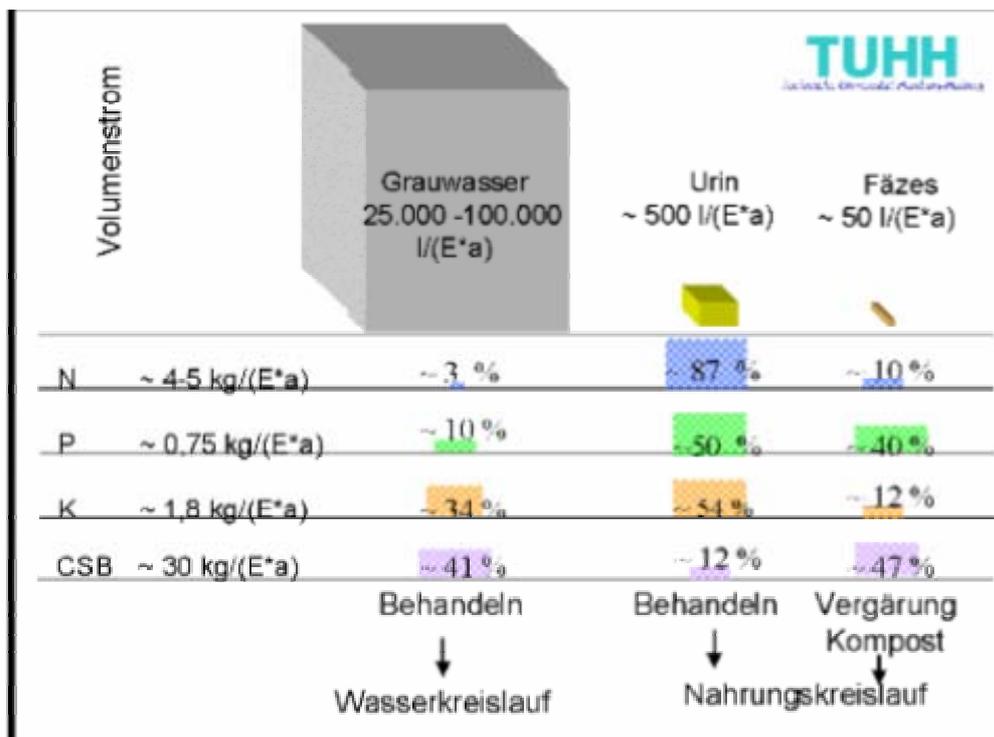
aus: Lange, Otterpohl (2000) S. 195

### Schwarzwasser

Abwasseranfall [l/E*a]	
BSB <sub>5</sub> Fracht [kg/E*a]	13
CSB Fracht [kg/E*a]	26
Nges Fracht [kg/E*a]	5,5
Pges Fracht [kg/E*a]	0,6
K <sub>2</sub> O [kg/E*a]	1,17
SS [kg/E*a]	19

aus: Lange, Otterpohl (2000) S. 209

Für die Ausarbeitung wurden jedoch die Stoffstromfrachten aus der unten stehenden Tabelle angesetzt. Aus den Prozentangaben für die einzelnen Stoffströme wurden die Frachten berechnet.



	<b>Grauwasser</b>	<b>Urin</b>	<b>Faeces</b>
<b>Stoffstromfracht</b>			
N [kg/E*a]	0,15	4,35	0,5
P [kg/E*a]	0,075	0,375	0,3
K [kg/E*a]	0,612	0,972	0,216
CSB [kg/E*a]	12,3	3,6	14,1
N [g/E*d]	0,411	11,9178	1,370
P [g/E*d]	0,205	1,027	0,822
K [g/E*d]	1,677	2,663	0,592
CSB [g/E*d]	33,699	9,863	38,630
I/E*d	115	1,5	0,15
I/E*a	41.975	547,5	54,75
<b>Konzentrationen</b>			
N [mg/l]	3,6	7.945,2	9.132,4
P [mg/l]	1,8	684,9	5.479,5
K [mg/l]	14,6	1.775,3	3.945,2
CSB [mg/l]	293,0	6.575,3	257.534,2

Stoffstromfrachten errechnet aus Prozentangaben

Verändert nach: Otterpohl und Oldenburg (2002)

Bemessung der Anlagen nach Empfehlungen aus Schweden mit 1,5 l/E\*d Urin.<sup>53</sup>

Die Menge Fäkalien mit 50 l/E\*a wurde nach Otterpohl/Oldenburg (2002) angenommen.

<sup>53</sup> Johansson (2000), S. 14

## Flächenbedarf

### Urinspeicher, Düngespeicher

Der Flächenbedarf für die Urinspeicher und Düngespeicher wurde bereits unter Kosten und Leistungsverzeichnisse berechnet.

### Tauchtropfkörper

Für die biologische Reinigung wird eine Fläche von 25m<sup>2</sup> benötigt. Zur Gewährleistung einer kontinuierlichen Beschickung wird vor und nach der Anlage ein Pufferbehälter eingebaut. Der nachgeschaltete Pufferbehälter dient gleichzeitig als Betriebswasserspeicher.

Die Pufferbehälter haben 1 Volumen von 13-14m<sup>3</sup>; bei einer Behälterhöhe von 1,75m bedeutet dies Abmessungen von 2,8m\*2,8m.

Die Pufferbehälter könnten auch in die Erde eingelassen werden.

Die erforderliche Mindestraumhöhe beträgt 2,30m.<sup>54</sup>

### Schwarzwasserkreislauf/ Braunwasserkreislauf

Die Anlagen sollen vorrausichtlich in kleine Standard Container eingebaut werden und können dann so als Ganzes mit einem Mobilkran in das Betriebsgebäude hineingesetzt werden.

Der Flächenbedarf für eine Anlage mit einem Schwarzwasseranfall von 17,5 m<sup>3</sup>/d beträgt ca. die Größe von 2 kleinen Standardcontainern. Die Außenmaße für die Standardcontainer wurden mit 5,92m\* 2,42m\* 2,37m angenommen.<sup>55</sup>

Der Flächenbedarf für den Schwarzwasserkreislauf beträgt 28,66 m<sup>2</sup> .

Die Anlage für den Braunwasserkreislauf mit einem Volumenstrom von 7m<sup>3</sup> ließe sich in 1 kleinen Standardcontainer unterbringen.

Der Flächenbedarf für den Braunwasserkreislauf beträgt 14,33 m<sup>2</sup> .

Die Mindesthöhe des Betriebsgebäudes beträgt 2,50m.<sup>56</sup>

### Biogasanlage

Behälterabmessungen

Hygienisierungstank 3m<sup>3</sup> : 1,60m Durchmesser, 1,80m Höhe,

Flächenbedarf: 2,01m<sup>2</sup>

Fermenter 100m<sup>3</sup>: Behälter 7m Durchmesser , 2,60m Höhe für 100m<sup>3</sup>

Flächenbedarf: 38,5 m<sup>2</sup>

Fermenter 80m<sup>3</sup> : Behälter 7 m Durchmesser, 2,10m Höhe für 80 m<sup>3</sup>

Flächenbedarf: 38,5 m<sup>2</sup>

Flächenbedarf gesamt: 40,51 m<sup>2</sup>

### Vakuumsstation

Im Flächenbedarf ist der Platzbedarf für die Wartung enthalten, d.h. die Begehbarkeit der Anlage ist gewährleistet.

Die Vakuumsstation Typ 360 benötigt eine Fläche von 3,5m\* 3m, die Vakuumsstation Typ 140 von 3m\*3m.<sup>57</sup>

Der Flächenbedarf gesamt beträgt 10,50m<sup>2</sup> für Anlage Typ 360 bzw. 19,50m<sup>2</sup> für beide Anlagen zusammen.

<sup>54</sup> Telefonische Auskunft von Wilhelm am 2.4.04

<sup>55</sup> siehe auch <http://www.tis-gdv.de/tis/containe/arten/standard/standard.htm>

<sup>56</sup> mündliche Auskunft von Braun / Lindner am 29.3.04

<sup>57</sup> telefonische Auskunft von Ruster am 25.3.04

### ***Membranbiologie***

Der Raumbedarf für die Biologie mit Nitrifikation beträgt  $40\text{m}^3$ , für die Vorklärung  $2\text{m}^3$ .  
Bei einer Behälterhöhe von  $1,80\text{m}$  entspricht dies einem Flächenbedarf von  $5,00\text{ m} \cdot 4,50\text{m}$   
 $1,06\text{m} \cdot 1,06\text{m}$ . Der Gesamtflächenbedarf beträgt  $23,62\text{m}^2$ .

## Nährstoffgewinnung

### Variante A1

Bei der Berechnung des in Form von Urin anfallenden Düngers wird davon ausgegangen, dass nur 75 % der Toilettengänge zu Hause erfolgen. Von diesen 75 % werden wiederum nur ca. 75% des Urins tatsächlich separiert.

$$0,941m^3 \text{ Urin} / d * 0,75 * 0,75 = 0,5293m^3 \text{ Urin} / d$$

$$0,5293 * 365 = 139,20m^3 \text{ Urin} / a$$

Pro Jahr ergibt sich ein Ertrag von 139,20 m<sup>3</sup> Flüssigdünger.

Nach den Stofffrachten bedeutet dies bei 7,945g Stickstoff/l und 0,685 Phosphat/l Erträge von 1105,97kg Stickstoff und 95,33kg Phosphat.

### Variante A2

Pro Jahr ergibt sich ein Ertrag von 139,20 m<sup>3</sup> Flüssigdünger aus dem Urin.

Nach Angaben von Ulrich Braun<sup>58</sup> werden beim Braunwasserkreislauf pro Tag und Einwohner 30g Blumenerde gewonnen.

Die Erträge aus dem Braunwasserkreislauf ergeben sich wie folgt:

$$627EW * 365d * 0,030kg = 6865,65kg \text{ Blumenerde} / a$$

### Variante A3

Pro Jahr ergibt sich ein Ertrag von 139,20 m<sup>3</sup> Flüssigdünger aus dem Urin.

Zusätzlich wird aus dem Gärrückstand 1053,938m<sup>3</sup> Dünger gewonnen.

Bei der Berechnung des Gärrückstandes wurde davon ausgegangen, dass nur 75% aller Toilettengänge zu Hause stattfinden.

$$3,850m^3 \text{ Braunwasser} / d * 0,75 * 365 = 1053,938m^3 / a$$

Aus dem Gärrückstand ergibt sich ein Ertrag von 11,8gN/E\*d und 1,9 gP/E\*d.<sup>59</sup>

Da der Urin allerdings schon herausgetrennt ist, wird davon ausgegangen, dass im Gärrückstand nur noch 25% dieser Menge an Stickstoff und 50 % der Menge an Phosphat zu finden ist.

Hieraus ergibt sich eine Gesamtmenge von 675,12 kg Stickstoff und 217,41 kg Phosphor, bei einem Anfall von 75% ergeben sich 506,34 kg Stickstoff und 163,06 kg Phosphor.

### Variante B1

Aus dem Gärrückstand der Biogasanlage wird 1311,263 m<sup>3</sup> Dünger gewonnen.

Bei der Berechnung des Gärrückstandes wurde davon ausgegangen, dass nur 75% aller Toilettengänge zu Hause stattfinden.

$$4,790m^3 \text{ Schwarzwasser} / d * 0,75 * 365 = 1311,263m^3 / a$$

Aus dem Gärrückstand ergibt sich ein Ertrag von 11,8gN/E\*d und 1,9 gP/E\*d.

