

## Endbericht

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Darmstadt	<b>Förderkennzeichen:</b> 02WD0398
<b>Ausführende Stelle:</b> Institut WAR - Wasserversorgung und Grundwasserschutz, Abwassertechnik, Abfalltechnik, Industrielle Stoffkreisläufe, Umwelt- und Raumplanung	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas – Teilprojekt 1	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2003 bis 30.06.2005	
<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2003 bis 30.06.2005	



## Inhaltverzeichnis

Teil I .....	1
1 Ausgangssituation des Projektes: Rahmenbedingungen und Ziele der interdisziplinären Arbeit.....	1
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben geführt wurde.....	5
3 Planung und Ablauf des Vorhabens .....	6
3.1 Arbeitspaket 1: Bestandsanalyse .....	6
3.2 Arbeitspaket 2: Feststellung der Basis für das zu entwickelnde Gesamtkonzept .....	6
3.3 Arbeitspaket 3: Identifikation technischer Einzelmodule .....	7
3.4 Arbeitspaket 4: Ermittlung möglicher Modulkombinationen (technische Gesamtsysteme).....	7
3.5 Arbeitspaket 5: Modellierung technischer Varianten .....	7
3.6 Arbeitspaket 6: Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Modulkombinationen .....	8
4 Stand der Technik.....	8
4.1 Umwelt- und Raumplanung.....	8
4.2 Wasserversorgung .....	9
4.3 Abwasserableitung und -behandlung .....	11
4.4 Abfalltechnik.....	12
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	13
Teil II .....	15
6 Ergebnisse der Bestandsanalyse (Arbeitspaket 1) .....	15
6.1 Stadtentwicklung in urbanen Räumen Chinas.....	15
6.1.1 Projektgebiet Anting New Town in Shanghai .....	16
6.1.2 Projektgebiet Binhai Garden in Qingdao .....	17
6.2 Wasserbedarf und Abwasseranfall.....	19
6.3 Rohwasserqualität.....	20

6.4	Wasserversorgungsnetze .....	22
6.5	Abwasserzusammensetzung .....	22
6.6	Abwasserableitung.....	23
6.7	Abfallanfall und -zusammensetzung .....	24
6.8	Abfallsammlung- und -transport .....	25
7	Basis für das zu entwickelnde Gesamtkonzept (Arbeitspaket 2) .....	25
7.1	Basisdaten für das zu entwickelnde Gesamtkonzept.....	26
7.1.1	Typische Raumstrukturen in urbanen Räumen Chinas.....	26
7.1.2	Trinkwasserbedarf und Abwasseranfall in urbanen Räumen Chinas.....	31
7.1.3	Abfallzusammensetzung in urbanen Räumen Chinas .....	31
7.2	Auswahl und Festlegung von Bewertungskriterien für die abschließende vergleichende Bewertung der zu konzipierenden semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme.....	32
8	Identifikation der technischen Einzelmodule (Arbeitspaket 3).....	37
8.1	Auswahl der zu betrachtenden Stoffströme .....	38
8.1.1	Trinkwasseraufbereitung.....	38
8.1.2	Abwasserentsorgung .....	38
8.1.3	Abfallentsorgung .....	41
8.2	Stoffstrombasierte Vorzugsalternative für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme in urbanen Räumen Chinas .....	42
8.3	Auswahl der technischen Module .....	43
8.3.1	Trinkwasseraufbereitung.....	43
8.3.2	Grauwasseraufbereitung und -behandlung .....	44
8.3.3	Schwarzwasserbehandlung .....	44
8.3.4	Klärschlammbehandlung.....	45
8.3.5	Bioabfallbehandlung .....	45
8.3.6	Restabfallbehandlung .....	46

9	Ermittlung möglicher Modulkombinationen (Arbeitspaket 4) .....	48
10	Modellierung der technischen Varianten (mögliche Modulkombinationen) (Arbeitspaket 5) .....	49
10.1	Trinkwasseraufbereitung .....	49
10.2	Trinkwasser- und Brauchwasserverteilung .....	50
10.3	Abwasserableitung .....	52
10.4	Grau- und Schwarzwasserbehandlung .....	54
10.5	Abfallsammlung und -transport .....	57
10.6	Abfall- und Klärschlammbehandlung .....	59
11	Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Modulkombinationen (Arbeitspaket 6) .....	61
11.1	Vorgehensweise .....	62
11.2	Ergebnisse der ökonomischen Bewertung .....	63
11.3	Bewertungsergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung .....	65
11.3.1	Empfehlungen hinsichtlich der untersuchten Fälle (Größen) semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme .....	65
11.3.2	Empfehlungen hinsichtlich der Auswahl technischer Modulkombinationen (Varianten) für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme .....	67
11.4	Erläuterung der Bewertung .....	69
11.4.1	Wasserversorgung .....	69
11.4.2	Abwassertechnik .....	78
11.4.3	Abfalltechnik .....	84
12	Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilprojekts 1 .....	91
12.1	Beschreibung der Vorgehensweise .....	91
12.2	Wesentliche Ergebnisse .....	99
13	Weiterer Forschungsbedarf .....	100
13.1	Umwelt- und Raumplanung .....	100
13.2	Wasserversorgung .....	101

13.3	Abwassertechnik.....	102
13.4	Abfalltechnik.....	103
14	Voraussichtlicher Nutzen der Projektergebnisse: Fortsetzung und Erprobung der entwickelten Handlungsansätze und Verfahrensschritte im Rahmen des Teilprojektes 2 .....	104
15	Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt bzgl. Projektgegenstand bei anderen Stellen .....	105
	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse .....	105
	Literatur.....	106
	Teil III Erfolgskontrollbericht.....	115
	Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen des Förderprogramms ...	115
	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen .....	115
	Fortschreibung des Verwertungsplans.....	116
	Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.....	117
	Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer .....	117
	Ausgaben- und Zeitplanung .....	117
	Anhang.....	119

### **1 Ausgangssituation des Projektes: Rahmenbedingungen und Ziele der interdisziplinären Arbeit**

Die Entwicklung der Volksrepublik China ist geprägt von hohen ökonomischen Wachstumsraten und einem zunehmenden hohen und beständig ansteigenden Urbanisierungsgrad. Während die ländliche Bevölkerung Zuwachsraten von unter 60 % in der Zeit von 1952 bis 2001 aufweist, hat sich die Einwohnerzahl der urbanen Räume Chinas im gleichen Zeitraum um über 570 % vergrößert [Taubmann, W. 1999]. Diese Entwicklung verursacht bzw. impliziert einen vergleichslosen Bauboom, u.a. im Bereich der Siedlungsentwicklung. Dabei sind Realisierungshorizonte von zwei Jahren für Stadtteile mit ca. 25.000 Einwohnern in China keine Seltenheit [Architekten 24, 2005]. Die Geschwindigkeit dieser Entwicklung führt dazu, dass die Stadtplanung und der Ausbau der technischen Infrastruktur für Wasserversorgung und Abwasserbehandlung sowie Abfallwirtschaft nicht Schritt halten können [Chapman et al. 1999; Xu, J. et al. 1998; Rose, F.C. 1999; Sternfeld, E. 1997; Lo, F. et al. 1996]. Viele chinesische Städte sind daher mit der Situation konfrontiert, dass aufgrund der dicht besiedelten Stadtgebiete die natürlichen Wasservorkommen zur Versorgung der Bevölkerung nicht ausreichen und dass die Umwelt durch eine unzureichende Abwasser- und Abfallbehandlung schwer belastet ist. Laut Statistiken des nationalen Umweltamtes sind nur durchschnittlich 32,3 % des in chinesische Gewässer eingeleiteten Abwassers behandelt [SEPA, 2004]. Rund 98% des Hausmülls werden unbehandelt am Rande von Siedlungen oder in Gewässer abgekippt [SPC, 1994]. Somit besteht enormer Handlungsbedarf hinsichtlich der zukünftigen Ausgestaltung der chinesischen Wasserver- und Abwasserentsorgung, der Abfallwirtschaft sowie der Siedlungs- und Infrastrukturplanung.

Bei der Suche nach Lösungen für die dargelegte Problematik werden im Rahmen des vorliegenden interdisziplinären Forschungsprojektes zwei Zielsetzungen verfolgt: Zum einen soll die Umwelt vor Verschmutzungen geschützt und zum anderen die Verschwendung und Übernutzung von Ressourcen minimiert werden. Zur Umsetzung dieser Ziele ist eine weitgehende Kreislaufführung von Wasser, Nähr- und Wertstoffen sowie Energie notwendig, was nur durch eine integrierte Planung der technischen Anlagen zur Wasserversorgung sowie zur Abwasser- und Abfallbehandlung gewährleistet werden kann. Durch integrierte Planung der Ver- und Entsorgungssysteme ergeben sich verschiedene Vorteile, wie bspw. die Möglichkeit zur

Abstimmung der benötigten bzw. anfallenden Wasserquantitäten zwischen der Wasserversorgung auf der einen und der Abwasserbehandlung auf der anderen Seite.

Einen Ansatz zur Lösung der gravierenden Diskrepanzen zwischen einem sehr dynamischen Siedlungsflächenwachstum auf der einen und der Bereitstellung einer leistungsfähigen Ver- und Entsorgungsinfrastruktur auf der anderen Seite, bieten flexibel anpassbare technische Ver- und Entsorgungsinfrastruktursysteme. Diese sollen gleichzeitig einen professionellen Betrieb und einen gleich bleibend hohen Ver- und Entsorgungsstandard ermöglichen und dabei flexibel auf die räumlichen Wachstumsbedingungen anzupassen sein. Entsprechend muss eine standardisierte räumliche Bezugseinheit gefunden werden, die einerseits möglichst klein sein soll, um die Entwicklungseinheiten möglichst schnell realisieren zu können, und somit die technischen Ver- und Entsorgungssysteme weitestgehend auszulasten. Gleichzeitig sollen sie entsprechend dem Anspruch an einen gleich bleibend hochwertigen Qualitätsstandard und eine gesicherte Ver- und Entsorgung möglichst groß sein, um die dafür anfallenden Kosten für Nutzer und Betreiber so gering wie möglich zu halten.

Zur Sicherung eines hohen und gleichzeitig stabilen Qualitäts- sowie Ver- und Entsorgungsstandards sollen daher Einheiten realisiert werden, die in der Lage sind, die Vorteile klassischer dezentraler und zentraler Systeme zu kombinieren, während sie deren Nachteile vermeiden. Dezentrale Systeme, also Ver- und Entsorgungseinheiten, die lediglich einzelne Wohnungs- oder Bebauungseinheiten berücksichtigen, weisen zwar z.B. Vorteile im Bereich der geringen Kapitalbindung, der Systemtransparenz und dem Potenzial zur Nutzung lokaler Ressourcen auf, dennoch kommen sie für urbane Räume aufgrund deren baulicher Dichte und Einwohnerdichte sowohl aus organisatorischen als auch aus hygienischen und finanziellen Gründen nicht in Frage. Zentrale, also vielfach ganze Stadtgebiete/-regionen von mehreren Millionen Einwohnern ver- und entsorgende Systeme stoßen ebenfalls an Grenzen. Zwar weisen sie u.a. geringere spezifische Investitions- und Betriebskosten auf und ermöglichen einen professionellen Betrieb, doch ihre absolute Größe führt zu vielen Schwierigkeiten. Die Leitungsnetze für derart große technische Anlagen müssen vielfach in den Bestand integriert werden und sind in Bezug auf die Versorgungslänge sehr groß. Lange Leitungswege müssen von der Aufbereitung bis zum Endverbraucher und von dort aus weiter zur Abwasserbehandlungsanlage zurückgelegt werden. Mit zunehmender Leitungslänge nimmt weiterhin der Aufwand für Bau und Betrieb zu. Gleichzeitig ist in China vielfach nicht die gleiche Instanz für Entwicklung, Planung und Koordination der technischen Anlagen und der Leitungssysteme zuständig, so dass es an dieser Stelle vielfach zu Kommunikations- und damit zu organisatorischen Problemen kommt.



Unter Berücksichtigung der o.g. Rahmenbedingungen beschäftigt sich das vorliegende interdisziplinäre Forschungsprojekt mit so genannten „semizentralen Ver- und Entsorgungssystemen“ für die Wasserver-, Abwasser- und die Abfallentsorgung für urbane Räume in China. Unter einem semizentralen Ver- und Entsorgungssystem wird grundsätzlich ein Ver- und Entsorgungssystem verstanden, dessen Bezugsgröße über die einzelner Bebauungseinheiten hinausgeht, sich aber gleichzeitig von zentralen Anlagen im herkömmlichen Sinne deutlich abgrenzt. **Ein semizentrales Ver- und Entsorgungssystem ist so klein wie möglich und nur so groß wie nötig.** Die Bestimmung einer möglichst optimalen Bezugsgröße für ein semizentrales Ver- und Entsorgungssystem in urbanen Räumen Chinas erfolgt im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts.

An die semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme werden weitere Ansprüche gestellt: So **soll ein angepasstes, flexibles, integriertes, nachhaltiges Konzept für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas entwickelt werden.**

Unter einem **angepassten** Ver- und Entsorgungssystem ist ein Ver- und Entsorgungssystem zu verstehen, das an die grundsätzlich in urbanen Räumen Chinas vorzufindenden Rahmenbedingungen angepasst ist; d.h., es handelt sich hierbei um Ver- und Entsorgungssysteme, die unter Berücksichtigung des schnellen Wachstums urbaner Räume in China gemeinsam mit neu entstehenden Siedlungseinheiten /-gebieten mit hohen Auslastungsgraden der technischen Anlagen (und somit wirtschaftlich) realisiert und betrieben werden können.

Die semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme sollen **flexibel** sein, um grundsätzlich in allen urbanen Räumen Chinas eingesetzt werden zu können. Angepasste und flexible Ver- und Entsorgungssysteme ermöglichen die Sicherstellung der Ver- und Entsorgungssicherheit bei einem schnellen Stadtwachstum.

Unter einem **integrierten** Ver- und Entsorgungssystem ist ein System zu verstehen, dass die Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie die Abfallentsorgung unter möglichst optimaler Ausnutzung bestehender Schnittstellen zusammenfasst, um auf diese Weise eine Kreislaufführung von Wasser und Stoffen sowie eine Einsparung

von Ressourcen ermöglichen zu können<sup>1</sup>. Der Grad der Integration, d.h. die Anzahl der Schnittstellen zwischen den Ver- und Entsorgungstechniken und der Kreislauf-führung von Stoffen, kann variieren. So besteht beispielsweise die Möglichkeit, Klär-schlämme und Bioabfälle gemeinsam oder getrennt zu behandeln.