Dies ergibt eine Gesamtmenge von 2700,5kg Stickstoff und 434,83 kg Phosphor, bei einem Anfall von 75% ergeben sich 2025,38 kg Stickstoff und 326,12 kg Phosphor.

<sup>58</sup> Gesprächsprotokoll von Thorsten Schütze, Gespräch mit Ulrich Braun am 5.3.2004

<sup>59</sup> Peters (2002), S. 48, Tabelle 12: Zusammensetzung der Gärrückstände

## Variante B2

Nach Angaben von Ulrich Braun werden beim Schwarzwasserkreislauf pro Tag und Einwohner 30g Blumenerde und 60g Magnesiumammoniumphosphat gewonnen.

Die Erträge aus dem Schwarzwasserkreislauf ergeben sich wie folgt:

$$627EW * 365d * 0,030kg = 6865,65kg \text{ Blumenerde} / a$$

$$627EW * 365d * 0,060kg = 13.731,3kg \text{ MAP} / a$$

Nach Schätzungen von Ulrich Braun liegt der Stickstoffanteil im MAP bei ca. 1/6.<sup>60</sup>

Dies bedeutet einen Stickstoffgewinn von 2288,55kg/a.

---

<sup>60</sup> Gesprächsprotokoll von Thorsten Schütze, Gespräch mit Ulrich Braun am 5.3.2004

## Energiebedarf

Es werden 2 Berechnungen erstellt.

Zum einen wird der Stromverbrauch der einzelnen Varianten ermittelt. Dieser fließt in die Berechnung der Betriebskosten mit ein. Bei den Varianten mit Biogasanlagen, Variante A3 und B1, wurden die Biogaserträge mit dem thermischen Energiebedarf der Anlagen verrechnet.

Zum anderen wird eine Energiebilanz für die einzelnen Varianten erstellt.

Bei dieser Bilanz wird der Energieverbrauch der Variante ermittelt, hiervon werden dann der Energiebedarf des konventionellen Systems und die Energiegewinne aus der Düngerproduktion und der Biogasproduktion abgezogen.

### Konventionelle Sanierung

#### *Trinkwasserversorgung*

Wasserbedarf: 115 l/E\*d Grauwasser + 26 l Toilettenspülwasser = 141 l/E\*d

$$141 \text{ l/(E*d)} * 627 \text{ E} * 365 \text{ d} * 10^{-3} = 32.268,55 \text{ m}^3/\text{a}$$

Für die Wasserversorgung in Korea werden Wasserverluste von 18,1% angegeben.<sup>61</sup>

Mit diesem Prozentsatz wird die tatsächlich zu liefernde Menge Wasser ermittelt.

Es ist allerdings zu vermuten, dass der tatsächliche Wasserverlust noch wesentlich höher liegt.

$$32.268,55 * 1,181 = 38.109,16 \text{ m}^3/\text{a}$$

Energieverbrauch für Trinkwassergewinnung<sup>62</sup>: 0,7 kWh/m<sup>3</sup>

$$38.109,16 \text{ m}^3 * 0,7 \text{ kWh/m}^3 = \mathbf{26.676,42 \text{ kWh/a}}$$

#### *Abwasserreinigung*

In der BRD besteht das Abwasser, welches in der Kläranlage ankommt zu 44% aus häuslichem Schmutzwasser, zu 35% aus Niederschlag und zu 21% aus Fremdwasser

Es wird davon ausgegangen, dass sich der Stofffluss zur Kläranlage ähnlich wie in der BRD verhält, der niedrigere Anteil an Niederschlag wird vermutlich durch einen höheren Anteil an Fremdwasser ausgeglichen. Berücksichtigt man das Sickerwasser mit 18% so ist für die Kläranlage ein Schmutzwasseranfall von 60.136,84 m<sup>3</sup>/d zu erwarten.

$$\frac{32.268,55}{44} * 100 = 73.337,62 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$73.337,62 - (73.337,62 * 0,18) = 60.136,84 \text{ m}^3/\text{a}$$

Energieverbrauch für Abwasserreinigung und Transport im Mischwassersystem<sup>63</sup>:

$$0,684 \text{ kWh/m}^3$$

$$60.136,84 \text{ m}^3 * 0,684 \text{ kWh/m}^3 = \mathbf{41.133,60 \text{ kWh/a}}$$

### Variante A1

#### *Trinkwasserversorgung*

Wasserbedarf: 115 l/E\*d Grauwasser + 11 l Toilettenspülwasser = 126 l/E\*d

$$126 \text{ l/(E*d)} * 627 \text{ E} * 365 \text{ d} * 10^{-3} = 28.835,73 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$28.835,73 * 1,181 = 34.055,00 \text{ m}^3/\text{a}$$

Energieverbrauch für Trinkwassergewinnung: 0,7 kWh/m<sup>3</sup>

<sup>61</sup> Ministry of Environment (2000), S. 36

<sup>62</sup> Der Energieverbrauch für Trinkwassergewinnung wurde mit einem Mittelwert von 0,574 kWh/m<sup>3</sup> bei Peters (2002), S.12 angegeben. Da das Trinkwasser für Seoul vom Paldang Stausee bis nach Seoul transportiert werden muss, wird als Energiebedarf 0,7 kWh/m<sup>3</sup> angenommen.

<sup>63</sup> Peters (2002), Anhang, S. 12

$$34.055,00\text{m}^3 * 0,7 \text{ kWh/m}^3 = \mathbf{23.838,5 \text{ kWh/a}}$$

#### *Abwasserreinigung*

$$\frac{28.835,73}{44} * 100 = 65.535,75\text{m}^3 / a$$

$$65.535,75 - (65.535,75 * 0,18) = 53.673,78\text{m}^3 / a$$

Energieverbrauch für Abwasserreinigung und Transport im Mischwassersystem<sup>64</sup>:

$$0,684\text{kWh/m}^3$$

$$53.673,78 \text{ m}^3 * 0,684 \text{ kWh/m}^3 = \mathbf{36.712.87 \text{ kWh/a}}$$

#### *Dünger*

Mit dem Urin von 139,2m<sup>3</sup>/a fallen 1105,97kg Stickstoff und 95,33kg Phosphat an.

Der Primärenergieverbrauch für die Produktion von Stickstoff beträgt 12,2Wh<sub>prim</sub>/g und für Phosphor 7,66Wh<sub>prim</sub>/g.<sup>65</sup>

Der Primärenergiefaktor (d.h. das Verhältnis von Primärenergie zum Endenergieträger) beträgt für Strom 2,97 und für Erdgas 1,07.<sup>66</sup>

$$1105,97 * 10^3 * 12,2\text{Wh}_{\text{prim}} / \text{g} * 10^{-3} = 13492,83\text{kWh}_{\text{prim}} / a$$

$$95,33 * 10^3 * 7,66\text{Wh}_{\text{prim}} / \text{g} * 10^{-3} = 730,23\text{kWh}_{\text{prim}} / a$$

$$\frac{14223,06\text{kWh}_{\text{prim}} / a}{2,97} = 4788,91\text{kWh} / a$$

Der Energieverbrauch für den Transport wird nicht angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass der Dünger auch bei konventioneller Herstellung zum Anwendungsort verbracht werden muss.

Es gibt einen Primärenergiegewinn von 14223,06 kWh/a, dies entspricht in etwa 4788,91 kWh<sub>el</sub>/a.

## **Variante A2**

#### *Trinkwasserversorgung*

Wasserbedarf: 89 l/E\*d Grauwasser + 1 l Toilettenspülwasser = 90 l/E\*d

Der Rest des Toilettenspülwassers wird durch Braunwasserkreislauf gedeckt.

Der Rest des Grauwassers durch Grauwasserrecycling.

$$90 \text{ l/(E*d)} * 627\text{E} * 365\text{d} * 10^{-3} = 20.596,95\text{m}^3/\text{a}$$

$$20.596,95\text{m}^3/\text{a} * 1,181 = 24.325,00 \text{ m}^3/\text{a}$$

Energieverbrauch für Trinkwassergewinnung: 0,7kWh/m<sup>3</sup>

$$24.325,00 \text{ m}^3/\text{a} * 0,7 \text{ kWh/m}^3 = \mathbf{17027,50 \text{ kWh/a}}$$

#### *Dünger*

Der Primärenergiegewinn durch den Dünger beträgt 14223,06 kWh/a, dies entspricht in etwa 4788,91 kWh<sub>el</sub>/a.

#### *Braunwasserkreislauf*

Der Energieverbrauch für den Schwarzwasserkreislauf liegt bei 4,5 kWh/m<sup>3</sup> ohne die UV Desinfektion.

<sup>64</sup> Peters (2002), Anhang, S. 12

<sup>65</sup> Peters (2002), S. 58

<sup>66</sup> Loga, (u.a.) (2001), S. 51

Der Energieverbrauch für die UV Desinfektion, der den größten Anteil am Gesamtenergiebedarf ausmacht, kann zum derzeitigen Entwicklungsstand nicht abgeschätzt werden.<sup>67</sup> Bei den Berechnungen von Peters (2002) machte die Hygienisierung ca. 41% des gesamten Energiebedarfes aus, zu dem Zeitpunkt wurde allerdings noch Ozon benutzt. Seither hat sich der Energieverbrauch für die Hygienisierung stark reduziert, aus diesem Grund wird ein Wert von 1kWh/m<sup>3</sup> angesetzt. Der Gesamtenergiebedarf für den Schwarzwasserkreislauf beträgt also schätzungsweise 5,5kWh/m<sup>3</sup>. Beim Braunwasserkreislauf ist der Energiebedarf wesentlich geringer als beim Schwarzwasserkreislauf, u.a. durch Einsparungen bei der Belüftung in der Belebung und Einsparungen bei der UV Desinfektion. Er beläuft sich ca. auf 54% des Energiebedarfes des Schwarzwasserkreislaufes.<sup>68</sup> Der Energieverbrauch wird mit 3,0 kWh/m<sup>3</sup> angenommen.

$$3,0kWh/m^3 * 6,985m^3 * 365d = 7648,58kWh/a$$

#### *Tauchtropfkörper*

Der Energieverbrauch inklusive der Druckerhöhung für die Betriebswasserversorgung beträgt weniger als 2 kWh/m<sup>3</sup> Abwasser.<sup>69</sup>

Es ergibt sich für das Jahr folgender Energieverbrauch:

$$2kWh/m^3 * 72,105m^3/d * 365d = 52.636,65kWh/a$$

### **Variante A3**

#### *Trinkwasserversorgung*

Wasserbedarf: 89 l/E\*d Grauwasser = 89 l/E\*d

Toilettenspülwasserbedarf wird aus Betriebswasser gedeckt.

$$89 l/(E*d) * 627E * 365d * 10^{-3} = 20.368,10m^3/a$$

$$20.368,10m^3/a * 1,181 = 24.054,73 m^3/a$$

Energieverbrauch für Trinkwassergewinnung: 0,7kWh/m<sup>3</sup>

$$24.054,73 m^3/a * 0,7 kWh/m^3 = \mathbf{16.838,31 kWh/a}$$

#### *Dünger*

Der Primärenergiegewinn durch den Urin beträgt 14223,06 kWh/a, dies entspricht in etwa 4788,91 kWh<sub>el</sub>/a.

Mit dem Gärrückstand aus der Biogasanlage fallen 506,34 kg Stickstoff und 163,06 kg Phosphor an.<sup>70</sup>

Der Primärenergieverbrauch für die Produktion von Stickstoff beträgt 12,2Wh<sub>prim</sub>/g und für Phosphor 7,66Wh<sub>prim</sub>/g.<sup>71</sup>

Der Primärenergiefaktor (d.h. das Verhältnis von Primärenergie zum Endenergieträger) beträgt für Strom 2,97 und für Erdgas 1,07.<sup>72</sup>

$$506,34 * 10^3 * 12,2Wh_{prim} / g * 10^{-3} = 6177,37kWh_{prim} / a$$

$$163,06 * 10^3 * 7,66Wh_{prim} / g * 10^{-3} = 1249,03kWh_{prim} / a$$

$$\frac{7426,40kWh_{prim} / a}{2,97} = 2500,47kWh_{el} / a$$

<sup>67</sup> Mündliche Auskunft von Braun / Lindner am 29.3.04

<sup>68</sup> Peters (2002), S. 52, Tab. 15

<sup>69</sup> telefonische Auskunft von Wilhelm am 2.4.04

<sup>70</sup> Berechnung unter Nährstoffgewinnung

<sup>71</sup> Peters (2002), S. 58

<sup>72</sup> Loga (u.a.)(2001), S. 51

Der Energieverbrauch für den Transport wird nicht angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass der Dünger auch bei konventioneller Herstellung zum Anwendungsort verbracht werden muss.

Es gibt einen Primärenergiegewinn von 7426,40 kWh/a, dies entspricht in etwa 2500,47 kWh<sub>el</sub>/a.

### *Biogasanlage*

Der Stromverbrauch für die Schlamm-pumpen und das Rühren beträgt für die Freiburger Biogasanlage 95,4Wh/m<sup>3</sup>.<sup>73</sup>

Der Thermische Energiebedarf beträgt in Lübeck Flintenbreite 341 Wh/E\*d. Dies bedeutet einen thermischen Energieverbrauch von 37.339,5 kWh/a.

Es ist anzunehmen, dass die Werte tendenziell auf die Anlage in Bangbae übertragbar sind, da in Lübeck Flintenbreite auch eine Hygienisierung wie in Bangbae stattfindet und der Wärmeeintrag aus der Hygienisierung in den Fermenter größer ist, als die Wärmeverluste im Fermenter.<sup>74</sup>

Da der Volumenstrom in der Hygienisierung größer ist als in Flintenbreite müssten die Werte noch erhöht werden. Es wird aber davon ausgegangen, dass der thermische Energiebedarf durch den Biogasertrag gedeckt wird.

$$95,4Wh / m^3 * 3,850m^3 / d * 365d * 10^{-3} = 134,06kWh / a$$

Der Biogasertrag beträgt schätzungsweise 500 l/kg oTS<sub>zu</sub> und der Heizwert beträgt 6,5kWh/m<sup>3</sup>.<sup>75</sup>

Ermittlung des Trockensubstanzgehaltes der gesamten Masse:

Trockensubstanzgehalt Fäkalien: 23g/E\*d

Es wird davon ausgegangen, dass von dem anfallenden Biomüll von 0,2436kg/E\*d nur 75% tatsächlich getrennt und der Biogasanlage zugeführt wird.<sup>76</sup>

Dies bedeutet für die Siedlung eine Zugabe von 41.811,81 kg/a.

$$0,2436kg / (E * d) * 627E * 0,75 = 114,55kg / d$$

$$114,55kg / d * 365d = 41.811,81kg / a$$

Der Trockensubstanzgehalt von Biomüll beträgt etwa 40%.

Von diesem Trockensubstanzgehalt sind etwa 55% organische Trockensubstanz<sup>77</sup>

$$TS = 0,40 * 41.811,81 * 0,55 = 9198,60kg_oTS / a$$

$$0,023kg / (E * d) * 627E * 365d = 5263,67kg / a$$

### *Biogasertrag*

$$(9198,60 + 5263,67)kg / a * 0,5m^3 / kg_oTS = 7231,13m^3 / a$$

$$7231,13m^3 / a * 6,5kWh / m^3 = 47.002,37kWh / a$$

Der Biogasertrag deckt den thermischen Energiebedarf der Anlage und wird nicht weiter in Ansatz gebracht.

<sup>73</sup> Peters (2002), S. 53

<sup>74</sup> Ders., S.54

<sup>75</sup> Ders.; S.54

<sup>76</sup> Täglich fallen in Seoul 11.968 t Hausmüll an, das bedeutet 1,16 kg/EW\*d, davon sind ca. 21% organische Küchenabfälle, errechnet nach: Environmental Statistics Yearbook (2002), S. 122

<sup>77</sup> Peters (2002); Anhang S.10; Bemessungsannahmen von Otterwasser (1999) für Lübeck Flintenbreite

*Vakuumstation*

Der Energieverbrauch für den Betrieb der Vakuumstation Typ 360 beträgt 12kWh/d für den Typ 140 8 kWh/d, gesamt also 20kWh/d.

$$20kWh/d * 365 = 7300kWh/a$$

*Tauchtropfkörper*

Der Energieverbrauch inklusive der Druckerhöhung für die Betriebswasserversorgung beträgt weniger als 2 kWh/m<sup>3</sup> Abwasser.<sup>78</sup>

Es ergibt sich für das Jahr folgender Energieverbrauch:

$$2kWh/m^3 * 72,105m^3/d * 365d = 52.636,65kWh$$

**Variante B1***Trinkwasserversorgung*

Wasserbedarf: 89 l/E\*d Grauwasser = 89 l/E\*d

Toilettenspülwasserbedarf wird aus Betriebswasser gedeckt.

$$89 l/(E*d) * 627E * 365d * 10^{-3} = 20.368,10m^3/a$$

$$20.368,10m^3/a * 1,181 = 24.054,73 m^3/a$$

Energieverbrauch für Trinkwassergewinnung<sup>79</sup>: 0,7kWh/m<sup>3</sup>

$$24.054,73 m^3/a * 0,7 kWh/m^3 = \mathbf{16.838,31 kWh/a}$$

*Biogasanlage*

Der Stromverbrauch für die Schlammumpen und das Rühren beträgt für die Freiburger Biogasanlage 95,4Wh/m<sup>3</sup>.<sup>80</sup>

$$95,4Wh/m^3 * 4,790m^3/d * 365d * 10^{-3} = 165,22kWh/a$$

Der Biogasertrag deckt den thermischen Energiebedarf der Anlage und wird nicht weiter in Ansatz gebracht.<sup>81</sup>

*Dünger*

Es gibt eine Primärenergieersparnis aus dem Gärrückstand der Biogasanlage von 27207,67 kWh/a, dies entspricht in etwa 9160,83 kWh<sub>el</sub>/a.

Der Energieverbrauch für den Transport wird nicht angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass der Dünger auch bei konventioneller Herstellung zum Anwendungsort verbracht werden muss.

*Vakuumstation*

Für den Betrieb der Vakuumstation Typ 360 beträgt der Energieverbrauch 12 kWh/d.

$$12kWh/d * 365d = 4380kWh/a$$

*Tauchtropfkörper*

Der Energieverbrauch inklusive der Druckerhöhung für die Betriebswasserversorgung beträgt weniger als 2 kWh/m<sup>3</sup> Abwasser.

Es ergibt sich für das Jahr folgender Energieverbrauch:

$$2kWh/m^3 * 72,105m^3/d * 365d = 52.636,65kWh/a$$

<sup>78</sup> telefonische Auskunft von Wilhelm am 2.4.04

<sup>79</sup> nach GEMIS Datenbank, Ökoinstitut 2002

<sup>80</sup> Peters (2002), S. 53

<sup>81</sup> Berechnung siehe Variante A3

## Variante B2

### *Trinkwasserversorgung*

Wasserbedarf:  $89 \text{ l/E} \cdot \text{d}$  Grauwasser =  $89 \text{ l/E} \cdot \text{d}$

Toilettenspülwasserbedarf wird aus Schwarzwasserkreislauf gedeckt.

$$89 \text{ l/(E} \cdot \text{d)} \cdot 627 \text{ E} \cdot 365 \text{ d} \cdot 10^{-3} = 20.368,10 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$20.368,10 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 1,181 = 24.054,73 \text{ m}^3/\text{a}$$

Energieverbrauch für Trinkwassergewinnung:  $0,7 \text{ kWh/m}^3$

$$24.054,73 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 0,7 \text{ kWh/m}^3 = \mathbf{16.838,31 \text{ kWh/a}}$$

### *Schwarzwasserkreislauf*

Der Energieverbrauch für den Schwarzwasserkreislauf liegt bei  $4,5 \text{ kWh/m}^3$  ohne die UV Desinfektion.

Der Energieverbrauch für die UV Desinfektion, der den größten Anteil am Gesamtenergiebedarf ausmacht, kann zum derzeitigen Entwicklungsstand nicht abgeschätzt werden.

Es wurde  $1 \text{ kWh/m}^3$  angenommen, Annahmen hierzu siehe unter Braunwasserkreislauf.

$$5,5 \text{ kWh/m}^3 \cdot 17,33 \text{ m}^3 \cdot 365 \text{ d} = 34.789,98 \text{ kWh/a}$$

### *Dünger*

Die Energieersparnis für die Düngemittelproduktion von  $2288,55 \text{ kg}$  Stickstoff beträgt  $9.400,78 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{a}$ . Werte für den Stickstoffanfall wurden unter Nährstoffgewinnung berechnet.

Die Energieersparnis für die Produktion von Magnesium und Phosphat wurde nicht berücksichtigt, da keine Werte vorliegen, wie viel von den einzelnen Substanzen anfällt. Jedoch ist bei den Berechnungen für den Urin zu sehen, dass der Anteil des Phosphates an der Gesamtsumme eher klein ist und somit vernachlässigt werden kann.

$$2288,55 \text{ kg/a} \cdot 10^3 \cdot 12,2 \text{ Wh}_{\text{prim}}/\text{g} \cdot 10^{-3} = 27.920,31 \text{ kWh}_{\text{prim}}/\text{a}$$

$$27.920,31 \text{ kWh}_{\text{prim}}/\text{a} \cdot \frac{1}{2,97} = 9.400,78 \text{ kWh/a}$$

### *Tauchtropfkörper*

Der Energieverbrauch inklusive der Druckerhöhung für die Betriebswasserversorgung beträgt weniger als  $2 \text{ kWh/m}^3$  Abwasser.

Es ergibt sich für das Jahr folgender Energieverbrauch:

$$2,0 \text{ kWh/m}^3 \cdot 72,105 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 365 \text{ d} = 52.636,66 \text{ kWh/a}$$

## Variante C1

### *Trinkwasserversorgung*

Wasserbedarf:  $89 \text{ l/E} \cdot \text{d}$  Grauwasser =  $89 \text{ l/E} \cdot \text{d}$

Toilettenspülwasserbedarf wird aus Betriebswasser gedeckt.