Die Ver- und Entsorgungssysteme sollen dem **Grundsatz der Nachhaltigkeit** inso- weit Rechnung tragen, als das sie sowohl ökologische als auch ökonomische und soziokulturelle Aspekte bei der Auswahl und Beurteilung der Ver- und Entsorgungs- infrastruktur berücksichtigen.

Zusammengefasst werden folgende wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele im Rahmen der Projektbearbeitung verfolgt:

- Entwicklung technischer Lösungen für integrierte Ver- und Entsorgungssyste- me.
- Abgrenzung von optimalen Bezugsgrößen für semizentrale Ver- und Entsor- gungssysteme.
- Bestimmung der jeweils besten technischen Variante und Bezugsgröße im Vergleich zum chinesischen Status-Quo.

Das vorliegende Forschungsprojekt beschäftigt sich mit semizentralen Ver- und Ent- sorgungssystemen für urbane Räume unter ausschließlicher Berücksichtigung der Funktion „Wohnen“. Daher wird davon ausgegangen, dass die semizentralen Ver- und Entsorgungseinheiten/-systeme ausschließlich Wohngebiete ver- und entsorgen. Darüber hinaus wird festgelegt, dass die semizentralen Ver- und Entsorgungssyste- me ausschließlich in **Wohnneubaugebieten** implementiert werden. Sie sollen in die- sen Gebieten die Ver- und Entsorgungssicherheit sicherstellen und sie unabhängig von den z.T. vorhandenen aber häufig maroden und nicht den heutigen Anforderun- gen entsprechenden zentralen Ver- und Entsorgungsnetzen machen.

---

<sup>1</sup> Grundsätzlich ist auch eine Integration von nur zwei technischen Systemen, wie z.B. der Abwasser- und Abfalltechnik denkbar oder auch der Betrieb von nicht integrierten semizentralen Systemen. Dies kann beispielsweise in Gebieten von Interesse sein, in denen eine flächendeckende Wasser- versorgung bereits gewährleistet ist, die Siedlungsentwicklung dennoch sinnvoll im semizentralen Maßstab realisiert werden kann. Das vorliegende Forschungsprojekt betrachtet aber lediglich integ- rierte Gesamtsysteme aus allen drei Ver- und Entsorgungsbereichen Wasser, Abwasser und Abfall.

## **2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben geführt wurde**

Das Forschungsprojekt wurde am Institut WAR der Technischen Universität Darmstadt bearbeitet. Beteiligt an der Durchführung waren die drei technischen Fachgebiete Abwassertechnik, Abfalltechnik sowie Wasserversorgung und Grundwasserschutz sowie das Fachgebiet Umwelt- und Raumplanung als planerisches Fachgebiet.

Das Fachgebiet Abwassertechnik unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Peter Cornel ist mit der Forschung auf dem Gebiet der Abwassertechnik, unter anderem mit den Themenbereichen Biofilmverfahren, Membranbelebung, Industrieabwasserreinigung, Belüftung und Sauerstoffeintrag, Phosphorrückgewinnung sowie Abwasserwiederverwendung erfahren. Die School of Environmental Science and Engineering der Tongji Universität Shanghai unter der Leitung von Prof. Dr. Gao Tingjao und das Fachgebiet Abwassertechnik der Technischen Universität Darmstadt sind seit mehr als 15 Jahren Kooperationspartner bei der Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf dem Gebiet der biologischen Abwasserreinigung und Schlammbehandlung. Somit ist gewährleistet, dass auch die Erfahrungen der Kollegen in China in die Untersuchungen einfließen.

Das Fachgebiet Wasserversorgung und Grundwasserschutz (Leitung: Prof. Dr. nat. techn. Wilhelm Urban) führt vielfältige Forschungsprojekte zu technologischen und ökonomischen Fragestellungen im Bereich Trinkwasserversorgung und Grundwasserschutz durch. Insbesondere wurden unterschiedliche Forschungsprojekte zur Effektivität und Effizienz verschiedener Techniken der Wasserversorgung und zur Reduktion des Wasserverbrauchs bearbeitet.

Das Fachgebiet Abfalltechnik unter Leitung von Prof. Dr. Jäger beschäftigt sich mit der Forschung auf dem Gebiet der Abfallwirtschaft und der Abfalltechnik. Forschungsschwerpunkte sind die Themenbereiche Abfallwirtschaft, biologische, mechanisch-biologische und thermische Abfallbehandlung, Deponietechnik, Abluftreinigung, Emissions- und Immissionsschutz, Umweltanalytik sowie Ökobilanzierung von Umweltauswirkungen.

Eines der wesentlichen Forschungsfelder des Fachgebietes Umwelt- und Raumplanung (geleitet durch Prof. H. R. Böhm) ist die Optimierung von technischen Infrastruktursystemen unter Berücksichtigung von Aspekten der Wirtschaftlichkeit sowie der Umwelt- und Sozialverträglichkeit. Die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Fachgebietes können auf umfangreiche Projekterfahrungen im Themenbereich „integrierte Stadtteilsanierung“ zurückgreifen. Weitere Projekte befassten sich mit Fra-

gen der kooperativen und partizipativen Infrastrukturplanung, der umweltbezogenen Bewertung von Infrastruktur und der Entwicklung angepasster Ver- und Entsorgungssysteme unter besonderer Berücksichtigung der sozioökonomischen Gegebenheiten wie auch mit möglichen Organisationsformen für die Träger von Ver- und Entsorgungssystemen.

### **3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Forschungsvorhaben „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas - Teilprojekt 1“ (Förderkennzeichen: 02WD0398) gliedert sich in sechs Arbeitspakete (AP), die im Folgenden erläutert werden.

#### **3.1 *Arbeitspaket 1: Bestandsanalyse***

Ziel dieses Arbeitspakets ist zum einen die Ermittlung und Analyse wesentlicher Basisinformationen bezüglich des gegenwärtigen Status-Quo der Ver- und Entsorgungsinfrastruktur und zum anderen der Stadtentwicklungs-/Urbanisierungsprozesse als Grundlage für die nachfolgenden Arbeitsschritte. Neben einer umfassenden Literaturrecherche und der Analyse anderer schriftlicher Dokumente (Fachliteratur, Tagungsbände, statistische Unterlagen) werden dabei Experteninterviews und Vor-Ort-Recherchen in zwei Projektgebieten in Shanghai und Qingdao (vgl. Kapitel 6.1) im Rahmen eines Forschungsaufenthalts in China durchgeführt.

Da die Eingliederung der technischen Infrastruktur in die Dynamik der Siedlungsentwicklung für das Gesamtkonzept von wesentlicher Bedeutung ist, erfolgt im Rahmen dieses Arbeitspakets die Bestandaufnahme und Analyse von Siedlungsentwicklungen. Außerdem werden die Situationen der technischen Infrastruktur (Wasser, Abwasser, Abfall), der Wasserressourcen und Gewässer recherchiert und analysiert. Ebenso werden die institutionellen Rahmenbedingungen erhoben, hinterfragt und analysiert.

#### **3.2 *Arbeitspaket 2: Feststellung der Basis für das zu entwickelnde Gesamtkonzept***

In diesem Arbeitspaket werden auf der Grundlage der gemeinsam mit den chinesischen Projektpartnern ermittelten und ausgewerteten Daten generelle Annahmen als Basis für semizentrale Ver- und Entsorgungskonzepte getroffen: Hierzu werden einerseits generelle Festlegungen zu Verlauf und Ausprägung von Stadtentwicklungs-/Urbanisierungsprozessen in China getroffen sowie grundlegende Siedlungs- bzw.

städtische Strukturen nach Homogenitäts- und Funktionalitätskriterien typisiert. Andererseits werden Rückschlüsse hinsichtlich Qualitäten und Quantitäten anfallender bzw. benötigter Rohstoffe (z.B. Rohwasserbedarf, Energiebedarf) und Stoffströme (z.B. Trinkwasserverbrauch, Brauchwasserbedarf) gezogen. Dies bedeutet, dass Stoffströme ausgewählt werden, die im weiteren Projektverlauf betrachtet werden. Damit wird der grundsätzliche Rahmen für die zu konzipierenden Ver- und Entsorgungssysteme gesetzt.

Darüber hinaus werden durch alle Projektbeteiligten Grundsätze der Projektbearbeitung festgelegt (vgl. Kapitel 2). Auf deren Basis werden die technischen Einzelmodule identifiziert (Arbeitspaket 3) und modelliert (Arbeitspaket 4). Des Weiteren werden auf dieser Grundlage Kombinationen verschiedener Verfahrenstechniken zur Wasseraufbereitung sowie zur Abwasser- und Abfallbehandlung (Arbeitspaket 5) im Rahmen einer so genannten Nachhaltigkeitsbewertung (Arbeitspaket 6) bewertet.

### **3.3 *Arbeitspaket 3: Identifikation technischer Einzelmodule***

Unter Berücksichtigung der gegebenen Rahmenbedingungen in urbanen Räumen Chinas werden für die Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie die Abfallentsorgung nach dem Stand der Technik Techniken ausgewählt, die als geeignete Bausteine (Module) für ein möglichst integriertes Ver- und Entsorgungssystem nach den im Rahmen des Forschungsprojektes festgelegten Zielvorstellungen (angepasst, flexibel, integriert, nachhaltig) in Frage kommen.

### **3.4 *Arbeitspaket 4: Ermittlung möglicher Modulkombinationen (technische Gesamtsysteme)***

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die sinnvolle Kombination der ausgewählten Einzeltechniken zu unterschiedlichen sinnvollen Gesamtsystemen. Dabei sollen bestehende Schnittstellen und Synergieeffekte möglichst berücksichtigt und ausgenutzt werden. Die im nächsten Arbeitspaket 5 zu modellierenden Varianten werden festgelegt.

### **3.5 *Arbeitspaket 5: Modellierung technischer Varianten***

In diesem Arbeitspaket wird die Modellierung der im Arbeitspaket 4 identifizierten Varianten (Modulkombinationen) des Gesamtsystems für die Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie die Abfallentsorgung durchgeführt. Diese wird im Rahmen der Projektarbeit auch als Dimensionierung der technischen Varianten bezeichnet. Im Einzelnen bedeutet dies, die technischen Modulkombinationen auf verschiedene

räumliche Bezugsgrößen (Fläche, Einwohner) anzuwenden und ihre Kompatibilität zu ermitteln. So sollen ausgehend von verschiedenen Einwohnerzahlen und Entwicklungsflächen die identifizierten Varianten kalkuliert und rechnerisch abgebildet werden. Dazu werden sowohl ökologische, ökonomische als auch soziokulturelle Auswirkungen der einzelnen technischen Modulkombinationen mittels zuvor festgelegter Kriterien berechnet bzw. abgeschätzt.

Die Ergebnisse der Modellierung bilden die Grundlage für die Bewertung, die im Arbeitspaket 6 erfolgt.

### ***3.6 Arbeitspaket 6: Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Modulkombinationen***

Im Arbeitspaket 6 werden die verschiedenen technischen Gesamtsysteme, orientiert an den grundsätzlichen Zielen des vorliegenden Forschungsprojektes im Rahmen einer so genannten Nachhaltigkeitsbewertung unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und soziokultureller Aspekte bewertet. Durch dieses Vorgehen wird ermittelt, welche der im Rahmen des Forschungsprojektes konzipierten semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme für die vorherrschenden Rahmenbedingungen in urbanen Räumen Chinas vorrangig eingesetzt werden sollen. Gleichzeitig wird auf diese Weise festgestellt, welche Bezugsgrößen für die konzipierten Ver- und Entsorgungssysteme am besten geeignet sind.

Die Bewertungskriterien und deren Gewichtung werden in Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten festgelegt. Die Ergebnisse werden unter allen Projektbeteiligten diskutiert und geprüft.

## **4 Stand der Technik**

### ***4.1 Umwelt- und Raumplanung***

Das Interesse an integrierten Ansätzen für eine umweltverträgliche Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung wächst angesichts der großen Umweltprobleme urbaner Räume in China beständig. Die Idee der Kreislaufführung von Stoffströmen in den oben genannten Siedlungseinheiten bzw. innerhalb kleinerer Städte besteht bereits seit den 1960er Jahren, ist jedoch seit Ende der 1970er Jahre nicht weiter verfolgt worden [Hahn, E. 1983]. Neuerdings werden wieder Ansätze für eine integrierte Stadtentwicklung, die dem Leitbild der Nachhaltigkeit folgt, sowohl in Europa aber auch in China entwickelt und in entsprechende Leitlinien umgesetzt [Lü, J. et al.,

2001; Ju, 1998]. Eines unter vielen Beispielen ist das vom Büro Albert Speer & Partner GmbH entwickelte Stadtentwicklungsmodell „Ecological Model Town“ [vgl. Speer, A. et al. 2001].

Eine große Vielfalt sowohl eindimensionaler als auch multikriterieller Bewertungsmethoden unterschiedlicher Komplexität und Tiefe wird derzeit in der integrierenden Gesamt- und der sektoralen Fachplanung sowie der Alternativen- bzw. Variantenbewertung und -entscheidung eingesetzt. Bewertungsmethoden und -kriterien für Infrastruktursysteme werden bisher überwiegend sektoral bezogen angewandt, d.h. es werden einzelne sektorale technische Lösungen (z.B. zur Abwasserbehandlung) bewertet. Zudem erfolgt die Bewertung häufig in Bezug auf einzelne Bewertungskriterien bzw. -dimensionen (z.B. durch Kosten-Nutzen-Analyse, Ökobilanzierung, ökologische Risikoanalyse, Materialintensitätsanalyse etc.) [u.a. Eder et al. 2002; Wasserforschung e.V., 2001; Bringezu, S. 1998; LAWA, 1998; Scheffold, K. 1995]. Da im Zuge der allgemeinen Anerkennung des Leitbildes der nachhaltigen Entwicklung die Notwendigkeit einer mehrdimensionalen Bewertung zunehmend erkannt wird [vgl. z.B. Rohde C. et al., 2005; AKWA 2100, 2002; Horsch et al., 2001; Jung, H. et al., 1998] werden integrierte, multikriterielle Bewertungsverfahren wie beispielsweise die Nutzwertanalyse [Bechmann, A. 1978] oder auch die Nachhaltigkeitsbewertung bzw. -prüfung [Reuß, A. 2003] trotz des hohen Aufwands verstärkt verwendet. Dabei werden zunehmend auch monetäre und multikriterielle Methoden miteinander kombiniert [Messner, F. 2001].