26l des Grauwasserbedarfes wird mit Betriebswasser gedeckt.

$$89 \text{ l/(E} \cdot \text{d)} \cdot 627 \text{ E} \cdot 365 \text{ d} \cdot 10^{-3} = 20.368,10 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$20.368,10 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 1,181 = 24.054,73 \text{ m}^3/\text{a}$$

Energieverbrauch für Trinkwassergewinnung:  $0,7 \text{ kWh/m}^3$

$$24.054,73 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 0,7 \text{ kWh/m}^3 = \mathbf{16.838,31 \text{ kWh/a}}$$

*Membranbioreaktor*

Der Energieverbrauch beträgt 1-1,5kWh/m<sup>3</sup> bei einem Abwasseranfall von 89,435m<sup>3</sup>/d.<sup>82</sup>

Der Energiebedarf für die Druckerhöhung durch Pumpen wird mit 0,2kWh/m<sup>3</sup> angenommen, als Förderhöhe, inklusive Verlusthöhen wurden hierbei 40m angesetzt.<sup>83</sup>

$$89,435m^3 * 1,7kWh / m^3 * 365d = 55.494,42kWh / a$$

---

<sup>82</sup> Email von Weise am 13.4.04

<sup>83</sup> Schneider (1998), S. 13.54

## Energiebedarf Berechnung1

	Konventionelle Sanierung	Variante A1 Urinseparation	Variante A2 Braunwasserkreislauf	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf	Variante C1 Membranbelebung
Trinkwasser zentral [m³/a]	32.268,55	28.835,73	20.368,10	20.368,10	20.368,10	20.368,10	20.368,10
Leitungsverluste, Faktor	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Summe	38.109,16	34.055,00	24.054,73	24.054,73	24.054,73	24.054,73	24.054,73
Energiebedarf für TW (Transp./Gewinnung) [kWh/m³]	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Energiebedarf TW [kWh/a]</b>	<b>26.676,41</b>	<b>23.838,50</b>	<b>16.838,31</b>	<b>16.838,31</b>	<b>16.838,31</b>	<b>16.838,31</b>	<b>16.838,31</b>
Abwasseranfall [m³/a]	60.136,84	53.673,78					32.268,56
Energiebedarf für Abwasserreinigung [kWh/m³]	0,68	0,68					1,70
<b>Energiebedarf AW [kWh/a]</b>	<b>41.133,60</b>	<b>36.498,17</b>					<b>54.856,55</b>
Grauwasseranfall [m³/a]			26.318,33	26.318,33	26.318,33	26.318,33	
Energiebedarf für Grauwasserreinigung [kWh/m³]			2,00	2,00	2,00	2,00	
<b>Energiebedarf GW [kWh/a]</b>			<b>52.636,66</b>	<b>52.636,66</b>	<b>52.636,66</b>	<b>52.636,66</b>	
Schwarzwasseranfall [m³/a]					1.748,35	6.325,45	
Energiebedarf für Schwarzwasserreinigung [kWh/m³]					2,60	5,50	
<b>Energiebedarf SW [kWh/a]</b>					<b>4.545,22</b>	<b>34.789,98</b>	
Braunwasseranfall [m³/a]			2.549,53	1.405,25			
Energiebedarf für Braunwasserreinigung [kWh/m³]			3,00	5,29			
<b>Energiebedarf BW [kWh/a]</b>			<b>7.648,59</b>	<b>7.434,06</b>			
<b>Energiebedarf Gesamt [kWh/a]</b>	<b>67.810,01</b>	<b>60.336,67</b>	<b>77.123,56</b>	<b>76.909,03</b>	<b>74.020,19</b>	<b>104.264,94</b>	<b>71.694,86</b>

Annahme: thermischer Energiebedarf der Biogasanlage wird durch Biogasertrag gedeckt

Energiebedarf zur Trinkwasserversorgung 0,7kWh/m³

In der Mischkanalisation macht häusliches Abwasser 44% des in der Kläranlage anfallenden Schmutzwassers aus, hinzu kommen Regenwasser und Fremdwasser, die Menge des Sickerwassers wurde abgezogen

**Energiebilanz Berechnung 1**

	Variante A1 Urinseparation [kWh/a]	Variante A2 Braunwasserkreislauf [kWh/a]	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf [kWh/a]	Variante C1 Membranbelebung [kWh/a]
Trinkwassergewinnung	23.838,50	16.838,31	16.838,31	16.838,31	16.838,31	16.838,31
Braunwasserkreislauf		7648,58				
Schwarzwasserkreislauf					37.339,50	
Biogasanlage			134,06	165,22		
Vakuumsammlung			7300	4380		
Membranbelebung						54.856,55
Tauchtropfkörper		52.636,66	52.636,66	52.636,66	52.636,66	
Abwasserreinigung	36.498,17					
Energiegutschriften aus Dünger	-4788,91	-4788,91	-2.500,47 -4788,91	-9.160,83	-9400,77	
konventionelles System						
Trinkwassergewinnung	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41
Abwasserreinigung	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60
<b>Summe</b>	<b>-12.262,25</b>	<b>4.524,63</b>	<b>1.809,64</b>	<b>-2.950,65</b>	<b>29.603,69</b>	<b>3.884,85</b>

**Stromverbrauch** Berechnung1

	Konventionelle Sanierung [kWh/a]	Variante A1 Urinseparation [kWh/a]	Variante A2 Braunwasserkreislauf [kWh/a]	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf [kWh/a]	Variante C1 Membranbelebung [kWh/a]
Trinkwasserpumpe							
Braunwasserkreislauf			7648,58				
Schwarzwasserkreislauf						37.339,50	
Biogasanlage (elektr.)				134,06	165,22		
Biogasanlage (therm.)				7300	4380		
Vakuumsammlung							54.856,55
Membranbelebung							
Tauchtropfkörper			47.372,99	47.372,99	47.372,99	47.372,99	
<b>Summe</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>55.021,57</b>	<b>54.807,05</b>	<b>51.918,21</b>	<b>84.712,49</b>	
Strompreis [€]	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
<b>Stromkosten [€/a]</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>6602,59</b>	<b>6576,85</b>	<b>6230,19</b>	<b>10165,50</b>	<b>6582,79</b>

Annahme: thermischer Energiebedarf der Biogasanlage wird durch Biogasertrag gedeckt

Energiebedarf zur Trinkwasserversorgung 0,7kWh/m<sup>3</sup>

Der Stromverbrauch für die Trinkwassergewinnung wurde für die Berechnung der Stromkosten nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass diese Kosten im Wasserpreis enthalten sind.

**Energiebedarf Auslegung des Tauchtropfkörpers/ der Membranbelebung auf Betriebswasserbedarf**

	Konventionelle Sanierung	Variante A1 Urinseparation	Variante A2 Braunwasserkreislauf	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf	Variante C1 Membranbelebung
Trinkwasser							
zentral [m³/a]	32.268,55	28.835,73	20.368,10	20.368,10	20.368,10	20.368,10	20.368,10
Leitungsverluste, Faktor	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Summe	38.109,16	34.055,00	24.054,73	24.054,73	24.054,73	24.054,73	24.054,73
Energiebedarf für TW (Transp./Gewinnung) [kWh/m³]	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Energiebedarf TW [kWh/a]</b>	<b>26.676,41</b>	<b>23.838,50</b>	<b>16.838,31</b>	<b>16.838,31</b>	<b>16.838,31</b>	<b>16.838,31</b>	<b>16.838,31</b>
Abwasseranfall [m³/a]	60.136,84	53.673,78	20.139,24	18.994,97	18.994,97	20.368,10	20.368,10
Energiebedarf für Abwasserreinigung [kWh/m³]	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
<b>Energiebedarf AW [kWh/a]</b>	<b>41.133,60</b>	<b>36.498,17</b>	<b>13.694,68</b>	<b>12.916,58</b>	<b>12.916,58</b>	<b>13.850,31</b>	<b>13.850,31</b>
Betriebswasserbedarf [m³/a]			6.179,09	7.323,36	7.323,36	5.950,23	11.900,46
Energiebedarf für TTK, Membranbel. [kWh/m³]			2,00	2,00	2,00	2,00	1,70
<b>Energiebedarf GW [kWh/a]</b>			<b>12.358,18</b>	<b>14.646,72</b>	<b>14.646,72</b>	<b>11.900,46</b>	<b>20.230,78</b>
Schwarzwasseranfall [m³/a]					1.748,35	6.325,45	
Energiebedarf für Schwarzwasserreinigung [kWh/m³]					2,60	5,50	
<b>Energiebedarf SW [kWh/a]</b>					<b>4.545,22</b>	<b>34.789,98</b>	
Braunwasseranfall [m³/a]			2.549,53	1.405,25			
Energiebedarf für Braunwasserreinigung [kWh/m³]			3,00	5,29			
<b>Energiebedarf BW [kWh/a]</b>			<b>7.648,59</b>	<b>7.434,06</b>			
<b>Energiebedarf Gesamt [kWh/a]</b>	<b>67.810,01</b>	<b>60.336,67</b>	<b>36.845,08</b>	<b>38.919,09</b>	<b>36.030,25</b>	<b>63.528,74</b>	<b>30.688,62</b>

**Energiebilanz: Auslegung des Tauchtropfkörpers/ der Membranbelebung für Betriebswasserbedarf**

	Variante A1 Urinseparation [kWh/a]	Variante A2 Braunwasserkreislauf [kWh/a]	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf [kWh/a]	Variante C1 Membranbelebung [kWh/a]
Trinkwassergewinnung	23.838,50	17.027,50	16.838,31	16.838,31	16.838,31	16.838,31
Braunwasserkreislauf		7648,58				
Schwarzwasserkreislauf					37.339,50	
Biogasanlage			134,06	165,22		
Vakuumsammlung			7300	4380		
Membranbelebung						20.230,78
Tauchtropfkörper		12.358,18	14.646,72	14.646,72	11.900,46	
Abwasserreinigung	36.498,17					
Energiegutschriften aus Dünger	-4788,91	-4788,91	-2.500,47 -4788,91	-9.160,83	-9400,77	
Grauwasserreinigung konventionelles System		13694,68	12916,58	12916,58	13850,31	13850,308
Trinkwassergewinnung	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41	-26.676,41
Abwasserreinigung	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60	-41.133,60
<b>Summe</b>	<b>-12.262,25</b>	<b>-21.869,98</b>	<b>-23.263,72</b>	<b>-28.024,01</b>	<b>2.717,80</b>	<b>-16.890,61</b>

**Stromverbrauch** Auslegung des Tauchtropfkörpers auf Betriebswasserbedarf

	Konventionelle Sanierung [kWh/a]	Variante A1 Urinseparation [kWh/a]	Variante A2 Braunwasserkreislauf [kWh/a]	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung [kWh/a]	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf [kWh/a]	Variante C1 Membranbelebung [kWh/a]
Trinkwasserpumpe							
Braunwasserkreislauf			7648,58				
Schwarzwasserkreislauf						37.339,50	
Biogasanlage (elektr.)				134,06	165,22		
Biogasanlage (therm.)				7300	4380		
Vakuumsammlung							17.850,69
Membranbelebung							
Tauchtropfkörper			12.358,18	14.646,72	14.646,72	11.900,46	
<b>Summe</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>20.006,76</b>	<b>22.080,78</b>	<b>19.191,94</b>	<b>49.239,96</b>	<b>17.850,69</b>
Strompreis [€]	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
<b>Stromkosten [€/a]</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>2400,81</b>	<b>2649,69</b>	<b>2303,03</b>	<b>5908,80</b>	<b>2142,08</b>

## Kosten und Leistungsverzeichnisse

### **Urinspeicher, Düngebehälter**

Es wird davon ausgegangen, dass für die Behälter Sonderanfertigungen erstellt werden. Dies erhöht natürlich die Kosten.

Es wäre zwar möglich die Volumina mit der Kombination einzelner in den Lieferprogrammen der Firmen erhältlichen Behälter zusammenzustellen, aber dies bedeutet einen nicht gerechtfertigt erscheinenden Flächenbedarf, der fast doppelt so groß ist. Außerdem verringern sich zumindest die Baukosten, da wesentlich kleinere Baugruben vorgesehen werden müssen.

#### **Urinspeicher, 13m<sup>3</sup>**

Für die Berechnung der Kosten wurde zunächst der Preis eines Gärrückstandbehälters von 25m<sup>3</sup> zugrunde gelegt<sup>84</sup> und dann der Preis auf die kleineren Anlagen heruntergerechnet. Da Sonderanfertigungen nicht aufgrund der Größe oder Materialkosten so teuer sind, wurden die Preise um 25% der Differenz erhöht. Analog wurde der Preis für den Düngebehälter berechnet.

$$17.998 * \frac{13}{25} = 9358,96$$

$$9358,96 + (17.998 - 9358,96) * \frac{1}{4} = 11.518,72\text{€}$$

Behälterabmessungen: 4,14\*2m Durchmesser

Baugrube inklusive Arbeitsräume: 5,75\*3,60 = 20,7m<sup>2</sup>

Baugrubentiefe: Behälterhöhe + Gefälle: 2,00 + 3,00m = 5,00m

Baugrubenaushub: 5,75\*3,60\* 5,00 = 103,5m<sup>3</sup>

Geschätzte Arbeitszeit für Einbau mit Mobilkran: 1h: 73,20 €

Mittlere Kosten nach SIRADOS Kostenplanungsprogramm

Einbau des Urinspeichers komplett: **11.591,5 €**

#### **Düngespeicher 20m<sup>3</sup>**

$$17.998 * \frac{20}{25} = 14398,40$$

$$14398,40 + (17.998 - 14398,40) * \frac{1}{4} = 15298,30\text{€}$$

Behälterabmessungen: 6,37\*2m Durchmesser

Baugrube inklusive Arbeitsräume: 8,00\*3,60 = 28,8 m<sup>2</sup>

Baugrubentiefe: Behälterhöhe + 1m Überdeckung: 1m +2,00m = 3,00m

Baugrubenaushub: 8\*3,60\* 3,00 = 86,4m<sup>3</sup>

Baugrube für Urinspeicher und Düngebehälter: 49,5 m<sup>2</sup>

Behälterabstand 1,60m

Geschätzte Arbeitszeit für Einbau mit Mobilkran: 1h: 73,20 €

Mittlere Kosten nach SIRADOS Kostenplanungsprogramm

<sup>84</sup> Peters (2002), S.71

Einbau des Düngespeichers komplett: **15.371,5 €**

Zum Vergleich wurden hier die Preise und der Flächenbedarf bei Verwendung von mehreren Behältern aus dem Lieferprogramm der Firma Graf ermittelt<sup>85</sup>:

### Urinspeicher

Gesamtvolumen: 12,8m<sup>3</sup>  
 Sammelgrube Herkules, Bauartzulassung DIBT Z-40.24-217, 9600 l Volumen: 2755,00 €  
 Sammelgrube Herkules, Bauartzulassung DIBT Z-40.24-217, 3200 l Volumen: 915,00 €  
 Überlaufwächter mit optischem und akustischem Signal: 119,00 €  
 Zulauf, Tankdom: 58,50 €  
 Entlüftungsabschluss DN 100: 43,50 €  
**3891,00 €**

Geschätzte Arbeitszeit für Einbau mit Mobilkran: 1h: 73,20 €  
 Mittlere Kosten nach SIRADOS Kostenplanungsprogramm

Einbau des Urinspeichers komplett: **3964,20 €**

Abmessungen der Einzelbehälter: 1,35\*0,9\* 1,60m, Abstand zwischen den Behältern: 0,60m  
 Gesamt: 8 Behälter a 1600 l Volumen: 12,8m<sup>3</sup>  
 Arbeitsräume: 0,80m  
 Baugrubenmaße: 7,0\*4,9 = 34,3m<sup>2</sup>  
 Baugrubentiefe: Behälterhöhe + Gefälle: 1,60 + 3,00m = 4,60m  
 Baugrubenaushub: 7\*4,90\* 4,60 = 157,78m<sup>3</sup>

### Düngespeicher

Gesamtvolumen: 19,2m<sup>3</sup>  
 Sammelgrube Herkules, Bauartzulassung DIBT Z-40.24-217, 9600 l Volumen: 2755,00 €  
 Sammelgrube Herkules, Bauartzulassung DIBT Z-40.24-217, 9600 l Volumen: 2755,00 €  
 Überlaufwächter mit optischem und akustischem Signal: 119,00 €  
 Zulauf, Tankdom: 58,50 €  
 Entlüftungsabschluss DN 100: 43,50 €  
**5731,00 €**

Geschätzte Arbeitszeit für Einbau mit Mobilkran: 1h: 73,20 €  
 Mittlere Kosten nach SIRADOS Kostenplanungsprogramm

Einbau des Düngespeichers komplett: **5804,20 €**

Abmessungen der Einzelbehälter: 1,35\*0,9\* 1,60m, Abstand zwischen den Behältern: 0,60m  
 Gesamt: 12 Behälter a 1600 l Volumen: 19,2m<sup>3</sup>  
 Arbeitsräume: 0,80m  
 Baugrubenmaße: 7,0\*6,85 = 47,95m<sup>2</sup>  
 Baugrubentiefe: Behälterhöhe + 1m Überdeckung: 1m + 1,60m = 2,60m  
 Baugrubenaushub: 7\*6,85\* 2,60 = 124,67m<sup>3</sup>

<sup>85</sup> Graf (2004): Fachhandelsprogramm für Kleinkläranlagen und Fäkalien-Sammelgruben. Das Abwasserprogramm 2004

## Rohrleitungen

Die Kosten für die Rohrleitungen und den Rohrgrabenbau wurden dem SIRADOS 2003 Kostenplanungsprogramm entnommen. Es wurden mittlere Preise angenommen. Es wurden nur die Kosten für die Rohrleitungen außerhalb des Hauses angesetzt. Eine Ermittlung der Rohrlängen und Durchmesser für die gesamten Gebäude hätte eine Ausführungsplanung verlangt, die den Rahmen der Arbeit gesprengt hätte.

## Grundleitungen

Die Nennweite der Rohrleitungen (Grundleitungen) wird in Deutschland nach DIN EN 752 „Entwässerungsanlagen außerhalb von Gebäuden“ und DIN 1986-100 bestimmt.

Für die Bestimmung ist der Schmutzwasserabfluss  $Q_{ww}$  maßgebend, der unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit aus der Summe der Anschlusswerte ermittelt wird. Außerdem gilt, dass alle im Erdreich verlegten Leitungen einen Mindestdurchmesser von DN 100 aufweisen sollten.<sup>86</sup>

Die in der DIN genannten Anschlusswerte sind jedoch auf konventionelle Sanitärkonzepte ausgerichtet, für eine genaue Berechnung müssten wesentlich kleinere Werte gewählt werden. Die Berechnung würde zu kleineren Nennweiten und damit zu einer Verbilligung der Varianten führen.

Das Gefälle für die Abwasserleitungen wurde zu 2 % gewählt.<sup>87</sup>

Für die Längenermittlung wurde das Gefälle aufgrund der Geringfügigkeit vernachlässigt. Wichtig ist vor allen Dingen, dass die Rohre im frostsicheren Bereich liegen, der in Korea, wie in Deutschland mit 1m unter Geländeoberkante definiert wird.

Als Material wurden PE-HD Rohre ausgewählt. Vorteile dieses Werkstoffes sind chemische Beständigkeit, ausreichende, mechanische Festigkeit, leichte Verwendbarkeit, geringes Gewicht und ausreichender Wärme- und Kältebeständigkeit, geringe Wandreibung.

## Urinleitung

überschlägliche Berechnung mit Anschlusswerten nach DIN 1986-100<sup>88</sup> angeschlossen sind 2 Trenntoiletten/WE, die als wasserlose Urinale betrachtet werden.

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{\Sigma DU}$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{60 * 2 * 0,1} = 1,73l / s \quad LW100$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{84 * 2 * 0,1} = 2,05l / s \quad LW100$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{144 * 2 * 0,1} = 2,68l / s \quad LW100$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{72 * 2 * 0,1} = 1,90l / s \quad LW100$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{216 * 2 * 0,1} = 3,29l / s \quad LW100$$

Die Abflüsse wurden für Haus C, Haus B, Haus C und B, Haus A, Haus A, B und C ermittelt. Gewählte Rohrleitung: PE-HD, DN 100

## Grauwasserleitung

Angeschlossen sind 2 Handwaschbecken, 1 Küchenabflusstelle inklusive einfachen und doppelten Spültischen, Geschirrspülmaschine und Waschmaschine, 1 Badewanne

<sup>86</sup> Feurich (2002), S. 71

<sup>87</sup> Hosang, Bischof (1998), S. 57

<sup>88</sup> Feurich (2002), S. 73

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{\Sigma DU}$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{60 * 3,3} = 7,04l / s \quad LW125$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{84 * 3,3} = 8,32l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{144 * 3,3} = 10,90l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{72 * 3,3} = 7,71l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{216 * 3,3} = 13,35l / s \quad LW200$$

Die Abflüsse wurden für Haus C, Haus B, Haus C und B, Haus A, Haus A, B und C ermittelt.

Gewählte Rohrleitung: PE-HD, DN 125  
PE-HD, DN 150  
PE-HD, DN 200

### Schwarzwasserleitung Standardtoilette

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{\Sigma DU}$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{60 * 2 * 2} = 7,75l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{84 * 2 * 2} = 9,17l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{144 * 2 * 2} = 12,00l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{72 * 2 * 2} = 8,49l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{216 * 2 * 2} = 14,70l / s \quad LW200$$

Die Abflüsse und lichten Weiten wurden für Haus C, Haus C und B, und Haus C, B und A ermittelt.

Gewählte Rohrleitung: PE-HD, DN 150  
PE-HD, DN 200

### Schwarzwasserleitung Trenntoilette

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{\Sigma DU}$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{60 * 2 * 1,8} = 7,35l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{84 * 2 * 1,8} = 8,70l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{144 * 2 * 1,8} = 11,38l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{72 * 2 * 1,8} = 8,05l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{216 * 2 * 1,8} = 13,94l / s \quad LW200$$

Der kleinste angegebene Anschlusswert für Toiletten ist 1,8 für ein WC mit 4,0/4,5l Spülkasten. Bei der Trenntoilette sind jedoch wesentlich geringer Spülmengen anzunehmen. Dadurch würden sich die Nennweiten erheblich verkleinern.

Die Abflüsse und lichten Weiten wurden für Haus C, Haus C und B, und Haus C, B und A ermittelt.

Gewählte Rohrleitung: PE-HD, DN 150  
PE-HD, DN 200

**Schwarzwasserleitung Vakuumtoilette**

Gewählte Rohrleitung: PE-HD, DN 150, für die Einzelhäuser

PE-HD, DN 200, beim Zusammenfließen des Schwarzwassers aus den Häusern.<sup>89</sup>**Leitung für Schwarz- und Grauwasser**

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{\Sigma DU}$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{60 * 7,3} = 10,46 l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{84 * 7,3} = 12,38 l / s \quad LW200$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{144 * 7,3} = 16,21 l / s \quad LW200$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{72 * 7,3} = 11,46 l / s \quad LW150$$

$$Q_{ww} = 0,5 * \sqrt{216 * 7,3} = 19,85 l / s \quad LW200$$

Die Abflüsse und lichten Weiten wurden für Haus C, Haus C und B, und Haus C, B und A ermittelt.

Gewählte Rohrleitung: PE-HD, DN 150  
PE-HD, DN 200

**Trinkwasserleitungen, Betriebswasserleitungen**Bemessung nach Arbeitsblatt 308 des DVGW.<sup>90</sup>

Gewählte Rohrleitung: PE-HD, DN 80

**Rohrgrabenbreite**Die Rohrgrabenbreite wurde überschläglich berechnet.<sup>91</sup>

Die Tiefe der Rohrgräben ergibt sich aus der Überdeckung von 1m zur Frostsicherung, 2m Tiefe aufgrund des Gefälles, den einzelnen Rohrquerschnitten und vertikalen Abständen von 30 cm. Die Rohrgrabenlängen (lfdm) ebenso wie die Leitungslängen in den Leistungsverzeichnissen sind den Zeichnungen entnommen und auf m gerundet worden.