## **4.2 Wasserversorgung**

Traditionelle Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung haben oftmals den Nachteil, dass sie schwerlich erweiterbar sind, wenn ein entsprechender Bedarf besteht. In zunehmendem Maße werden Membrananlagen zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzt. Sie sind aus Modulbausteinen zusammengesetzt und so jederzeit modular erweiterbar oder bei Bedarf auch rückbaubar (Flexibilität). Daher sind Membrananlagen besonders für ein semizentrales Ver- und Entsorgungskonzept geeignet. Insgesamt gesehen nimmt der Anteil von Membrananlagen an der Wasseraufbereitung weltweit nach wie vor beständig zu. Seit 1988 ist auch die Zahl der Ultra- und Mikrofiltrationsanlagen exponentiell angestiegen sowie auch die Aufbereitungskapazität der einzelnen Anlagen [Gimbel et al. 2003]. Dabei werden vermehrt Membrananlagen für die Aufbereitung von Oberflächenwasser eingesetzt. Oberflächenwässer sind Talsperrenwasser sowie Flusswasser, aber auch Karstwässer, die nach Starkregenereignissen oft hohe Keimbelastungen aufweisen. Gerade zum Einsatz in Ländern, die unter Wasserknappheit leiden, aber einen Zugang zum Meer haben, wird zukünf-

tig zusätzlich zu Ultrafiltrationsverfahren für die Aufbereitung von Oberflächenwasser auch die Umkehrosmose zur Aufbereitung von Meerwasser weiter an Bedeutung gewinnen. In den 90<sup>er</sup> Jahren des letzten Jahrhunderts wurde die Umkehrosmose wegen technischer Verbesserungen und einer günstigeren Produktion die wirtschaftlich günstigere Alternative für Entsalzungsanlagen gegenüber Destillationsanlagen. Gerade die Verbesserungen im Bereich der Membran-Austauschkosten (1990: 0,10-0,16 €/m<sup>3</sup> → 1998: 0,025-0,035 €/m<sup>3</sup>) und des spezifischen Energieverbrauchs (1984: 5,75 kWh/m<sup>3</sup> → 2003: 3,5 kWh/m<sup>3</sup>) haben dazu beigetragen [Melin, T. 2005]. Aber auch die Nanofiltration wird in ihrem Stellenwert steigen, gerade auch im Zuge verschärfter EG-Richtlinien. Zu nennen sind hier zunehmende Probleme mit endokrinen Stoffen, wie Arzneimittelrückstände oder Hormone, aber auch Probleme mit Pestiziden, wie sie auch in China vorhanden sind, aber wegen der aufwändigen Nachweismethoden im Wasser kaum analysiert werden.

Aus Betriebserfahrungen mit großtechnischen Membrananlagen von inzwischen über drei Jahrzehnten in den unterschiedlichsten Bereichen ist abzuleiten, dass Membranverfahren als erfolgreiche Lösung für diverse Aufgabenstellungen in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt werden können. Dennoch gibt es viele Bereiche, in denen diese Technik bisher nicht als Lösung angedacht bzw. in Betracht gezogen wurde, da Faktoren, wie beispielsweise Biofouling, dem ersten Anschein nach als ein nicht abschätzbares Gefährdungspotenzial für den Langzeitbetrieb angesehen wurden. Festzustellen ist aber, dass der Einsatz der **Ultrafiltration** in vielen Fällen ökonomische und ökologische Vorteile bietet und auch positiv zu einer nachhaltig umweltschonenden Entwicklung beitragen kann [Selzer, N. et al. 2005]. Flemming zeigte, dass 30% der Betriebskosten einer Umkehrosmoseanlage in Kalifornien durch Biofouling bedingt sind [Flemming, H.-C. et al. 1995]. Wesentliche Punkte sind dabei z.B. die Verringerung der Permeatleistung und die häufigeren Membranersatzkosten. Daher muss der Bekämpfung des Foulings bei Membranen mit möglichst wenig Chemikalieneinsatz auch in Zukunft besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Gerade in Ländern, wie China, bei denen in urbanen Regionen nur (vielfach kontaminierte) Oberflächenwässer zur Verfügung stehen, ist mit verstärkten Fouling-Problemen zu rechnen. Gleichwohl verspricht hier der Einsatz der Membrantechnologie höhere Trinkwasserqualitäten mit sicherer Keimentfernung. Die derzeitige Praxis in China eine hochdosierte Chlorung vorzunehmen, führt zu vermehrter THM-Bildung in Verbindung mit hohen Gehalten an Organika der Wässer. Da THM als krebserregend gelten, erhöht sich damit die Gefahr, dass Krebsfälle zunehmen.



### **4.3 Abwasserableitung und -behandlung**

In urbanen Räumen kann die Abwasserableitung mit einer Kanalisation vergleichsweise kostengünstig durchgeführt werden, da mit geringen Leitungslängen viele Anschlussnehmer erfasst werden [Cornel et. al. 2005; Maus, H. et al. 2000]. Trotzdem muss vor allem in schnell wachsenden urbanen Räumen mit einem hohen Bevölkerungsdruck und hoher Dichte nach der Rechtfertigung zentraler Abwasserbehandlungssysteme gefragt werden. Für solche städtischen Entwicklungsräume bieten sich somit semizentrale Systeme an. Im Vergleich zu zentralen Systemen ermöglichen semizentrale Systeme eine innerstädtische Wasserwiederverwendung, eine komplette Trennung von industriellem und kommunalem Abwasser, die eine biologische Abwasserbehandlung erleichtert, ein Modularaufbau entsprechend des Stadtwachstums sowie eine höhere Flexibilität.

In jüngerer Zeit werden konventionelle zentrale Abwasserentsorgungskonzepte zunehmend kritisch hinterfragt [u.a. Paris, S. 2002; Prager, J. 2002; Oldenburg, M. et al. 1997; Londong, J. 2000]. In diesem Zuge nimmt die Diskussion über eine dezentrale Abwasserbehandlung verstärkt zu [u.a. Wilderer, P. 2001; Lens, P. et al. 2001; DESAR, 2000]. Diese dezentralen Abwasserentsorgungskonzepte bieten sich vor allem im ländlichen Raum an, da hier erhebliche Kanalisationskosten gespart werden können und eine dezentrale Abwasserbehandlung ökonomisch wird, obwohl viele kleine Anlagen gebaut und betrieben werden müssen. Der größte Nachteil jeder Dezentralisierung ist jedoch die Notwendigkeit, das technische Wissen an jedem der dezentralen Orte bereitzustellen [Sasse, L. 1998]. Weiterhin kann eine gute Reinigungsleistung von dezentralen Abwasseranlagen nur verwirklicht werden, wenn gewährleistet wird, dass eine Wartung und Überwachung der Anlagen in dem Maße erfolgt, dass die Anlagen betriebssicher funktionieren. Dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen besitzen aus diesem Grund meist eine einfache Technik, so dass eine Wasserwiederverwendung somit nahezu unmöglich ist. Im Vergleich zur dezentralen Abwasserentsorgung besitzt ein semizentrales System eine Professionalität bei Betrieb und Wartung der Anlagen, eine Gewährleistung der Ablaufqualität der Anlagen, bessere Energie- und Leistungseffizienz, bessere Wirtschaftlichkeit sowie eine bessere Möglichkeit zur Verbindung der Wasserver-, Abfallentsorgung und -behandlung.

Eine Relevanz für ein semizentrales System können auch Brauchwassernetze aufweisen. Brauchwassernetze sind in Deutschland als Möglichkeit bekannt, Wasserressourcen zu schonen [Chichorowski, G. et al. 1986]. Eine Realisierung im größeren Maßstab wurde aufgrund der nur noch lokal vorhandenen Wassermangelsituationen

und der hohen Investitionskosten jedoch noch nicht durchgeführt [Ipsen, D. et al., 1998].

Brauchwasser ist behandeltes Abwasser, das keine Trinkwasserqualität aufweist. Sowohl das gesamte häusliche Abwasser als auch nur ein Teil davon können als Brauchwasser aufbereitet werden. Wird häusliches Abwasser getrennt aus den Haushalten abgeleitet, ist ein Teil nur leicht verschmutzt. Dieser Teil ist das (Ab-) Wasser aus Bad/Dusche, Handwaschbecken sowie Waschmaschine, das so genannte Grauwasser. In den letzten Jahren wurden mehrere Forschungsvorhaben über Grauwasserwiederverwendung bei der dezentralen Abwasserbehandlung bearbeitet [Fraunhofer, 2005; Wilhelm, C. 2001; Leonhard, K. et al. 2004]. Die Grauwasserwiederverwendung spielt trotzdem bisher nur eine untergeordnete Rolle im Bereich der gesamten Abwasserbehandlung. Zurzeit wird eine Grauwasseraufbereitungsanlage in einem Wohnblockbereich in Beijing betrieben, mit deren Hilfe zum einen die technische Lösung demonstriert und zum anderen Erfahrungen mit der Technik zur Grauwasseraufbereitung in China gesammelt werden sollen [Wilhelm, C. 2001]. Viele Untersuchungen und Pilotprojekte in Deutschland (u.a. Wohngebäude Kassel-Hasenhecke, Arabella-Hotel Offenbach, ehemalige Vaubankaserne Freiburg) haben gezeigt, dass eine Kreislaufführung speziell von Grauwasser eine sinnvolle Ergänzung zu den bisher bekannten Wasserver- und Abwasserentsorgungskonzepten darstellt und Grauwasseranlagen auch wirtschaftlich tragfähig sind [Bullermann et al. 2001]. Bei der Grauwasseraufbereitung handelt es sich um eine sehr junge Technik, die noch nicht optimiert ist. Speziell für China gibt es noch keine allgemeinen statistischen und technischen Daten zu Grauwasser und damit noch keine optimierten Techniken zur Grauwasseraufbereitung. Insbesondere gibt es bis jetzt keine Beispiele praktischer Umsetzungen im Sinne eines semizentralen Ver- und Entsorgungssystems.

#### **4.4 Abfalltechnik**

Außerhalb Westeuropas ist die Deponierung weltweit Stand der Technik für die Abfallbeseitigung. Der dabei eingesetzte technische Standard unterscheidet sich allerdings erheblich und reicht von geordneten Deponien nach dem Multibarrierenprinzip bis hin zu ungeordneten Ablagerungen mit regelmäßigen Abbränden.

Die mit jeglicher Art der Deponierung einhergehenden immensen Umweltbelastungen, insbesondere der große Flächenverbrauch sowie der starke Beitrag zum Treibhauseffekt durch die freiwerdenden Methanemissionen, haben in vielen Ländern zu

einer Diskussion über ökologisch verträglichere Techniken zur Abfallbehandlung geführt.

Bei der anlagentechnischen Abfallbehandlung werden thermische und biologische Verfahren eingesetzt, um die letztendlich abzulagernden Massenströme weitgehend zu minimieren. Besonders im Bereich der biologischen Abfallbehandlung ist dabei in Europa der Bau kleinerer, siedlungsnaher Anlagen üblich. Diese Anlagen zeichnen sich durch eine starke Modularisierung aus. Durch diese starke Modularisierung ist eine sehr gute Anpassung der Anlagentechniken an verschiedene Größenordnungen möglich [Bidlingmaier, W. 2000; Bilitewski, B. 2000].

Spezifisch angepasste Techniken ermöglichen die Erzeugung von Produkten und Sekundärrohstoffen, die den Verbrauch an Primärrohstoffen verringern und somit zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft beitragen. Stand der Technik sind beispielsweise Anlagen zur Druckvergasung, durch die Methanol als Grundstoff für die chemische Industrie gewonnen werden kann.

Sammlung und Transport des Abfalls sind im Bereich der Abfallwirtschaft ein maßgeblicher Kostenfaktor. Da im Bereich der Behandlung die zu transportierenden Massen signifikant verringert werden, wird der Transportaufwand mit zunehmender Siedlungsnähe der Anlage verringert.

Stand der Technik ist im Bereich der Abfallsammlung die hoch automatisierte Sammlung mittels Pressmüllfahrzeugen mit automatischen Vorrichtungen zum Aufnehmen und Abkippen der Sammelbehälter. Hierdurch werden die hohen körperlichen Belastungen der Müllwerker bei der konventionellen Sammlung (z.B. Einwerfen von Säcken, Einheben von Tonnen) verhindert. Durch den reduzierten Personaleinsatz sind auch im ökonomischen Bereich Vorteile gegeben. Der erhöhte technische Aufwand geht jedoch mit höheren Anforderungen an Wartungs- und Bedienpersonal einher. Daher sind vollautomatische Lösungen, welche die Sammelbehälter direkt vom Straßenrand aufnehmen, insbesondere in Regionen mit hohen Lohnkosten sinnvoll. Ein Einsatz in einem Niedriglohnland, wie der Volksrepublik China, ist dahingegen ökonomisch nicht geboten.

## **5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes besteht eine enge Kooperation mit der Tongji-University in Shanghai sowie mit der Qingdao Technological University. Im Vorfeld des Besuches der deutschen Delegation in China vom 20. März 2004

bis zum 5. April 2004 wurden von deutscher Seite Informationen und Grundlagendaten zur Projektbearbeitung angefragt. Hierbei handelte es sich u.a. um grundlegende Rahmenbedingungen der Raum- und Stadtentwicklungsplanung, Daten zum Trinkwasserbedarf und seiner Zusammensetzung (Rohwasserbedarf und -qualitäten), der Menge und der Zusammensetzung des Abwassers sowie des Abfallaufkommens und der -zusammensetzung. Am 22. März 2004 stellten Mitarbeiter der Tongji-University im Rahmen eines gemeinsamen Symposiums in Shanghai sämtliche für die deutsche Delegation ermittelten Daten vor. Weitere Informationen erhielt die deutsche Delegation von der Distrikt-Verwaltung in Jiading (Environmental Protection Bureau, Environmental Sanitation Bureau, Planning Bureau, Water Bureau). Weiterhin gab es Expertengespräche mit der SAES (Shanghai Academy of Environmental Science) und mit dem Shanghaier Umweltamt (Shanghai Environmental Protection Bureau), bei der Shanghai Municipal Sewerage Co Ltd., bei SMEDI (Shanghai Municipal Engineering Design Institute) und Gespräche mit Mitarbeitern der Albert Speer und Partner GmbH, Shanghai.

Am 28. März 2004 fand das entsprechende Symposium in Qingdao statt, bei dem Mitarbeiter der Qingdao Technological University ihre gesammelten Daten vorstellten. Es fanden Expertengespräche im Umweltamt Qingdao und bei QUSSI (Qingdao Environmental Sanitation Science Institute) statt. Besucht wurden die Abwasserbehandlungsanlage Lincunhe und Tuandao sowie das Wasserwerk Qingdaos, weiterhin die Abfallsortieranlage und die Deponie von Qingdao. Weiterhin gab es ein Treffen mit Mitarbeitern der GTZ und einen Besuch beim Beijing Solid Waste Department.

## Teil II

---

In den folgenden Kapiteln 6 bis 11 folgt die Darstellung und Erläuterung der wesentlichen Arbeitsergebnisse des ersten Teilprojekts zum Gesamtprojekt „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas“.

### **6 Ergebnisse der Bestandsanalyse (Arbeitspaket 1)**

Grundlage der Aussagen dieses Kapitels sind die Ergebnisse der Dienstreise der deutschen Projektpartner nach China in der Zeit vom 20. März bis 05. April 2004. Während dieser Dienstreise sind nicht nur die wesentlichen Daten, die diesem Forschungsprojekt zu Grunde liegen, gemeinsam mit den chinesischen Projektpartnern erhoben und diskutiert worden, sondern auch zwei Projektgebiete „Anting New Town“ im Großraum Shanghai sowie „Binhai Garden“ in der Region Qingdao besucht worden, in denen weitere wichtige Grundlagendaten für das vorliegende Projekt erhoben wurden.

Ergänzt um Ergebnisse umfangreicher Literaturrecherchen und weiterer Expertengespräche v.a. in Deutschland wird im Folgenden der Status Quo der Stadtentwicklung sowie der technischen Ver- und Entsorgungsinfrastruktur in China beschrieben.

Dieses Kapitel stellt somit eine detaillierte Bestandsanalyse dar, auf der die Projektergebnisse des vorliegenden Endberichts zum Teilprojekt 1 beruhen.

#### **6.1 Stadtentwicklung in urbanen Räumen Chinas**

Die Bevölkerungsentwicklung in der Volksrepublik China ist sehr dynamisch. Während 1949 noch rd. 541 Mio. Chinesen in der Volksrepublik China lebten, waren es im Jahr 2003 bereits 1.292 Mio. [NBSC, 2004]. Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Bevölkerungswachstum von 13,9 % über 54 Jahre. Zu dem grundsätzlichen Bevölkerungswachstum ist die Entwicklung der urbanen Räume durch einen weiteren bestimmenden Faktor geprägt – die Zuwachsraten der Stadtbevölkerung. Gegenwärtig zählen etwa 40 % der chinesischen Bevölkerung zur Stadtbevölkerung [NBSC, 2004]. Es ist jedoch zu erwarten, dass im Laufe der nächsten Dekaden die Mehrheit der chinesischen Bevölkerung in Städten leben wird. In der Konsequenz werden die urbanen Räume Chinas weiterhin durch ein starkes dynamisches Wachstum geprägt sein.

Die Auswahl der Projektgebiete erfolgte in enger Abstimmung und Zusammenarbeit mit den chinesischen Projektpartnern in Shanghai und Qingdao. Bei der Auswahl wurde das Ziel verfolgt, möglichst typische chinesische Wohnneubaugebiete in urbanen Räumen auszuwählen. Daher ist bei der Auswahl dem Umstand Rechnung getragen worden, dass Wohnneubaugebiete in China einerseits komplett von chinesischer Seite entwickelt und umgesetzt werden, andererseits für viele Vorhaben internationale Architekten und Stadtplaner herangezogen werden.

Daher sind die Projektgebiete Anting New Town im Jiading Distrikt im Großraum Shanghai sowie Binhai Garden in der Region Qingdao ausgewählt worden. Die Stadtregionen Shanghai und Qingdao gehören zu den am stärksten wachsenden Regionen der Ostküste Chinas.

### 6.1.1 Projektgebiet Anting New Town in Shanghai

Die Stadt „Anting Town“ verfügt gegenwärtig über ca. 42.000 Einwohner. Anting New Town (s. Abbildung 1) liegt südlich der bestehenden Stadt und weist eine Bebauungsfläche von insgesamt 5,4 km<sup>2</sup> auf. Die Fläche für die Wohnbebauung umfasst allerdings nur 1,5 km<sup>2</sup>, auf der langfristig insgesamt 50.000 Menschen angesiedelt werden sollen. Damit wird in Anting New Town eine Einwohnerdichte von ca. 30.000 Einwohnern pro km<sup>2</sup> erreicht.

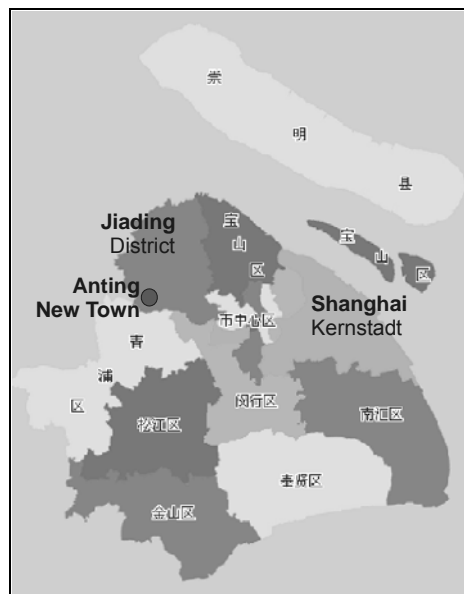


Abbildung 1: Distrikte der regierungsunmittelbaren Stadt Shanghai [eigene Darstellung nach [www.shca.gov.cn](http://www.shca.gov.cn)]

Anting ist auch als Autostadt bekannt, da sich auf ihrem Gebiet viele Werke von Automobilherstellern (unter ihnen die Volkswagen AG) befinden bzw. noch angesiedelt werden sollen. Des Weiteren liegt hier auch die neue Formel 1 Rennstrecke der V.R. China.

Die Flächennutzungsarten in Anting New Town teilen sich im Wesentlichen auf in „Wohnen“ und „Arbeiten“. Dabei wird das Prinzip der „Nutzungstrennung“ strikt verfolgt. Nach Aussage der chinesischen Partner versucht man auf diese Weise die Wohnqualität zu sichern. Um Verkehrsproblemen, die sich aus der strikten Nutzungstrennung entwickeln können, entgegenzuwirken, soll eine zusätzliche ÖPNV-Trasse im Schienenverkehr ausgebaut werden, die den Distrikt in Nord-Süd-Richtung durchläuft und eine Ergänzung zu der bestehenden in West-Ost-Richtung verlaufenden Trasse bildet, durch die Jiading an die Kernstadt Shanghai angebunden wird. Tabelle 1 veranschaulicht die Einwohnerdichten der betrachteten Gebietskörperschaften.

**Tabelle 1:** Einwohnerdichte des Projektgebietes Anting New Town im regionalen Kontext (Shanghai) [eigene Datenerhebung]

<b>Verwaltungseinheit</b>	<b>Einwohner</b>	<b>Fläche</b>	<b>Einwohnerdichte</b>
Regierungsunmittelbare Stadt <b>Shanghai</b>	17.500.000	6.341 km <sup>2</sup>	Ø 2.760 E/km <sup>2</sup>
<b>Jiading Distrikt</b>	750.000	459 km <sup>2</sup>	Ø 1.634 E/km <sup>2</sup>
<b>Projektgebiet Anting New Town</b>	25.000	1,5 km <sup>2</sup>	Ø 16.500 E/km <sup>2</sup>

### 6.1.2 Projektgebiet Binhai Garden in Qingdao

Das Projektgebiet Binhai liegt innerhalb des Kreises Jiaonan, zu dem die Stadt Jiaonan selbst gehört. Der Kreis Jiaonan ist der Region Qingdao untergeordnet, die zu der Provinz Shandong zählt (s. Abbildung 2).

Die Stadt Qingdao ist Finanz- und Wirtschaftszentrum, Informationszentrum, Verkehrsknotenpunkt und Außenhandelsschwerpunkt. Von großer wirtschaftlicher Bedeutung sind in Qingdao die Meereswissenschaften sowie zunehmend die Informatik und die Finanzwissenschaften. Qingdao hat eine Fläche von 1.894 km<sup>2</sup>, die sich über 140 km Küstenlänge erstreckt.



**Abbildung 2: Übersicht Region Qingdao [Qingdao Universität, 2004]**

Die Region Qingdao hat – entsprechend der Aussagen der chinesischen Partner – gegenwärtig rund 7.156.500 Einwohner. Der Kreis Jiaonan verfügt über 830.000 Einwohner und die Stadt Jiaonan über 100.000 Einwohner. Bei einer Fläche von 10.656 km<sup>2</sup> beträgt die Einwohnerdichte in der Region Qingdao demnach 671 Einwohner pro km<sup>2</sup>. Im Kreis Jiaonan, der eine Fläche von 1.895 km<sup>2</sup> umfasst, ist die Einwohnerdichte mit 438 Einwohnern pro km<sup>2</sup> geringer. In der Stadt Jiaonan, die sich über eine Fläche von 20 km<sup>2</sup> erstreckt, ist die Einwohnerdichte mit 5.238 Einwohnern pro km<sup>2</sup> deutlich höher.

Im Projektgebiet Binhai, das sich über 0,4 km<sup>2</sup> erstreckt, sollen zukünftig 11.000 bis 13.000 Einwohner leben. Damit wird die Einwohnerdichte hier 30.550 bis 36.100 Einwohner pro km<sup>2</sup> betragen (s. Tabelle 2).

**Tabelle 2:** Einwohnerdichte des Projektgebietes Binhai Garden (Qingdao) im regionalen Kontext [eigene Datenerhebung]

Verwaltungseinheit	Einwohner	Fläche	Einwohnerdichte
Provinz Shandong	91.000.000	153.300 km <sup>2</sup>	Ø 594 E/km <sup>2</sup>
„Landkreis“ Jiao Nan	830.000	1.895 km <sup>2</sup>	Ø 438 E/km <sup>2</sup>
Projektgebiet Binhai Garden	13.000	0,4 km <sup>2</sup>	Ø 36.100 E/km <sup>2</sup>



## 6.2 Wasserbedarf und Abwasseranfall

Shanghai liegt am Yangtze Fluss und besitzt ein typisch subtropisches Klima. Die Stadt Qingdao hat dagegen ein gemäßigtes Klima und einen geringeren Jahresniederschlag. In Qingdao fallen durchschnittlich ca. 750 mm und in Shanghai ca. 1.200 mm Jahresniederschlag. In Qingdao herrscht besonders im Sommer Wassermangel, wobei die Rohwasserqualität sehr gut ist. Im Gegensatz dazu leidet Shanghai nicht unter Wassermangel aber unter starker Verschmutzung der Oberflächen-gewässer.

Der Trinkwasserbedarf in Qingdao und in Shanghai unterscheidet sich entsprechend den verschiedenen Randbedingungen, wie z.B. Wohngewohnheit, Klima, Trinkwasserpreis etc. In Qingdao beträgt der Trinkwasserbedarf im privaten Haushalt ca. 115 l/(E•d). Der Trinkwasserbedarf in Shanghai liegt wesentlich höher als in Qingdao und beträgt ca. 150 l/(E•d) (vgl. Tabelle 3)

**Tabelle 3:** Differenzierter Trinkwasserbedarf in privaten Haushalten von Shanghai und Qingdao [Projektpartner, 2004]

Verbrauchsstelle	Shanghai	Qingdao
	l/(E•d)	l/(E•d)
Duschen	44	33
Wäschewaschen	10	8
Reinigung	9	7
Kochen/Geschirrspülen	33	25
Toilettenspülung	44	33
Trinken	3	3
Bewässerung Grünflächen	8	6
Summe	151	114

**Tabelle 4:** häuslicher Abwasseranfall in Shanghai und Qingdao [Projektpartner, 2004]

Anfallstelle	Shanghai	Qingdao
	$l/(E \cdot d)$	$l/(E \cdot d)$
Duschen	44	33
Wäschewaschen	10	8
Reinigung	9	7
Kochen/Geschirrspülen	33	25
Toilettenspülung	44	33
Trinken	3	3
Summe	143	108

### 6.3 Rohwasserqualität

In Shanghai darf grundsätzlich kein Grundwasser genutzt werden, da die großen Mengen benötigten Trinkwassers ein zu rasches Absenken des Grundwasserspiegels mit der Folge von Bodenabsenkungen sowie vermehrten Bodenversalzungen (Einströmen von Meerwasser) hervorrufen würden. Oberflächenwasser ist dagegen in genügender Menge vorhanden, wenngleich oft stark verschmutzt. Derzeit werden im Shanghaier Raum noch 70 bis 80 % des Rohwassers, dem Fluss Huangpu entnommen und nur 20 bis 30 % aus dem Fluss Yangtze. In Zukunft soll aber die Entnahme aus dem Yangtze [SMEDI, 2004] auf mindestens 50 % gesteigert werden, weil die Rohwasserqualität des Huangpu aufgrund der schlechten Wasserqualität zur Trinkwassergewinnung ungeeignet ist (nach chinesischen Maßstäben Gewässergüterklasse III und schlechter, s. [GB3838-2002]). Dazu soll im Bereich der Yangtze-Mündung ein neuer großer Wasserspeicher von 3 Mio. m<sup>3</sup> Inhalt gebaut werden. Derzeit wird der Jiading-Distrikt mit Rohwasser aus einem Wasserquellenschutzgebiet am Yangtze versorgt, welches ein Speichervolumen von 60.000 m<sup>3</sup> umfasst. Die Wasserqualität des Yangtze genügt den Anforderungen an Rohwasser zur Trinkwasseraufbereitung. Nach chinesischem Standard ist er in die Gewässergüteklasse II einzustufen. Allerdings ist ein Anstieg des Salzgehaltes in den Wintermonaten, bedingt durch eine geringere Wasserführung und dadurch Eindringen des Salzwassers vom Meer im Bereich der Yangtze-Mündung, problematisch. Der CSB des Yangtze beträgt etwa 10 mg/l und der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen 16 mg/l. Weiterhin ist die Konzentration an Kohlenwasserstoffen erhöht. Sie beträgt 0,11 mg/l; hier angegeben als Konzentration an Mineralöl.