Konventionelle Sanierung: b = 1,15m, T = 3,60 m

$$T = 1m + 0,20 + 0,20 + 0,30 + 2,00 = 3,70 m$$

$$b = d_{a1} + d_{a2} + a_1 + a_2 = 20,0 + 20,0 + 35 + 40 = 115cm$$

$$\text{Baugrubenaushub: } 1,15 * 3,70 * 123 \text{ lfdm} = 523,37 m^3$$

Variante A1: b = 1,05m, T = 3,60 m

$$T = 1m + 0,10 + 0,20 + 0,30 + 2,00 = 3,60 m$$

$$b = d_{a1} + d_{a2} + a_1 + a_2 = 10,0 + 20,0 + 35 + 40 = 105cm$$

$$\text{Baugrubenaushub: } 1,05 * 3,60 * 126 \text{ lfdm} = 476,28 m^3$$

Variante A2: b = 1,60m, T = 4,10 m

$$T = 1m + 0,10 + 0,20 + 0,20 + 0,30 + 0,30 + 2,00 = 4,10m$$

$$b = d_{a1} + d_{a2} + d_{a3} + a_1 + a_2 + a_3 = 10,0 + 20,0 + 20,0 + 35 + 40 + 35 = 160cm$$

$$\text{Baugrubenaushub: } 1,60 * 4,10 * 117 \text{ lfdm} = 767,52 m^3$$

<sup>89</sup> telefonische Auskunft von Ruster am 25.3.2004

<sup>90</sup> Müller, Korda (1999), S. 404

<sup>91</sup> Hosang, Bischoff (1998), S. 131, 132

Variante A3:  $b = 1,60\text{m}$ ,  $T = 4,10\text{ m}$

$T = 1\text{m} + 0,10 + 0,20 + 0,20 + 0,30 + 0,30 + 2,00 = 4,10\text{m}$

$b = d_{a1} + d_{a2} + d_{a3} + a_1 + a_2 + a_3 = 10,0 + 20,0 + 20,0 + 35 + 40 + 35 = 160\text{cm}$

Baugrubenaushub:  $1,60 * 4,10 * 117\text{ lfdm} = 767,52\text{ m}^3$

Variante B1:  $b = 1,15\text{m}$ ,  $T = 3,70\text{ m}$

$T = 1\text{m} + 0,20 + 0,20 + 0,30 + 2,00 = 3,70\text{m}$

$b = d_{a1} + d_{a2} + a_1 + a_2 = 20,0 + 20,0 + 35 + 40 = 115,0\text{cm}$

Baugrubenaushub:  $1,15 * 3,70 * 114\text{ lfdm} = 485,07\text{ m}^3$

Variante B2:  $b = 1,15\text{m}$ ,  $T = 3,70\text{ m}$

$T = 1\text{m} + 0,20 + 0,20 + 0,30 + 2,00 = 3,70\text{m}$

$b = d_{a1} + d_{a2} + a_1 + a_2 = 20,0 + 20,0 + 35 + 40 = 115,0\text{cm}$

Baugrubenaushub:  $1,15 * 3,70 * 114\text{ lfdm} = 485,07\text{ m}^3$

Variante C1:  $b = 0,80\text{m}$ ,  $T = 3,20\text{ m}$

$T = 1\text{m} + 0,20 + 2,00 = 3,20\text{m}$

$b = d_{a1} + a_1 = 20 + 40 = 60,0\text{ cm}$  , Mindestbreite  $0,80\text{m}$ <sup>92</sup>

Baugrubenaushub:  $0,80 * 3,20 * 114\text{ lfdm} = 291,84\text{ m}^3$

### **Durchflussbegrenzer**

Die Kosten für die Durchflussbegrenzer sind einem Faltblatt der Hamburger Wasserwerke entnommen worden.<sup>93</sup> Dort wurden für diese Einrichtungen Preise zwischen 3-13 € angegeben. Gerechnet wurde mit einem Wert von 8 €. Inklusive Einbau wird mit 10 € gerechnet.

### **Tauchtropfkörper**

Kosten für eine Tauchtropfkörperanlage für einen Grauwasseranfall von  $100\text{m}^3/\text{d}$ , inklusive Einbau und Montage, ohne Transport, mit Pufferbehältern:  $228.000\text{ €}$ .<sup>94</sup>

Um die ungefähren Kosten für eine kleinere Anlage zu berechnen, wurde der Preis zunächst anteilmäßig berechnet. Da sich der Preis einer Anlage nicht proportional zu ihrer Größe verhält, wurden dann von der Differenz 25 % zugeschlagen.

$$228.000 * \frac{72,105}{100} = 164399,4$$

$$164.399,4 + (228.000 - 164.399,4) * \frac{1}{4} = 180.299,55\text{€}$$

Für den Tauchtropfkörper werden **180.299,55€** angesetzt.

Berechnung der Kosten des Tauchtropfkörpers für die Auslegung auf den Betriebswasserbedarf von  $16,302\text{m}^3/\text{d}$  bzw.  $20,064\text{m}^3/\text{d}$ . Pauschal wurden auf den Preis  $10.000\text{ €}$  aufgeschlagen, da der Preis nicht proportional zur Anlagengröße abnimmt.

<sup>92</sup> Hosang, Bischoff (1998); S.131, Tafel 2.34

<sup>93</sup> Hamburger Wasserwerke GmbH (2002)

<sup>94</sup> Telefonische Auskunft von Wilhelm am 2.4.04

$$228.000 * \frac{16,302}{100} = 37.168,56\text{€}$$

$$37.168,56 + 10.000 = 47.168,56\text{€}$$

$$228.000 * \frac{20,064}{100} = 45.745,52\text{€}$$

$$45.745,52 + 10.000 = 55.745,52\text{€}$$

Diese Summe deckt sich auch in etwa mit den Angaben der Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. von ca. 300€ Investitionskosten/Einwohner für eine Grauwasseraufbereitungsanlage.<sup>95</sup>

### **Schwarzwasserkreislauf**

Die Anlagenhersteller der einzelnen Komponenten haben für eine Schwarzwasseranlage für ca. 300 EW einen Preis von 37.000 € kalkuliert. Es wird angenommen, dass die Montage in Containern darin schon enthalten ist.

Mündliche Auskunft, Uli Braun TU Hamburg-Harburg

Der Preis wurde auf 627 EW hochgerechnet und dann um 25 % der Differenz reduziert.

$$37.000 * \frac{627}{300} = 77.329,99$$

$$77.329,99 - (77.329,99 - 37.000) * \frac{1}{4} = 67.247,49\text{€}$$

Geschätzte Arbeitszeit für Einbau mit Mobilkran: 1h:	73,20 €
Mittlere Kosten nach SIRADOS Kostenplanungsprogramm	
Einbau des Schwarzwasserkreislaufanlage komplett:	<b>67.320,69 €</b>

### **Braunwasserkreislauf**

Die Kosten für den Braunwasserkreislauf wurden im Verhältnis der anfallenden Abwasservolumina berechnet und dann um 15 % der Differenz erhöht. Mit der Annahme von 15% (im Gegensatz zu vorher 25%) wird die Verkleinerung der Membranbelegung im Braunwasserkreislauf durch geringere Stickstofffrachten in die Rechnung einbezogen.

$$67.247,49 * \frac{6,985}{17,330} = 27.104,66$$

$$27.104,66 + (67.247,49 - 27.104,66) * \frac{3}{20} = 33.126,08\text{€}$$

Geschätzte Arbeitszeit für Einbau mit Mobilkran: 1h:	73,20 €
Mittlere Kosten nach SIRADOS Kostenplanungsprogramm	
Einbau der Braunwasserkreislaufanlage komplett:	<b>33.199,28 €</b>

### **Biogasanlage**

Preise für die Biogasanlage, inklusive Hygienisierung Geräte Biomüllzugabe, Behälter Biogasanlage, Technische Ausrüstung der Biogasanlage und Gasspeicher sind der Diplomarbeit von Peters entnommen.<sup>96</sup> Er beträgt insgesamt 160.533 €. Es wird davon ausgegangen, dass die Preise für den Einbau schon enthalten sind.

<sup>95</sup> Fachvereinigung für Betriebs- und Regenwassernutzung (2004), S. 19

<sup>96</sup> Peters (2002), Anhang S. 71

Der Fermenter ist 72m<sup>3</sup> groß. Der Preis wurde für die gewünschten Anlagengrößen (Fermenter 80m<sup>3</sup> bzw. 100m<sup>3</sup>) hochgerechnet und dann um 25% der Differenz reduziert.

$$160.533 * \frac{80}{72} = 178.370\text{€}$$

$$178.370 - (178.370 - 160.533) * \frac{1}{4} = 173.910,75\text{€}$$

$$160.533 * \frac{100}{72} = 222.962,5$$

$$222.962,5 - (222.962,5 - 160.533) * \frac{1}{4} = 207.355,13\text{€}$$

### **Vakuumstation**

Vakuumstation Typ 360, incl. Schmutzwassertank: 45.000 €

Vakuumstation Typ 140, incl Tank von 1,6m<sup>3</sup> : 36.000 €

Preise nach telefonischer Auskunft, FA Roediger, Herr Rüster

Für die Montage der Anlage werden jeweils 250 € veranschlagt.

Einzelpreis Variante A3: 45.000€ + 36.000€ + 500€ = 81.500€

Einzelpreis Variante B1: 45.000€ + 500€ = 45.500€

### **Membranbelebungsanlage**

Die Anlage kostet ca. 100.000 €, davon betragen alleine die Kosten für die Membran 26.000 €.<sup>97</sup>

Für die Aufstellung der Anlage werden 1000 € angenommen.

### **Wasserpreise**

Die Wasserpreise in Seoul betragen 1350 Won/m<sup>3</sup> inklusive Trinkwassergebühren, Wasserschutzgebühr und Abwassergebühr.

Zahlen von der Stadtverwaltung Seoul (11/2003) unter [www.water.seoul.go.kr](http://www.water.seoul.go.kr)

Bei der Umrechnung in Euro wurde davon ausgegangen, dass 1500 Won einem € entsprechen. Pro m<sup>3</sup> Wasser sind also 0,90 € Gebühren zu zahlen.

Der Gebührenanteil für Abwasser beträgt 440 Won, das entspricht knapp 0,30 €, für Trinkwasser 790 Won (52 Cent) und für Wasserschutzgebühren 120 Won ( 0,08 €.)

Bei den Berechnungen wurden die Wasserschutzgebühren mit zu den Gebühren für das Trinkwasser gerechnet.

### **Strompreise**

Da in Seoul keine genauen Strompreise ermittelt werden konnten, wird von einem Strompreis von 12 Cent/kWh ausgegangen.

### **Amortisation**

Für die Berechnung der Amortisationszeiten wurde nur die Kostenersparnis durch die Trinkwassereinsparung angerechnet. Mögliche Gewinne aus dem Verkauf der gewonnenen Dünger aus Urin und Fäkalien wurden nicht angesetzt, ebenso wenig wurden die Energiegewinne durch die Methangasproduktion aus der Biogasanlage berücksichtigt.