Auch im Raum Qingdao wird praktisch ausschließlich Oberflächenwasser als Rohwasserressource zur Trinkwasserversorgung genutzt. Wesentliche Rohwasserquelle ist Wasser aus den Talsperren des Laoshan-Gebirges neben der Nutzung von Flusswasser aus dem Gelben Fluss. In Jiaonan werden noch rund 20.000 m<sup>3</sup> Grundwasser aus 20 bis 30 Brunnen gefördert. 50.000 m<sup>3</sup> werden aus Talsperren des Laoshan-Gebirges geliefert. Für das vorliegende Forschungsvorhaben sind die Wasserqualitäten aus den drei Talsperren Laoshan, Jihongtan und Dagu-Stausee bekannt (s. Tabelle 5). Die Wasserqualität ist hier im Allgemeinen gut. Nur stellenweise treten, bevorzugt in den Sommermonaten, höhere Konzentrationen an Fäkal-Coliformen auf (bis 1263,3/l). Die CSB-Konzentration beträgt 5 mg/l.

**Tabelle 5:** Analysewerte Rohwasser Yangtze (Unterlauf) und Qingdao Stauseen (gemittelte Werte der 3 Stauseen Laoshan, Dagu und Jihongtan) [Projektpartner, 2004]

Yangtze Flusswasser		Qingdao Stauseen			
<b>pH</b>	7,64	<b>Temperatur</b>	2,9-28,9 °C	<b>Mn</b>	0,022 mg/l
<b>Sauerstoffgehalt</b>	8,59 mg/l	<b>pH</b>	7,52-8,29	<b>Nitrat</b>	0,7-3 mg/l
<b>CSB<sub>Mn</sub></b>	2,13 mg/l	<b>Sauerstoffgehalt</b>	6,5-9,6 mg/l	<b>Cu</b>	0,0017 mg/l
<b>BSB<sub>5</sub></b>	0,49 mg/l	<b>CSB<sub>Mn</sub></b>	1,65-3,81 mg/l	<b>Zn</b>	0,014 mg/l
<b>Ammonium</b>	0,76 mg/l	<b>Ammonium</b>	0,028-0,111 mg/l	<b>Se</b>	0,12 µg/l
<b>Nitrit</b>	0,034 mg/l	<b>P<sub>ges</sub></b>	0,01-0,03 mg/l	<b>As</b>	0,004 µg/l
<b>Nitrat</b>	1,2 mg/l	<b>F</b>	0,51-0,72 mg/l	<b>Hg</b>	0,017 µg/l
<b>Phenol</b>	0,001 mg/l	<b>Phenol</b>	0,001 mg/l	<b>Cd</b>	0,002 mg/l
<b>Cyanid</b>	0,1 µg/l	<b>Mineralöl</b>	0,007 mg/l	<b>Cr<sup>4+</sup></b>	0,002 mg/l
<b>Hg</b>	0,05 µg/l	<b>Fäkalien-Coliforme</b>	14,3-1263,3/l	<b>Pb</b>	0,004 mg/l
<b>Cr<sup>4+</sup></b>	0,002 mg/l	<b>Sulfat</b>	85,3-117,2 mg/l	<b>Cyanid</b>	0,002 mg/l
<b>Mineralöl</b>	0,11 mg/l	<b>N<sub>ges</sub></b>	1,58-1,91 mg/l	<b>Lineare Alkylbenzolsulfonate</b>	0,002 mg/l
<b>Cd</b>	0,2 µg/l	<b>BSB<sub>5</sub></b>	0,79-2,34 mg/l	<b>Sulfid</b>	0,002 mg/l
<b>P<sub>ges</sub></b>	0,057 mg/l	<b>Cl</b>	44,9-49,5 mg/l		

Yangtze Flusswasser		Qingdao Stauseen	
<b>N<sub>ges</sub></b>	2,16 mg/l	<b>Nitrit</b>	0,006-0,018 mg/l
<b>Cl</b>	11,9 mg/l	<b>Methan</b>	0,57 µg/l
<b>Cu</b>	0,011 mg/l	<b>TKN</b>	0,1 mg/l
<b>CSB<sub>Cr</sub></b>	9,98 mg/l	<b>CSB</b>	5 mg/l
<b>Abfiltrierbare Stoffe</b>	16 mg/l	<b>Fe</b>	0,022 mg/l

#### 6.4 Wasserversorgungsnetze

Das Trinkwasser kann derzeit in Shanghai nicht direkt aus der Leitung getrunken werden. Bis 2020 soll dies möglich sein [SMEDI, 2004]. Derzeit sind auch viele Trinkwasserleitungen veraltet und marode durch Korrosion, da die alten Rohre keinen Korrosionsschutz besitzen. Hier sind zum einen die Wasserverluste groß, zum anderen auch Verkeimungen möglich. An vielen Stellen wird daher das Leitungssystem derzeit saniert. Das für die Trinkwasserleitungen verwendete Material ist Guss. In den Hausinstallationen hat es früher Zinkleitungen gegeben; heute bestehen die Hausanschlüsse aus PVC.

#### 6.5 Abwasserzusammensetzung

Ausgehend von den erhobenen technischen Daten sind die Schmutzstoffkonzentrationen in häuslichen Abwässern in Shanghai viel niedriger als in Deutschland. Die Zulaufkonzentration des Abwassers der Abwasserbehandlungsanlagen in Qingdao zeigt dagegen sehr ähnliche Eigenschaften wie in Deutschland. Im nationalen chinesischen Standard „Code for design of building reclaimed water system“ [GB 50336-2002] werden Analysen des häuslichen Abwassers unter der Berücksichtigung von Anfallorten veröffentlicht (vgl. Tabelle 6).

**Tabelle 6:** Hauptschmutzkonzentrationen des häuslichen Abwassers [GB 50336-2002, geändert]

	<b>BSB<sub>5</sub></b>	<b>CSB</b>	<b>TS</b>
	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>
Toiletten	200 - 260	300 - 360	250
Küchen	500 - 800	900 - 1350	250
Dusche/Bad	50 - 60	120 - 135	100
Waschen	60 - 70	90 - 120	200

Neben diesen Daten wurden im Rahmen der eigenen Erhebungen die Schmutzfrachten des chinesischen häuslichen Abwassers und der Abwassermenge ermittelt. Somit ergeben sich die dargestellten Konzentrationen der verschiedenen Schmutzstoffe.

**Tabelle 7:** Abwasserzusammensetzungen [Projektpartner, 2004]

<b>Parameter</b>	<b>einwohnerspezifische Frachten</b>	<b>Konzentration</b>
	<i>g/(E•d)</i>	<i>mg/l</i>
CSB	100	789
BSB <sub>5</sub>	50	394
TS	40	316
N	10	79
P	1,9	15

## **6.6 Abwasserableitung**

Im Bereich der Abwasserableitung sind bei der Bestandsanalyse grundlegende Basisdaten ermittelt worden. In China existieren sowohl Entwässerungsgebiete, die im Mischsystem entwässern, d.h. eine gemeinsame Ableitung von Niederschlags- und Schmutzwasser, als auch Gebiete, die im Trennsystem entwässern (getrennte Ableitung von Niederschlags- und Schmutzwasser). Für neue Baugebiete wird im Allgemeinen das Trennsystem bevorzugt.

Sowohl Anting New Town (Shanghai) als auch Binhai Garden (Qingdao) entwässern im Trennsystem, so dass im Rahmen der Projektbearbeitung von einem Trennsystem ausgegangen und dieses bemessen bzw. modelliert wird. Eine mehrfache Leitungsführung z.B. zur Grauwasserableitung und Wasserwiederverwendung ist in China in einzelnen Pilotprojekten teilweise auf Häuserebene, teilweise auf kleinerer Wohngebietsebene bekannt [Wilhelm, C. 2001; Chinanews, 2001].

Für den Bau der Abwasserkanäle werden verschiedene Materialien eingesetzt: Beim Bau von Hauptsammlern mit entsprechenden Nennweiten werden hauptsächlich Betonrohre verwendet, während Steinzeugrohre hauptsächlich für Nebensammler und PVC-Rohre für Hausanschlüsse eingesetzt werden.

Da im Rahmen des Forschungsprojektes keine Regenwassernutzung betrachtet wird, liegen auch keine dementsprechenden Daten vor.

### **6.7 Abfallanfall und -zusammensetzung**

Die für eine detaillierte Beschreibung der anfallenden Abfallmengen und Abfallzusammensetzungen erforderlichen Daten sind auf Grund der in China vorherrschenden Strukturen in der Abfallwirtschaft nur in unzureichendem Maße zugänglich.

Die Abfallzusammensetzung ist maßgeblich durch informelle Sammelaktivitäten geprägt, durch die sich der Wertstoffanteil in den Entsorgungsträgern überlassenen Abfallfraktionen vergleichsweise gering darstellt. Dominierend im Abfall sind organische Anteile. Generell liegt der Anfall an organischen Abfällen bei ca. 0,70 bis 0,75 kg/(E•d). Die organische Fraktion besteht auf Grund der städtischen Siedlungsstruktur überwiegend aus Küchenabfällen. Dazu kommen Anteile aus Wertstofffraktionen wie Papier und Kunststoffen von ca. 0,25 kg/(E•d). Nicht verwertbarere anorganische Anteile sind in Gebieten ohne Kohleheizung kaum vorhanden. Ihr Massenanteil beträgt i.d.R. maximal 0,05 kg/(E•d). Die angegebenen Werte sind das Ergebnis von Befragungen der örtlich zuständigen Entsorgungsträger. Die Daten über den zeitlichen Verlauf der Zusammensetzung liefern keine darüber hinaus gehenden Erkenntnisse.

Signifikante Unterschiede in der Abfallzusammensetzung zwischen den Modellgebieten in Shanghai und Qingdao konnten nicht ermittelt werden. Die Abfallzusammensetzung unterscheidet sich signifikant von derjenigen in Mittel- und Westeuropa. Fraktionen wie Hygieneartikel, die in Deutschland mit bis zu 10-Massenprozent in den Siedlungsabfällen vertreten sind, spielen in den Modellgebieten keine Rolle.

Auch der Anteil der Wertstoffe wie Papier und Kunststoffe, die einem öffentlichen Sammelsystem übergeben werden, ist in Mittel- und Westeuropa signifikant höher.

### **6.8 Abfallsammlung- und -transport**

Zu unterscheiden sind bei Abfallsammlung und -transport die institutionellen sowie die informellen Sammelaktivitäten. Die informellen Sammelaktivitäten haben sich in allen Bereichen etabliert, in denen der materielle Wert der Reststoffe eine getrennte Sammlung wirtschaftlich ermöglicht. Dieses sind insbesondere die Kunststoffe (z.B. PET-Flaschen) sowie Papier und Metalle. Für diese Fraktionen ist der Erfassungsgrad hinsichtlich des Gesamtaufkommens als sehr gut zu bewerten.

Daraus ergibt sich, dass sich in den der institutionellen Sammlung überlassenen Abfallströmen nur geringe Anteile direkt stofflich verwertbarer Kunststoff- und Papieranteile finden. Der hohe Anteil biologisch aktiver Materialien bestimmt den Abfuhrhythmus. Die Sammlung erfolgt i.d.R. in Gefäßen bis maximal 220 l. Aus diesen wird der Abfall mindestens einmal täglich in nicht motorisierte Kleinfahrzeuge umgeladen und zu kleineren Umladestationen verbracht. Von dort wird der Abfall mit Press- oder Containerfahrzeugen zu den zentralen Umladestationen oder direkt zur Beseitigungs- oder Behandlungsanlage transportiert.

Zum Teil sind Systeme zur getrennten Erfassung von Sonderabfallkleinmengen etabliert. Auch existieren Ansätze zur getrennten Sammlung der organischen Abfälle. Ohne eine hinreichende Betreuung und Beratung sind die Ergebnisse jedoch nicht zufrieden stellend.

## **7 Basis für das zu entwickelnde Gesamtkonzept (Arbeitspaket 2)**

Um ein sinnvolles angepasstes, flexibles, integriertes und nachhaltiges semizentrales Ver- und Entsorgungssystem für urbane Räume Chinas entwickeln zu können, ist es notwendig, aus der Bestandsanalyse resultierende generelle Basisdaten zu formulieren, auf deren Grundlage das Ver- und Entsorgungssystem konzipiert wird. Diese werden im ersten Abschnitt dieses Kapitels erläutert. Der zweite Abschnitt dieses Kapitels beschreibt und erläutert die Kriterien sowie die Vorgehensweisen, auf deren Basis Ver- und Entsorgungssysteme bewertet werden.

## 7.1 Basisdaten für das zu entwickelnde Gesamtkonzept

### 7.1.1 Typische Raumstrukturen in urbanen Räumen Chinas

Eine wesentliche Erkenntnis im Rahmen des Projektes ist die Tatsache, dass die urbanen Räume der Volksrepublik China sowohl gegenwärtig als erwartungsgemäß auch zukünftig nach dem Prinzip der „funktionalen Trennung“ (Gebiete dienen z.B. nur der Funktion Wohnen oder Gewerbe) entwickelt werden. Des Weiteren ist festzustellen, dass die Entwicklung neuer Gebiete nicht nur rasant voranschreitet, sondern i.d.R. in Suprarastern erfolgt. Diese bilden ein weitestgehend orthogonales Grundraster für die Stadtentwicklung, das in der Regel Entwicklungsflächen von 200.000 m<sup>2</sup> bis 500.000 m<sup>2</sup> entstehen lässt,<sup>2</sup> in denen entweder durch die Städte selbst oder durch Investoren neue Stadtteile entwickelt und implementiert werden. Die Gebiete können als „Suprazellen“ bezeichnet werden (vgl. Abbildung 3).



Abbildung 3: Entwicklungszellen in China, Foto Qingdao [eigene Darstellung]

---

<sup>2</sup> Das orthogonale Raster stellt sich im Raum durch Erschließungsanlagen (große Erschließungsstraßen, in denen die weitere Versorgungsinfrastruktur angelegt ist) dar.



Die so genannten Suprazellen dienen im vorliegenden Forschungsprojekt als Grundeinheit für die Modellierung der beteiligten technischen Fachgebiete. Für die Modellierung ist es unumgänglich den Suprazellen spezifische Eigenschaften eines Wohngebietes zuzuweisen, denn nur auf diese Weise sind technische Modellierungen hinsichtlich der geeigneten räumlichen Größe und der optimalen technischen Systemkombination für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme möglich.

Zur Entwicklung der Suprazellen werden sowohl vorhandene Analysen und Daten aus den Projektgebieten hinsichtlich der (baulichen) Nutzung bzw. Nutzungsverteilung als auch chinesische Gesetzesgrundlagen bezüglich der baulichen Nutzungsverteilungen in Wohngebieten herangezogen. Die Suprazelle bildet somit das statistische Mittel eines chinesischen Wohnneubaugebietes ab.<sup>3</sup> Ein Raumbezug oder eine räumliche Verortung dieser Modellzelle ist nicht möglich. Auch stellt sie weder ein städtebauliches Modell des typischen urbanen Raumes in China dar noch ist sie als städtebauliche Empfehlung für chinesische Wohnneubaugebiete zu verstehen. Sie dient ausschließlich als theoretisches Modell und damit als Grundlage der technischen Modellierung. Die daraus resultierenden Ergebnisse sind daher in Teilprojekt 2 im Raum kritisch zu überprüfen und unter Berücksichtigung eines spezifischen Raumbezugs zu konkretisieren.

Im Allgemeinen strukturiert sich der Wohnsiedlungsbereich in China wie folgt:

- gering verdichtete Bereiche mit einer Gebäudehöhe von 1 bis 2 Vollgeschossen, meist in Form von Ein- und Zweifamilienhäusern; mehr oder weniger großzügige private Grünflächen;
- mäßig verdichtete Bereiche mit einer Gebäudehöhe von 4 bis 6 Vollgeschossen, meist in Form von Wohnblöcken in Zeilenbauweise;

---

<sup>3</sup> Die beiden Projektgebiete „Bin Hai Garden“ und „Anting New Town“ sind einerseits sehr unterschiedliche Entwicklungsgebiete, andererseits repräsentieren sich beide die aktuelle Entwicklung neuer Wohnraumentwicklung in China. Während „Bin Hai Garden“ mit seiner Gebäudestruktur das typische chinesische Wohn-Neubaugebiet veranschaulicht, repräsentiert „Anting New Town“ den sich verbreitenden Trend einer starken Orientierung an westlichen Elementen in der Planung. Entsprechend wurden die in den Projektgebieten erhobenen Daten nicht zu gleichen Teilen als Bewertungs- und Analysegrundlage verwendet. Da Bin Hai Garden die durchschnittliche Wohnraumentwicklung Chinas verkörpert, gingen die dort erhobenen Daten zu 2/3, die in „Anting New Town“ erhobenen Daten auf der Basis „zunehmenden westlichen Einflusses in der Stadtentwicklung“ zu 1/3 in die Datenanalyse ein.

- hoch verdichtete Bereiche mit einer Gebäudehöhe von 6 bis 8 Vollgeschossen, meist in Form von Wohnblöcken in Zeilenbauweise;
- Bereiche für Gemeinwesen mit sozialer sowie technischer Infrastruktur (wie z.B. Sportanlagen, Kindergärten oder andere Nahversorgungseinrichtungen sowie das Ver- und Entsorgungszentrum);
- öffentliche Grünflächen;
- Verkehrsflächen.

Entsprechend den geltenden chinesischen Standards sind die folgenden Rahmenbedingungen für die Ausgestaltung einer Suprazelle zu berücksichtigen:

**Tabelle 8:** Rahmenbedingungen für chinesische Wohnneubauegebiete (teilweise nach chinesischem Standard [GB/J 50180 – 93])

<b>Fläche insgesamt</b>	20 bis 50 ha pro Suprazelle
<b>Frei- und Grünflächenanteil</b>	7,5 bis 18 % öffentliche Grünflächen
<b>Anteil Verkehrsinfrastruktur</b>	10 bis 18 %
<b>Versiegelungsgrad</b>	bis 82 %
<b>Anzahl der Vollgeschosse</b>	1 bis 2; 4 bis 6; 6 bis 8 je nach Typisierung der Wohnnutzung

Weitere charakteristische Merkmale der Suprazelle sind, dass

- alle Suprazellen aufgrund des orthogonalen Entwicklungsrahmens über eine Außenerschließung verfügen, die sowohl eine unabhängige Entwicklung der Zellen ermöglicht als auch eine gemeinsame Entwicklung.
- alle Zellen monofunktional entwickelt werden.

Für die Entwicklung der Suprazelle sind zudem statistische Mittel der folgenden Merkmale aus vorliegenden Daten zu urbanen Räumen in China sowie Analysen der Projektgebiete abzuleiten:

- Durchschnittliche Bevölkerungsdichte (Einwohner pro ha sowie Einwohner pro Wohneinheit und durchschnittliche m<sup>2</sup>-Zahlen pro Wohneinheit);
- durchschnittliche Gebäudehöhen (Anzahl der Vollgeschosse);
- durchschnittliche Verteilung unterschiedlicher Nutzungen (prozentualer Anteil der Nutzungen Wohnen, Verkehrsinfrastruktur, gemeinschaftlich genutzte Flächen, soziale Infrastruktur, öffentliche Grünflächen sowie Ver- und Entsorgungsinfrastruktur);

- durchschnittliche Verteilung unterschiedlicher Wohnnutzungsformen (gering verdichtete Ein- und Zweifamilienhausgebiete, mäßig verdichtete Wohngebiete sowie hoch verdichtete Wohngebiete mit Mehrfamilienhäusern in Block- oder Zeilenbauweise).

Aus den o.g. Rahmenbedingungen ergeben sich die folgenden wesentlichen Parameter für die Suprazelle, die sich im zulässigen Rahmen der chinesischen Standards bewegen: Wesentliches Merkmal ist die quadratische Grundfläche, die eine Fläche von 50 ha umfasst. Ebenso charakteristisch sind die Nutzungsanteile, die zu Modellierungszwecken prozentual festgelegt wurden. Weiterhin sind die Gebäudeformen und -höhen durch das Modell definiert. Aufgrund von Festlegungen bzgl. durchschnittlicher Wohnungsgrößen und prozentualer Verteilung verschiedener Nutzungsintensitäten und -arten (vgl. Abbildung 4), ergibt sich eine rechnerische Einwohnerzahl von 13.000 Einwohnern pro Suprazelle.

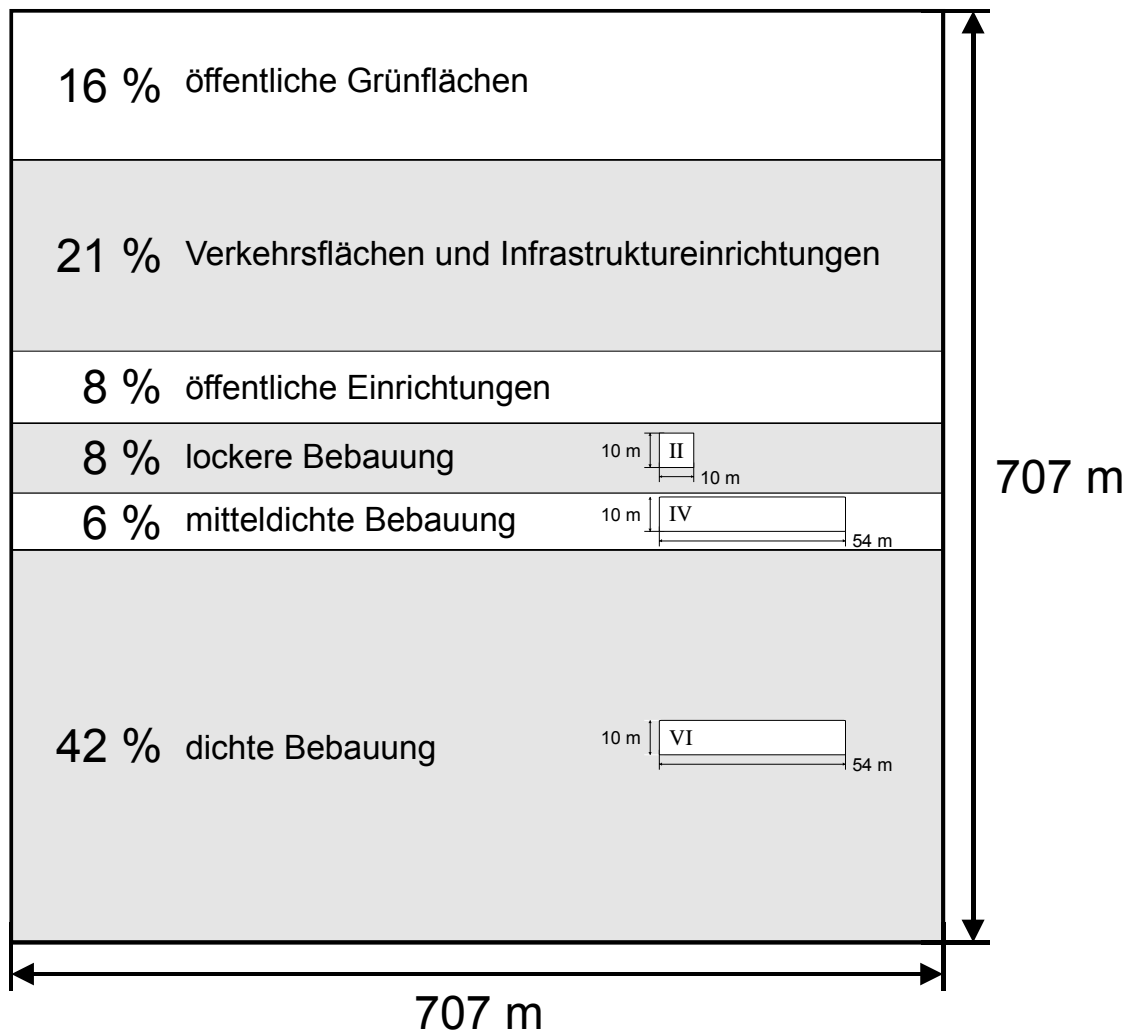
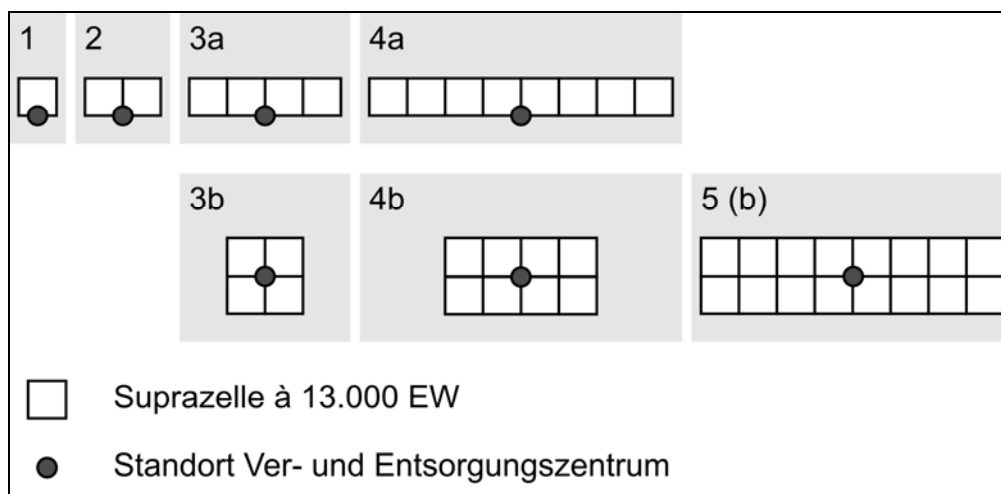


Abbildung 4: Prozentuale Verteilung der Nutzungsanteile innerhalb der Suprazelle [eigene Darstellung]

Eines der Ziele des vorliegenden Forschungsvorhabens ist es, die geeignete räumliche Größe für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme zu ermitteln. Aus diesem Grunde werden die Suprazellen in den folgenden unterschiedlichen so genannten „Fällen“ zusammengesetzt, um unterschiedliche Raumgrößen für die Modellierung simulieren zu können:

- **Fall 1:** 1 Suprazelle : 13.000 Einwohner
- **Fall 2:** 2 Suprazellen: 26.000 Einwohner
- **Fall 3:** 4 Suprazellen: 52.000 Einwohner
- **Fall 4:** 8 Suprazellen: 104.000 Einwohner
- **Fall 5:** 16 Suprazellen: 208.000 Einwohner

Die Suprazellen lassen sich in den o.g. Fällen unterschiedlich zu einer Entwicklungseinheit kombinieren. Da das Forschungsprojekt u.a. von der Annahme ausgeht, dass semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme umso besser geeignet sind, desto kompakter ihr Einzugsbereich ausgestaltet ist, sind die Suprazellen sowohl in Form von Bändern (a) als auch in Form von kompakten Strukturen (b) angeordnet worden (vgl. Abbildung 5). Entsprechend variiert die Entfernung zum Ver- und Entsorgungszentrum.



**Abbildung 5: Fälle 1 bis 5 [eigene Darstellung]**

Die Obergrenze von 208.000 Einwohnern wurde gewählt, da es sich bei dem Modell der Suprazelle um eine monofunktionale Einheit, d.h. um ein reines Wohngebiet handelt. Darüber hinaus hat das Projekt den Anspruch neben einer integrierten Planung und Entwicklung auch Ansätze für eine integrierte Umsetzung sowie einen integrierten Betrieb des semizentralen Ver- und Entsorgungssystems zu entwickeln (im

Rahmen des 2. Teilprojektes). In diesem Zusammenhang erscheint eine Maximalgröße von ca. 200.000 Einwohnern ebenfalls sinnvoll.

### 7.1.2 Trinkwasserbedarf und Abwasseranfall in urbanen Räumen Chinas

Für spätere Modellierungen werden der gewichtete gemittelte Trinkwasserbedarf von Qingdao (Nordchina) und Shanghai (Südchina) für Trinkwassernetze und Trinkwasseraufbereitungsanlagen und der gewichtete gemittelte Abwasseranfall für das Abwasserableitungssystem und -behandlungsanlagen verwendet, um die Differenz zwischen unterschiedlichen Regionen Chinas (hier speziell Süd- und Nordchina) mit deutlich unterschiedlichem Wasser- und Abwasseranfall auszugleichen. In Tabelle 9 sind der gewichtet gemittelte Trinkwasserbedarf und der gewichtet gemittelte Abwasseranfall dargestellt (vgl. Kapitel 7.1.1).