<sup>97</sup> Email von Weise vom 13.04.04

<b>Leistungsverzeichnis Konventionelle Sanierung</b>					
Standardspartoiletten					
<b>Pos</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>	<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>	<b>Einzelpreis</b>	<b>Gesamtpreis</b>
<b>100</b>	<b>Gebäudetechnik</b>				
101	Einbau von Durchflussbegrenzern für Wasserhähne und Brausen	864	Stck	10,00	8640,00
102	Einbau von Standardspartoiletten	432	Stck	367,40	158716,80
103	Verlegen von Grauwasserleitungen Material, DN		lfdm		
104	Verlegen von Schwarzwasserleitungen Material, DN		lfdm		
<b>200</b>	<b>Rohrtechnik</b>				
201	Rohrgrabenaushub, einschl. Verbau und Verfüllung mit seitlich gelagertem Aushubmaterial, bis 4m Tiefe	523,37	m <sup>3</sup>	34,60	18108,60
202	Verlegen von Grauwasserleitungen,PE-HD nach DIN 19537, DN 125	50,0	lfdm	24,00	1200,00
203	Verlegen von Grauwasserleitungen,PE-HD nach DIN 19537, DN 150	50,0	lfdm	40,70	2035,00
204	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 200	13,0	lfdm	53,50	695,50
205	Verlegen von Schwarzwasserleitungen,PE-HD nach DIN 19537 DN 150	54,0	lfdm	40,70	2197,80
	Verlegen von Schwarzwasserleitungen,PE-HD nach DIN 19537 DN 200	67,0	lfdm	53,50	3584,50
<b>Gesamtsumme</b>					<b>195178,20 €</b>

**Leistungsverzeichnis Variante A1**

Pos	Urinseparation	Kurzbeschreibung	Menge	Einheit	Einzelpreis	Gesamtpreis
100	<b>Gebäudetechnik</b>					
101		Einbau von Durchflussbegrenzern für Wasserhähne und Brausen	864	STck	10,00	8640,00
102		Einbau von Urintrenntoiletten Modell Roediger	432	Stck	770,00	332640,00
103		Verlegen von Urinleitungen DN, Material		lfdm		
104		Verlegen von Grauwasserleitungen, DN, Material		lfdm		
105		Verlegen von Schwarzwasserleitungen, DN, Material		lfdm		
106		Kernbohrung		Anzahl		
200	<b>Rohrleitungsbau</b>					
201		Rohrgrabenaushub, einschl. Verbau und Verfüllung mit seitlich gelagertem Aushubmaterial, bis 4m Tiefe	476,28	m <sup>3</sup>	34,60	16479,29
202		Verlegen von Urinleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN100	106,0	lfdm	22,40	2374,40
203		Verlegen von Grau- und Braunwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 150	54,0	lfdm	40,70	2197,80
204		Verlegen von Grau- und Braunwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 200	67,0	lfdm	53,50	3584,50
205		Verlegen von Braunwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 150 mit Anschluss an die Grauwasserleitung	1,5	lfdm	40,70	61,05
300	<b>Anlagen</b>					
301		Herstellung einer Baugrubensicherung mittels Trägerbohlwand		pauschal	14061,00	14061,00
302		Bodenaushub bis 5,00m Tiefe	103,5	m <sup>3</sup>	15,10	1562,85
303		Einsetzen des Urinspeichers mit Mobilkran		pauschal	11591,20	11591,20
<b>Gesamtsumme</b>						<b>393192,09 €</b>

**Leistungsverzeichnis Variante A2**

Urinseparation, Braunwasserkreislauf mit Trenntoilette, Tauchtropfkörper

<b>Pos</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>	<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>	<b>Einzelpreis [€]</b>	<b>Gesamtpreis [€]</b>
100	<b>Gebäudetechnik</b>				
101	Einbau von Durchflussbegrenzern für Wasserhähne und Brausen	864	Stck.	10,00	8640,00
102	Einbau von Urintrenntoiletten Roediger	432	Stck.	770,00	332640,00
103	Verlegen von Urinleitungen DN, Material		lfdm		
104	Verlegen von Grauwasserleitungen DN, Material		lfdm		
105	Verlegen von Braunwasserleitungen DN, Material		lfdm		
106	Verlegen von Betriebswasserleitungen DN, Material		lfdm		
107	Verlegen von Leitungen für Toilettenspülwasser DN, Material		lfdm		
108	Kernbohrung		Anzahl		
200	<b>Rohrleitungsbau</b>				
201	Rohrgrabenaushub, einschl. Verbau und Verfüllung mit seitlich gelagertem Aushubmaterial, bis 5m Tiefe	767,52	m³	48,90	37531,73
202	Verlegen von Urinleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN100	106,00	lfdm	22,40	2374,40
203	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 125	50,00	lfdm	24,00	1200,00
204	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 150	50,00	lfdm	40,70	2035,00
205	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 200	10,00	lfdm	53,50	535,00
206	Verlegen von Braunwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 150	100,00	lfdm	40,70	4070,00
207	Verlegen von Braunwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 200	10,00	lfdm	53,50	535,00
205	Verlegen von Betriebswasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 80	110,00	lfdm	21,30	2343,00
206	Verlegen von Leitungen für Toilettenspülwasser PE-HD nach DIN 19537, DN 80	110,00	lfdm	21,30	2343,00
300	<b>Anlagen</b>				
301	Herstellung einer Baugrubensicherung mittels Trägerbohlwand		pauschal	14061,00	14061,00
302	Bodenaushub bis 5,00m Tiefe	103,5	m³	15,10	1562,85
303	Einsetzen des Urinspeichers mit Mobilkran		pauschal	11591,20	11591,20
303	Braunwasserkreislaufanlage in Standardcontainer (5,90m*2,35m*2,40m) mit Mobilkran einsetzen		pauschal	33199,28	33.199,28
304	Aufstellung eines Tauchtropfkörpers		pauschal	180299,55	180.299,55
<b>Gesamtsumme:</b>					<b>634961,01 €</b>

**Leistungsverzeichnis Variante A3**

Urinseparation, Biogasanlage mit Vakuumsammlung, Tauchtropfkörper

<b>Pos</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>	<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>	<b>Einzelpreis [€]</b>	<b>Gesamtpreis [€]</b>
100	<b>Gebäudetechnik</b>				
101	Einbau von Durchflussbegrenzern für Wasserhähne und Brausen	864	Stck	10,00	8640,00
102	Einbau von Vakuumentrenntoiletten	432	Stck.	915,00	395280,00
103	Verlegen von Urinleitungen DN, Material		lfdm.		
104	Verlegen von Grauwasserleitungen DN, Material		lfdm.		
105	Verlegen von Braunwasserleitungen DN, Material		lfdm.		
106	Verlegen von Betriebswasserleitungen DN, Material		lfdm.		
107	Kernbohrung		Anzahl		
200	<b>Rohrleitungsbau</b>				
201	Rohrgrabenaushub, einschl. Verbau und Verfüllung mit seitlich gelagertem Aushubmaterial, bis 5m Tiefe	767,52	m³	48,90	37531,73
202	Verlegen von Urinleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN100	106,00	lfdm	22,40	2374,40
203	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 125	50,00	lfdm	24,00	1200,00
204	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 150	50,00	lfdm	40,70	2035,00
205	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 200	10,00	lfdm	53,50	535,00
206	Verlegen von Braunwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 150	100,00	lfdm	40,70	4070,00
207	Verlegen von Braunwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 200	10,00	lfdm	53,50	535,00
208	Verlegen von Betriebswasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 80	110,00	lfdm	21,30	2343,00
300	<b>Anlagen</b>				
301	Herstellung einer Baugrubensicherung mittels Trägerbohlwand		pauschal	14061,00	14061,00
302	Bodenaushub bis 5,00m Tiefe	103,5	m³	15,10	1562,85
303	Einsetzen des Urinspeichers mit Mobilkran		pauschal	11591,20	11591,20
304	Aufstellung einer Vakuumstation Roediger Typ 360 und Typ 140		pauschal	81500,00	81500,00
305	Aufstellung einer Biogasanlage mit Hygienisierung, Fermenter 80m³		pauschal	173910,75	173910,75
306	Baugrubenaushub bis 3,50m für Düngespeicher	86,4	m³	5,05	436,32
307	Düngebehälter mit Mobilkran einsetzen		pauschal	15371,50	15371,50
308	Aufstellung eines Tauchtropfkörpers		pauschal	180299,55	180299,55
<b>Gesamtsumme</b>					<b>933277,30 €</b>

**Leistungsverzeichnis Variante B1**

<b>Pos</b>	<b>Biogasanlage mit Vakuumsammlung, Tauchtropfkörper</b> <b>Kurzbeschreibung</b>	<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>	<b>Einzelpreis</b> [€]	<b>Gesamtpreis</b> [€]
100	<b>Gebäudetechnik</b>				
101	Einbau von Durchflussbegrenzern für Wasserhähne und Brausen	864	STck	10,00	8640,00
102	Einbau von Vakuumtoiletten Modell Roediger	432	Stck.	640,00	276480,00
103	Verlegen von Grauwasserleitungen DN, Material		lfdm.		
104	Verlegen von Schwarzwasserleitungen DN, Material		lfdm.		
105	Verlegen von Betriebswasserleitungen DN, Material		lfdm.		
106	Kernbohrung		Anzahl		
200	<b>Rohrleitungsbau</b>				
201	Rohrgrabenaushub, einschl. Verbau und Verfüllung mit seitlich gelagertem Aushubmaterial, bis 4m Tiefe	485,07	m³	34,60	16783,42
202	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 125	50,00	lfdm	24,00	1200,00
203	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 150	50,00	lfdm	40,70	2035,00
204	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 200	10,00	lfdm	53,50	535,00
205	Verlegen von Schwarzwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 150	100,00	lfdm	40,70	4070,00
206	Verlegen von Schwarzwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 200	10,00	lfdm	53,50	535,00
207	Verlegen von Betriebswasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 80	110,00	lfdm	21,30	2343,00
300	<b>Anlagen</b>				
301	Aufstellung einer Vakuumstation Roediger Typ 360		pauschal	45500,00	45.500,00
302	Aufstellung einer Biogasanlage mit Hygienisierung, Fermenter 100m³		pauschal	207355,13	207.355,13
303	Herstellung einer Baugrubensicherung mittels Trägerbohlwand		pauschal	14061,00	14.061,00
304	Baugrubenaushub bis 3,50m für Düngespeicher	86,4	m³	5,05	436,32
305	Düngebehälter mit Mobilkran einsetzen		pauschal	15371,50	15.371,50
306	Aufstellung eines Tauchtropfkörpers für einen Grauwasseranfall von 72,105 m³/d		pauschal	180299,55	180.299,55
			<b>Gesamtsumme</b>		<b>775.644,92 €</b>