**Tabelle 9:** Gewichtet gemittelter Trinkwasserbedarf und Abwasseranfall [eigene Berechnung]

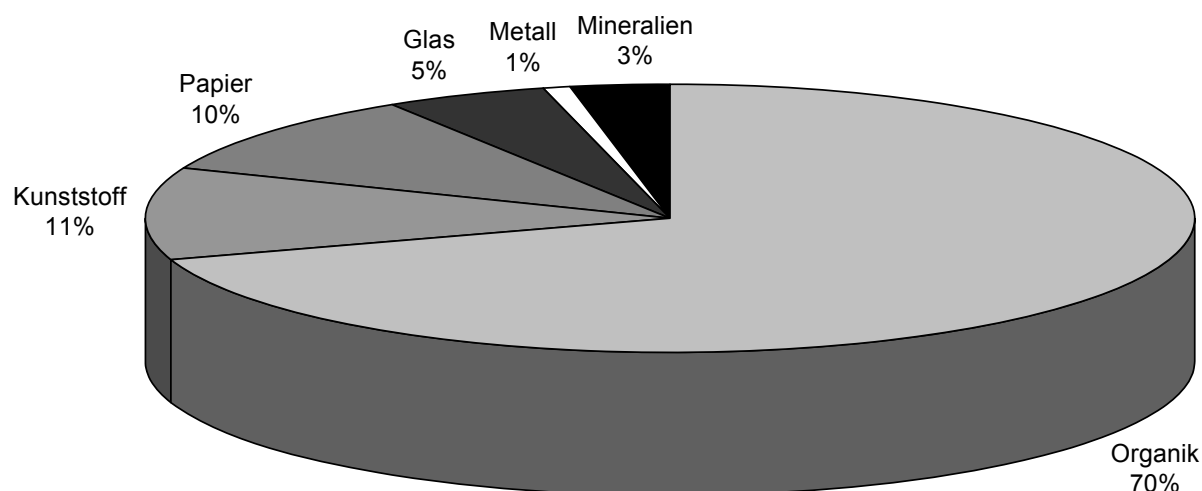
	Trinkwasserbedarf	Abwasseranfall
	<i>I/(E*d)</i>	
Duschen	37	37
Wäschewaschen	9	9
Reinigung	7	7
Kochen/Geschirrspülen	27	27
Toilettenspülung	37	37
Trinken	3	3
Bewässerung Grünflächen	7	0
Summe	127	120

### 7.1.3 Abfallzusammensetzung in urbanen Räumen Chinas

Die für eine detaillierte Beschreibung der anfallenden Abfallmengen und Abfallzusammensetzungen erforderlichen Daten sind auf Grund der in China vorherrschenden Strukturen in der Abfallwirtschaft nur in unzureichendem Maße zugänglich.

Im Rahmen einer Datenerhebung vor Ort konnten dennoch die relevanten Rahmenbedingungen für das Gesamtkonzept ermittelt werden. Maßgeblich im Bereich der Abfalltechnik ist dabei die stoffliche Zusammensetzung der anfallenden Abfallströme. Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt die gemittelte Abfallzusammensetzung, die auch

als Basis für die Modellierung Verwendung findet. Die zugrunde liegenden Daten wurden im Rahmen einer Datenerhebung im Jahr 2005 vor Ort bei den zuständigen Behörden und Organisationen erhoben. Auf Grund der geringen Unterschiede zwischen den Daten der beiden Modellgebiete geben die hier dargelegten gewichtet gemittelten Werte sehr gut die tatsächliche Zusammensetzung wieder.



**Abbildung 6: Abfallzusammensetzung Shanghai/Qingdao [eigene Darstellung]**

Eine weitere Grundlage für die Entwicklung sind die abfallwirtschaftlich vorherrschenden Rahmenbedingungen vor Ort. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die stark ausgeprägten informellen Sammelaktivitäten, die zu einem relativ niedrigen Anteil von verwertbaren Fraktionen wie Kunststoffen, Papier und Metallen im kommunal eingesammelten Abfall führt. Diese existierenden Strukturen für die Sammlung von Wertstoffen werden für das Gesamtkonzept als feste Rahmenbedingung vorgegeben.

## **7.2 Auswahl und Festlegung von Bewertungskriterien für die abschließende vergleichende Bewertung der zu konzipierenden semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme**

Die Bewertung im Rahmen des Forschungsprojektes soll zwei wesentliche Ziele verfolgen: Zum einen sollen Aussagen darüber getroffen werden, ob eine bestimmte Größe von Entwicklungsgebieten (oben Fälle genannt) für integrierte semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme zu empfehlen ist. Darüber hinaus sollen die technischen Varianten hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit bewertet werden. Aufgrund des Anspruchs, technische Systemlösungen für „urbane Räume Chinas“, also für sehr unterschiedliche Bezugsräume (Nordchina, Südchina etc.), zu entwickeln und der Modellierung der konzipierten semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme anhand der

Rahmendaten der Suprazelle, ist die Auswahl des besten Systems für einen konkreten Anwendungsfall in Teilprojekt 1 noch nicht möglich. Dies wird im Rahmen des zweiten Teilprojekts durch die Ergänzung der raumrelevanten Faktoren eines bzw. mehrerer Beispielprojekte/Bezugsregionen erfolgen.

Die Nachhaltigkeit der Varianten wird mithilfe einer Nachhaltigkeitsbewertung ermittelt. Diese ist ein Bewertungsinstrument das gleichzeitig ökologische, soziokulturelle und ökonomische Kriterien berücksichtigt. Die angewandten Kriterien werden im Folgenden – getrennt nach ökologischen, soziokulturellen und ökonomischen Aspekten – detailliert vorgestellt.

Im Rahmen der **ökologischen Bewertung** werden – angelehnt an die Kriterien einer Umweltverträglichkeitsprüfung – insgesamt 14 Kriterien in 4 Gruppen berücksichtigt. Die drei Kriterien „Risiko durch eingesetzte Stoffe“, „Eintrittswahrscheinlichkeit eines Störfalls“ und „Reversibilität von Störfällen“ sind unter der Bezeichnung *Gefährdungspotenzial* zusammengefasst. Hinter der Bezeichnung *Wirkung auf Umweltmedien und Menschen* stehen die Kriterien „Wirkung auf das Umweltmedium Luft“, „Wirkung auf das Umweltmedium Wasser“, „räumlicher Gesamteindruck“ sowie „Emissionsintensität von Lärm“ und „Emissionsintensität von Geruch“. Die Kriterien „Flächenbedarf“, „Rohwasserbedarf“ und „Energiebilanz des Gesamtsystems“ werden unter dem Terminus *Systeminput*, die Kriterien „Entstehung von überwachungsbedürftigen Abfällen“ und „Entstehung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen“ unter der Bezeichnung *Systemoutput* zusammengefasst.

- Gefährdungspotenzial: Risiko durch eingesetzte Stoffe, Wahrscheinlichkeit und Reversibilität eines Störfalls  
Das Risiko der eingesetzten Stoffe berücksichtigt alle Stoffe, die im Gesamtsystem eingesetzt werden und stuft ihren Gefährdungsgrad ein. Störfallwahrscheinlichkeit und Reversibilität hingegen beziehen sich lediglich auf technische Abläufe innerhalb der einzelnen Module/Komponenten. So weisen manche technische Verfahren eine höhere Störfallwahrscheinlichkeit auf, da sie bereits auf geringe Veränderungen des Systeminputs (z.B. Wasser-, Abwasser-, Abfallanfall) oder der Rahmenbedingungen (z.B. Einwohneranzahl, Niederschlagsmengen) reagieren als andere technische Verfahren. Die Reversibilität gibt darüber hinaus Auskunft über den Schweregrad und die Wiederherstellungsfähigkeit des Systems im Falle eines Störfalls.
- Wirkung auf Umweltmedien und Menschen: Luft, Wasser, räumlicher Gesamteindruck sowie Emissionsintensität von Lärm und Geruch  
Diese Kriterien geben Auskunft, wie stark die Umweltmedien Luft und Wasser

durch die verschiedenen Varianten beeinträchtigt werden. Zudem wird eine Einschätzung gegeben, welche Auswirkungen die baulichen Maßnahmen auf das Erscheinungsbild eines Wohngebietes haben. So nimmt beispielsweise eine Deponie aufgrund ihrer Ausmaße erheblichen Einfluss auf die Raumwirkung, wohingegen kleinere Anlagen bspw. durch Einhausung den optischen Eindruck von Wohngebäuden oder vergleichbaren städtebaulichen Strukturen erhalten können. Weiterhin erfolgt eine Bewertung der aus dem gesamten Ver- und Entsorgungssystem resultierenden Lärm- und Geruchsbelastungen für die Anwohner.

- Systeminput: Flächen- und Rohwasserbedarf, Energiebilanz des Gesamtsystems

Insbesondere vor dem Hintergrund des enormen Stadtwachstums und dem daraus resultierenden Anspruch an überschaubare, flexible und verlässliche Ver- und Entsorgungssysteme spielt die Ressource Fläche eine entscheidende Rolle. Neben dem Flächenbedarf der verschiedenen Varianten wird mit der Energiebilanz des Gesamtsystems ein weiterer limitierender Faktor großen urbanen Wachstums im Rahmen des Systemoutputs berücksichtigt. Gleichzeitig spielt, insbesondere in hoch verdichteten Räumen, die Versorgung mit Wasser eine wichtige Rolle, da für weite Transporte hohe ökonomische Aufwendungen betrieben werden müssen und gleichzeitig ökologische Risiken für die wasserexportierenden Regionen resultieren können.

- Systemoutput: Entstehung von Abfällen unterschiedlicher Qualität  
Neben den Inputgrößen spielt insbesondere die Qualität des Outputs eine wichtige Rolle für die ökologische Qualität eines Systems. Entsprechend berücksichtigt das Bewertungssystem die Outputmengen überwachungsbedürftiger und besonders überwachungsbedürftiger Abfälle.

Wie der Übersicht zu entnehmen ist, werden – im Gegensatz zum Kriteriensatz der Umweltverträglichkeitsprüfung – keine raumrelevanten Kriterien in der Bewertung berücksichtigt. Dies ist aufgrund der dargestellten Gründe nicht sinnvoll, da die Suprazelle – ein für urbane Räume Chinas im Allgemeinen entwickeltes Modell – die Basis der Systemmodellierung darstellt und somit nicht in der Lage ist, spezifische, raumrelevante Faktoren zu berücksichtigen.

Bei dem Kriterienkatalog zur **soziokulturellen Bewertung** steht die Akzeptanz des Ver- und Entsorgungssystems im Vordergrund. Da diese auf Seiten der Nutzer und der Betreiber durchaus an unterschiedlichen Kriterien festzumachen ist – aber im Hinblick auf eine angestrebte Umsetzung des integrierten semizentralen Ansatzes



auch die Betreiberseite berücksichtigt werden soll – ist der Kriterienkatalog zweigeteilt, in Kriterien aus der Sicht der Nutzer und Kriterien aus Sicht der Betreiber.

Kriterien von Seiten der Nutzer:

- Komfort: Sicherung des Status Quo und einfacher Betrieb  
Veränderung des Gewohnten kann leicht zu Überforderung des Nutzers oder zu fehlender Akzeptanz aufgrund erhöhten Arbeitsaufwandes führen. Je näher ein neues System an bekannte Systeme (Status Quo) im Bezug auf die Nutzeraufgaben und -anforderungen ist, desto größer ist die Akzeptanz. Gleichzeitig spielt die einfache Handhabung eines Systems eine Rolle, um der angesprochenen Überforderung entgegen zu wirken.
- Transparenz des Systems:  
Je größer die Abweichung vom Status Quo ist (bspw. durch die Etablierung der Grauwasserwiederverwendung), desto größer ist die Skepsis bzgl. Funktionsweisen und Verlässlichkeit seitens der Nutzer. Die Transparenz systemimmanenter Abläufe kann die Akzeptanz von Veränderungen verbessern helfen.
- Ver- und Entsorgungssicherheit: In allen drei technischen Disziplinen (Wasser, Abwasser, Abfall) und im Bereich der Wasserversorgung auch mit allen angebotenen Wasserqualitäten  
Das Hauptanliegen der Nutzer liegt in der Verlässlichkeit des Ver- und Entsorgungssystems. Mit sinkender Stabilität eines Ver- und Entsorgungssystems (bspw. durch auftretende Behandlungseingpässe in der Abwasser- oder Abfalltechnik oder durch Rohwasserengpässe zu bestimmten Tageszeiten) nimmt auch die Akzeptanz des Systems ab. Der Anspruch an eine gleich bleibende Qualität der im Haushalt ankommenden Wasserströme wird mit diesen Kriterien nicht erfasst. Der gesicherte Hygienestandard ist ein elementarer Anspruch an das Gesamtsystem und keiner Abwägung zugänglich: Dies bedeutet, dass der hohe Hygienestandard – sowohl des Inputs als auch des Outputs – in jeder Variante aufgrund der technischen Zusammenstellung und Modellierung gesichert ist.

Kriterien von Seiten der Betreiber:

- Systemstabilität: Toleranz gegenüber Mengenschwankungen und Bedienungsfehlern  
Zur Sicherstellung des oben beschriebenen Hygienestandards ist die Systemstabilität für den Betreiber von großer Bedeutung. So werden Systeme, die gegenüber Mengenschwankungen (bspw. zu Urlaubszeiten, in denen sich die

Zahl der Nutzer vor Ort deutlich reduziert oder auch erhöht) resistent sind, besser bewertet als solche, die sehr sensibel auf derartige äußere Einflüsse reagieren und ggf. ausfallen könnten. Auch die Robustheit eines Systems in Bezug auf mögliche Bedienungsfehler ist für einen Betreiber von Bedeutung. Auch hier schneiden Systeme mit größerer Toleranz besser ab als „sensible“ Systeme.

- Betreuungsintensität: zeitlich und qualitativ

Die Personalintensität stellt ebenfalls einen zu berücksichtigenden Aspekt dar. Je größer der zeitliche Aufwand zur Unterhaltung und Betrieb eines Gesamtsystems ist, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass an einer Stelle im System ein Fehler unterläuft. Dieses Risiko erhöht sich ebenfalls mit steigender Qualitätsintensität der Betreuung und Unterhaltung eines Systems. Die damit verbundenen erhöhten Kosten für den Betreiber werden in diesem Punkt nicht berücksichtigt, da dies in die ökonomische Bewertung in Form erhöhter bzw. verringerter Personalkosten eingeht.

Die Bewertung soll nach Möglichkeit anhand vergleichbarer Kriterien erfolgen. Ist dies nicht realisierbar, da bestimmte Kriterien nicht in Messwerten ausgedrückt werden können (s. z. B. „Komfort der Nutzer“), erfolgt eine subjektive Einschätzung.