<b>Leistungsverzeichnis Variante B2</b>						
Schwarzwasserkreislauf, Tauchtropfkörper						
Pos	Kurzbeschreibung	Menge	Einheit	Einzelpreis [€]	Gesamtpreis [€]	
100	<b>Gebäudetechnik</b>					
101	Einbau von Durchflussbegrenzern für Wasserhähne und Brausen	864	Stck.	10,00	8640,00	
102	Einbau von Standardspartoiletten	432	Stck.	367,40	158716,80	
103	Verlegen von Grauwasserleitungen DN, Material		lfdm			
104	Verlegen von Schwarzwasserleitungen DN, Material		lfdm			
105	Verlegen von Betriebswasserleitungen DN, Material		lfdm			
106	Verlegen von Toilettenspüleleitungen DN, Material		lfdm			
107	Kernbohrung		Anzahl			
200	<b>Rohrleitungsbau</b>					
201	Rohrgrabenaushub, einschl. Verbau und Verfüllung mit seitlich gelagertem Aushubmaterial, bis 4m Tiefe	485,07	m³	34,60	16783,42	
202	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 125	50,00	lfdm	24,00	1200,00	
203	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 150	50,00	lfdm	40,70	2035,00	
204	Verlegen von Grauwasserleitungen, PE-HD nach DIN 19537, DN 200	10,00	lfdm	53,50	535,00	
205	Verlegen von Schwarzwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 150	100,00	lfdm	40,70	4070,00	
206	Verlegen von Schwarzwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 200	10,00	lfdm	53,50	535,00	
207	Verlegen von Betriebswasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 80	110,00	lfdm	21,30	2343,00	
208	Verlegen von Toilettenspüleleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 80	110,00	lfdm	21,30	2343,00	
300	<b>Anlagen</b>					
301	Schwarzwasserkreislaufanlage in 2 Standarcontainern 2* (5,90m*2,35m*2,40m) mit Mobilkran einsetzen		pauschal	67320,69	67.320,69	
302	Aufstellung eines Tauchtropfkörpers		pauschal	180299,55	180.299,55	
<b>Gesamtsumme</b>					<b>444.821,46 €</b>	

<b>Leistungsverzeichnis Variante C1</b>						
Standardspartoiletten, Membranbelebungsanlage, Tauchtropfkörper						
<b>Pos</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>	<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>	<b>Einzelpreis [€]</b>	<b>Gesamtpreis [€]</b>	
100	<b>Gebäudetechnik</b>					
101	Einbau von Durchflussbegrenzern für Wasserhähne und Brausen	864	Stck	10,00	8640,00	
102	Einbau von Standardspartoiletten	432	Stck.	367,40	158716,80	
103	Verlegen von Abwasserleitungen DN, Material		lfdm.			
104	Verlegen von Betriebswasserleitungen DN, Material		lfdm.			
105	Kernbohrung		Anzahl			
200	<b>Rohrleitungsbau</b>					
201	Rohrgrabenaushub, einschl. Verbau und Verfüllung mit seitlich gelagertem Aushubmaterial, bis 4m Tiefe	291,84	m <sup>3</sup>	34,6	10097,66	
202	Verlegen von Abwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN150	54	lfdm	40,70	2197,80	
203	Verlegen von Abwasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN200	56	lfdm	53,50	2996,00	
204	Verlegen von Betriebswasserleitungen PE-HD nach DIN 19537, DN 80	110	lfdm	21,30	2343,00	
300	<b>Anlagen</b>					
301	Aufstellung einer Membranbelebungsanlage		pauschal		101.000	
<b>Gesamtsumme</b>					<b>285991,26 €</b>	

**Kostensparnis Berechnung 1**

	Konventionelle Sanierung	Variante A1 Urinseparation	Variante A2 Braunwasserkreislauf	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf	Variante C1 Membranbelebung
Trinkwasserverbrauch [m³/d]	88,407	79,00	55,80	55,80	55,80	55,80	55,80
Trinkwasserverbrauch [m³/a]	32268,555	28835,73	20368,095	20368,095	20368,095	20368,095	20368,095
Trinkwasserersparnis gegenüber konv. Sanierung in [m³/a]		3432,825	11900,46	11900,46	11900,46	11900,46	11900,46
Trinkwasser- und Wasserschutzkosten [€/m³]		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
<b>Kostensparnis durch Reduzierung des Wasserverbrauches [€/a]</b>		<b>2059,695</b>	<b>7140,276</b>	<b>7140,276</b>	<b>7140,276</b>	<b>7140,276</b>	<b>7140,276</b>
Abwasserableitung [m³/d]	89,435	79,09					
Abwasserableitung [m³/a]	32643,775	28867,85					
Reduktion der Abwasserableitung gegenüber konv. Sanierung in [m³/a]		3775,925	32643,775	32643,775	32643,775	32643,775	32643,775
Abwasserkosten [€/m³]		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>Kostensparnis durch Reduzierung der Abwasserableitung [€/a]</b>		<b>1132,7775</b>	<b>9793,1325</b>	<b>9793,1325</b>	<b>9793,1325</b>	<b>9793,1325</b>	<b>9793,1325</b>
<b>Kostensparnis gegenüber konventioneller Sanierung in [€/a]</b>		<b>3192,4725</b>	<b>16933,4085</b>	<b>16933,4085</b>	<b>16933,4085</b>	<b>16933,4085</b>	<b>16933,4085</b>

Berechnung mit Wasserpreisen in Seoul

Anmerkung: in den Varianten A2, A3, B1, B2 und C1 wird zwar Wasser über die Kanäle abgeleitet, hierbei handelt es sich jedoch nicht um Abwasser, sondern um bereits aufbereitetes Grauwasser, was in den nächsten Vorfluter eingeleitet werden kann.

Abwasserableitung größer als Trinkwasserverbrauch wegen Berücksichtigung von Urin und Fäkalien

**Kostensparnis Berechnung 2**

	Konventionelle Sanierung	Variante A1 Urinseparation	Variante A2 Braunwasserkreislauf	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf	Variante C1 Membranbelebung
Trinkwasserverbrauch [m³/d]	88,407	79,00	55,80	55,80	55,80	55,80	55,80
Trinkwasserverbrauch [m³/a]	32268,555	28835,73	20368,095	20368,095	20368,095	20368,095	20368,095
Trinkwasserersparnis gegenüber konv. Sanierung in [m³/a]		3432,825	11900,46	11900,46	11900,46	11900,46	11900,46
Trinkwasser- und Wasserschutzkosten [€/m³]		1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
<b>Kostensparnis durch Reduzierung des Wasserverbrauches [€/a]</b>		<b>4771,62675</b>	<b>16541,6394</b>	<b>16541,6394</b>	<b>16541,6394</b>	<b>16541,6394</b>	<b>16541,6394</b>
Abwasserableitung [m³/d]	89,435	79,09					
Abwasserableitung [m³/a]	32643,775	28867,85					
Reduktion der Abwasserableitung gegenüber konv. Sanierung in [m³/a]		3775,925	32643,775	32643,775	32643,775	32643,775	32643,775
Abwasserkosten [€/m³]		2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58
<b>Kostensparnis durch Reduzierung der Abwasserableitung [€/a]</b>		<b>9741,8865</b>	<b>84220,9395</b>	<b>84220,9395</b>	<b>84220,9395</b>	<b>84220,9395</b>	<b>84220,9395</b>
<b>Kostensparnis gegenüber konventioneller Sanierung in [€/a]</b>		<b>14513,5133</b>	<b>100762,5789</b>	<b>100762,5789</b>	<b>100762,5789</b>	<b>100762,5789</b>	<b>100762,5789</b>

Berechnung mit Wasserpreisen aus Hamburg

Anmerkung: in den Varianten A2, A3, B1, B2 und C1 wird zwar Wasser über die Kanäle abgeleitet, hierbei handelt es sich jedoch nicht um Abwasser, sondern um bereits aufbereitetes Grauwasser, was in den nächsten Vorfluter eingeleitet werden kann.

## Amortisation Berechnung 1

	Konventionelle Sanierung	Variante A1 Urinseparation	Variante A2 Braunwasserkreislauf	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B2 Schwarzwasserkreislauf	Variante C1 Membranbelebung
<b>Investitionskosten [€]</b>	<b>195.178,20</b>	<b>393.192,09</b>	<b>643.961,01</b>	<b>933.277,30</b>	<b>775.644,92</b>	<b>444.821,46</b>	<b>285.991,26</b>
Braun/Schwarzwasserkreislauf			33.126,08			67.247,49	
Biogasanlage				173.910,75	207.355,13		
Vakuumsammlung				81.000,00	45.000,00		
Membranbiologie							100.000,00
Tauchtropfkörper			180.299,55	180.299,55	180.299,55	180.299,55	
<b>Summe</b>			<b>213.425,63</b>	<b>435.210,30</b>	<b>432.654,68</b>	<b>247.547,04</b>	<b>100.000,00</b>
davon 2 %			4.268,51	8.704,21	8.653,09	4.950,94	2000
Membranwechsel alle 5 a jährliche Kosten							5200
Reparatur, Wartung, Unterhaltung [€/a]			4.268,51	8.704,21	8.653,09	4.950,94	2000
Stromkosten [€/a]			6602,59	6576,85	6230,19	10165,50	6582,79
Betriebskosten [€/a]			<b>10871,10</b>	<b>15281,05</b>	<b>14883,28</b>	<b>15116,44</b>	<b>13782,79</b>
Kostensparnis gegenüber konventioneller Sanierung in [€/a]		<b>3192,47</b>	<b>16933,41</b>	<b>16933,41</b>	<b>16933,41</b>	<b>16933,41</b>	<b>16933,41</b>
<b>jährliche Einsparung in [€/a]</b>		<b>3192,47</b>	<b>6062,31</b>	<b>1652,36</b>	<b>2050,13</b>	<b>1816,97</b>	<b>3150,62</b>
finanzieller Mehraufwand gegenüber kon. Sanierung in [€]		<b>198013,89</b>	<b>448782,81</b>	<b>738099,10</b>	<b>580466,72</b>	<b>249643,26</b>	<b>90813,06</b>

Berechnung mit Wasserpreisen aus Seoul

## Amortisation Berechnung 2

	Konventionelle Sanierung	Variante A1 Urinseparation	Variante A2 Braunwasser- kreislauf	Variante A3 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B1 Biogasanlage mit Vakuumsammlung	Variante B2 Schwarzwasser- kreislauf	Variante C1 Membranbelebung
<b>Investitionskosten [€]</b>	<b>195.178,20</b>	<b>393.192,09</b>	<b>643.961,01</b>	<b>933.277,30</b>	<b>775.644,92</b>	<b>444.821,46</b>	<b>285.991,26</b>
Braun/Schwarzwasserkreislauf			33.126,08			67.247,49	
Biogasanlage				173.910,75	207.355,13		
Vakuumsstation				81.000,00	45.000,00		
Membranbiologie							100.000,00
Tauchtropfkörper			180.299,55	180.299,55	180.299,55	180.299,55	
<b>Summe</b>			<b>213.425,63</b>	<b>435.210,30</b>	<b>432.654,68</b>	<b>247.547,04</b>	<b>100.000</b>
davon 2 %			4.268,51	8.704,21	8.653,09	4.950,94	2000
Membranwechsel alle 5 a jährliche Kosten							5200
Reparatur, Wartung, Unterhaltung [€/a]			4.268,51	8.704,21	8.653,09	4.950,94	2000
Stromkosten [€/a]			6755,56	6576,85	6230,19	9100,50	6582,79
Betriebskosten [€/a]			<b>11024,07</b>	<b>15281,05</b>	<b>14883,28</b>	<b>14051,44</b>	<b>13782,79</b>
Kostenersparnis gegenüber konventioneller Sanierung in [€/a]		<b>14513,51</b>	<b>100762,58</b>	<b>100762,58</b>	<b>100762,58</b>	<b>100762,58</b>	<b>100762,58</b>
jährliche Einsparung in [€/a]		<b>14513,51</b>	<b>89738,51</b>	<b>85481,53</b>	<b>85879,30</b>	<b>86711,14</b>	<b>86979,79</b>
finanzieller Mehraufwand gegenüber kon. Sanierung in [€]		<b>198013,89</b>	<b>448782,81</b>	<b>738099,10</b>	<b>580466,72</b>	<b>249643,26</b>	<b>90813,06</b>

Berechnung mit Wasserpreisen aus Deutschland, Hamburg  
Wassergebühren 1,39€, Abwassergebühren 2,58€