Im Bereich der **ökonomischen Bewertung** wird eine Kostenvergleichsrechnung nach LAWA durchgeführt. Angesetzt wurden deutsche Kosten; für China wäre eine günstigere Preisstruktur zu erwarten, da Betriebsmittel dort kostengünstiger erhältlich sind. Weiterhin ist die Personalstruktur in China anders. Da Personal in China wesentlich weniger kostet, ist hier zwar prinzipiell mit geringeren Kosten zu rechnen, wobei aber zu bedenken ist, dass dafür oftmals auch mehr Personal eingesetzt wird.

Bei der Bewertung wurde eine betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer von 25 Jahren veranschlagt. Restwerte wurden berücksichtigt. Es wurde der Kapitalwert, (auch Barwert) ermittelt, indem die in der Zukunft anfallenden Zahlungen auf den heutigen Wert abgezinst (diskontiert) wurden. Der Kapitalwert bezeichnet den derzeitigen Wert einer oder mehrerer in Zukunft anfallender Zahlungen. Er ermöglicht nicht nur den Gegenwartswert einer Zahlungsreihe zu ermitteln, sondern auch Investments mit unterschiedlicher Zahlungsreihe aber gleicher Laufzeit zu vergleichen.

Um Jahreskosten zu ermitteln wurde dieser Wert auf die Annuität umgerechnet. Dies ist eine regelmäßige Jahresleistung zur Verzinsung und Tilgung einer Schuld (lat. Annus = Jahr). Bei der konstanten Annuität handelt es sich um einen stets gleich bleibenden Betrag, der sich aus Zins- und Tilgungsleistungen zusammensetzt. Da der Zins nur auf die rückläufige Restschuld zu zahlen ist, wird der Zinsanteil immer kleiner, der Tilgungsanteil entsprechend höher.

Aus den Jahreskosten (Annuität) lassen sich anschließend Kosten pro Einwohner und Jahr, sowie Kosten pro Einwohner und Tag ermitteln.

Folgende Parameter wurden erhoben:

- Investitionskosten (mit Planungs- und Errichtungskosten), abgeschrieben auf 25 Jahre
- Reinvestitionskosten (bei Anlagenteilen, die eine geringere Lebensdauer als 25 Jahre haben)
- Betriebs- und Unterhaltskosten:
- Wartung (1% der Investitionskosten für die Bautechnik)
- Wartung (3% der Investitionskosten für die Maschinen- und E-Technik)
- Chemikalienkosten
- Energiekosten
- Personalkosten

## **8 Identifikation der technischen Einzelmodule (Arbeitspaket 3)**

Die in einem angepassten, flexiblen, integrierten und nachhaltigen semizentralen Ver- und Entsorgungssystem für urbane Räume Chinas sinnvoll einzusetzenden technischen Einzelmodule werden ausgehend von den verschiedenen anfallenden Stoffströmen (Trinkwasser, Abwasser, Grauwasser, Abfall etc.) sowie den sich daraus ergebenden Möglichkeiten für eine gemeinsame Sammlung und Behandlung ausgewählt.

In den folgenden Abschnitten dieses Kapitels wird zunächst beschrieben, warum welche Stoffströme als Basis für die Identifikation der technischen Einzelmodule ausgewählt worden sind (Abschnitt 1) und wie die sich daraus ergebende stoffstrombasierte Vorzugsalternative für ein integriertes Ver- und Entsorgungssystem aussieht (Abschnitt 2). Die Vorzugsalternative kann durch verschiedene technische Module der Behandlung verwirklicht werden. Geeignete technische Module als Baustein für ein semizentrales Ver- und Entsorgungssystem werden in Abschnitt 3 dieses Kapitels beschrieben.

## **8.1 Auswahl der zu betrachtenden Stoffströme**

### **8.1.1 Trinkwasseraufbereitung**

Für die Trinkwasserversorgung urbaner Räume Chinas reicht das Grundwasser nicht für die Trinkwassergewinnung aus. Im Norden Chinas ist die Grundwasserneubildungsrate gering, zum einen durch einen niedrigen durchschnittlichen Jahresniederschlag, zum anderen dadurch, dass der Niederschlag in den Sommermonaten sich auf wenige Starkregenereignisse beschränkt. Hier bedingt ein hoher Anteil an oberflächlichem Abfluss eine geringe Grundwasserneubildungsrate. Auch im Süden Chinas (Shanghai) ist die Grundwasserneubildung trotz hoher Jahresniederschläge nicht ausreichend, da der Bedarf der 18,3 Millionen Einwohner [NSBC, 2004] noch größer ist, und die Grundwasserneubildung nicht in entsprechender Geschwindigkeit erfolgt und damit die Speicher auffüllt. Aufgrund der daraus resultierenden Gefahr einer erheblichen Übernutzung der Ressource Grundwasser ist die Grundwassernutzung im Raum Shanghai verboten. Negative Erfahrungen mit Bodensenkungen und Eindringen salzigen Meerwassers in Grundwasser führende Bodenschichten führten zu diesem Schritt. Versuche das Grundwasser mit nur schlecht vorgereinigten Wässern wieder anzureichern hatten zur Folge, dass das Grundwasser vielerorts unbrauchbar für die Gewinnung von Trinkwasser ist.

Die Verwendung von Regenwasser als Brauchwasser ist nur zur Grünflächenbewässerung oder Straßenreinigung nutzbar, denn die auffangbare Menge an Regenwasser reicht nicht für weitere Nutzungen aus (Berechnung vgl. Anhang A - 1).

Aufgrund der Darlegungen wird deutlich, dass nur die Gewinnung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser zielführend und praktikabel ist.

Durch die Verwendung von Grauwasser als Brauchwasser wird die Menge des qualitativ hochwertig aufzubereitenden Trinkwassers geringer. Gerade bei Rohwasser geringerer Qualität können die Aufbereitungskosten höher werden. Kommt das Aufbereitungsverfahren mit möglichst wenig chemischen Zusatzstoffen aus, so sind auch die Wasserwerksschlämme problemlos zu entsorgen. Beim integrierten, semizentralen Konzept werden sie dem Abwasser zugegeben.

### **8.1.2 Abwasserentsorgung**

Das Stoffstromgemisch häusliches Abwasser kann in die drei Abwasserteilströme Grauwasser, Braunwasser und Gelbwasser unterteilt werden. Gelbwasser ist der

flüssige Teil des Toilettenabwassers, also ausschließlich Urin inkl. Spülwasser. Der feste Teil des Toilettenabwassers wird als Braunwasser bezeichnet und beinhaltet die Fäkalien und Toilettenspülwasser. Die Summe aus Gelb- und Braunwasser wird als Schwarzwasser bezeichnet und stellt das gesamte aus Toiletten und Urinalen stammende Schmutzwasser dar. Grauwasser ist derjenige Abwasserteilstrom, der aus der Körper- und Textilpflege, der Hausreinigung und in der Küche anfällt, also der restliche Abwasserteilstrom, wenn vom gesamten häuslichen Abwasserstrom das Schwarzwasser abgetrennt wird.

Die Grundidee der getrennten Gelbwassersammlung und -ableitung bzw. der Urinseparation ist der Aufbau bzw. die Schließung eines Nährstoffkreislaufes. Im Urin sind ca. 50% der Phosphatfracht und ca. 87% der Stickstofffracht des häuslichen Abwassers enthalten [Otterpohl zitiert in ATV-DVWK, 2002]. Während in der konventionellen Abwasserableitung diese Nährstoffe in den Abwasserreinigungsanlagen mit einem hohen Energieaufwand aus dem Abwasser eliminiert werden müssen, ist es bei getrennter Sammlung und anschließender Behandlung möglich, den Urin als Dünger wieder zu verwenden. Hierzu sind jedoch Separationstoiletten, die den Urin von den Fäkalien trennen, notwendig. Diese Toilettensysteme werden in einigen Pilotprojekten bspw. in Schweden und Deutschland eingesetzt, erfordern aber ein geändertes Nutzerverhalten als herkömmliche Toilettensysteme; beispielsweise müssen Männer in Sitzen urinieren. Auch berichten einige Nutzer der Trenntoiletten von Geruchsproblemen im Raum, der Ablagerung von Urinstein in den Leitungen sowie komplizierten ggf. aufwendigen Reinigungsmethoden. Das separat gesammelte Gelbwasser kann zwar laut allgemeiner Aussagen nach sechs Monaten als Düngemittel verwendet werden. Aber die Rückstände von Medikamenten, z.B. Antibiotika, Schmerzmittel, und hochkonzentrierten Hormonpräparaten. (wie z.B. Antibabypille) etc. im Gelbwasser, die mit dem Urin aus menschlichen Körpern ausgeschieden werden, sind mit einer sechsmonatigen Lagerzeit nicht vollständig abbaubar. Daher ist eine getrennte Gelbwassersammlung zur Wiederverwendung als Düngemittel kritisch zu betrachten. Bei dieser Problematik muss abgewogen werden, ob ein Verbleib der genannten Stoffe im Wasserkreislauf oder im Boden mehr oder weniger schädlich ist [Albold, A. 2001]. Somit kann die Akzeptanz dieser Systeme in China nicht vorausgesetzt werden, so dass eine Gelbwassertrennung bei der Entwicklung der Alternativen nicht weiter berücksichtigt wird.

Ein Ziel bei der Entwicklung der Alternativen ist die Einsparung bzw. Wiederverwendung von Wasser. Wertvolles Trinkwasser kann bspw. eingespart werden, indem statt einer normalen Spültoilette eine Vakuumtoilette, die lediglich 1 l Wasser pro Spülung benötigen, eingesetzt wird. Eine Wasser sparende Spültoilette benötigt in

Vergleich 6 l pro Spülung. Jedoch setzt auch eine Vakuumtoilette ein geändertes Nutzerverhalten voraus, da die Ableitungen viel kleinere Durchmesser besitzen. Zudem ist dieses Toilettensystem erheblich geräuschintensiver als eine normale Spültoilette und im Vergleich zur Spültoilette teurer. Aus diesem Grund wird bei der Alternativenentwicklung vom Einsatz von Vakuumtoiletten abgesehen.

Trinkwasser kann ebenfalls eingespart werden, indem Brauchwasser zur Toiletten-spülung eingesetzt wird. Als Brauchwasser kann Regenwasser oder gereinigtes Abwasser bzw. ein Abwasserteilstrom nach entsprechender Reinigung eingesetzt werden. Bei der Nutzung von Regenwasser ist es aufgrund klimatischer Bedingungen, d.h. einer ungleichmäßigen Verteilung des Niederschlags, i.A. nicht möglich, den gesamten Brauchwasserbedarf über das ganze Jahr zur Verfügung zu stellen, so dass Trinkwasser nachgespeist werden muss. Wird jedoch gereinigtes Abwasser bzw. gereinigtes Grauwasser als Brauchwasser eingesetzt, so kann bspw. der Toiletten-spülwasserbedarf jederzeit gedeckt werden. Wird Grauwasser zur Wiederverwendung genutzt, so reicht es aus, die Abläufe aus Duschen, Handwaschbecken und Waschmaschinen getrennt abzuleiten und zur Wiederverwendung zu reinigen. Dieser Teilstrom ist relativ gering verunreinigt und enthält lediglich eine geringe Belastung mit Bakterien und Viren, so dass die Akzeptanz der Nutzer von Brauchwasser aus Grauwasser in relativ kleinen Räumen vorausgesetzt werden kann.

Die Darlegungen zeigen, dass aus abwassertechnischer Sicht die Trennung von Schwarz- und Grauwasser sowie die Nutzung des gereinigten Grauwassers zur Toiletten-spülung und Gartenbewässerung die bevorzugte Alternative darstellt.

Bei jeder Art der Abwasserreinigung entsteht Klärschlamm. Dieser Klärschlamm muss behandelt werden, bevor er entsorgt bzw. wieder verwendet werden kann. Für die Klärschlammbehandlung stehen ebenfalls verschiedene Verfahren zur Verfügung. Er kann sehr gut gemeinsam mit Bioabfall oder Restabfall behandelt werden. Im Vergleich zum Abfallaufkommen (ca. 0,7 kgTS/(E•d)) ist der Anteil des Klärschlammes (ca. 0,05 kgTS/(E•d)) sehr gering, so dass bei der Alternativenentwicklung der Klärschlammmitbehandlung in Abfallbehandlungsanlagen der Vorzug gegeben wird. Zu berücksichtigen sind allerdings die hohen Volumenströme des Klärschlammes infolge des hohen Wassergehalts. Diesem ist ggf. durch technische Entwässerungsmaßnahmen entgegenzuwirken.

### 8.1.3 Abfallentsorgung

Oberstes Ziel der Abfallbehandlung ist die schadlose Beseitigung der Reststoffe. Nachgeordnete Ziele sind die möglichst weitgehende Verwertung der verschiedenen Abfallfraktionen unter wirtschaftlich vertretbaren Rahmenbedingungen sowie – damit verbunden – die Reduktion der Massenströme, die einem Beseitigungsverfahren zuzuführen sind.

Der kommunale Abfall besteht aus verschiedenen Fraktionen, für die jeweils angepasste Behandlungsverfahren zu wählen sind. Die Auftrennung der verschiedenen Fraktionen kann beim Abfallerzeuger durch getrennte Sammlung erfolgen. Hierbei ist eine weitgehend sortenreine Trennung mit geringen Verschmutzungsgraden erzielbar. Bei allen nachgeordneten Sortierungsschritten kann eine hinreichende Sauberkeit der einzelnen Fraktionen nicht in jedem Fall gewährleistet werden. Als Beispiel sei hier die Durchfeuchtung und Durchfettung von Papier und Pappe durch organische Materialien genannt, die eine hochwertige Verwertung verhindert.

Nachgeordnete Verfahren der Sortierung können sowohl technisch als auch händisch realisiert werden. Bei der händischen Sortierung können vergleichsweise hohe Sortiererfolge erzielt werden; der erforderliche Einsatz an Personal ist jedoch sehr hoch.

Bei der maschinellen Sortierung hängt der Sortiererfolg maßgeblich von den gewünschten Sortierfraktionen ab. Während eine Abtrennung von metallischen Fraktionen technisch wenig problematisch ist, ist eine sortenreine Abtrennung der organischen Fraktion mit vernachlässigbarem Störstoffanteil mit hohem technischen Aufwand verbunden.

Da in den betrachteten Modellgebieten mit einer ausgeprägten informellen Sammelaktivität im Bereich der Wertstoffe zu rechnen ist, ist im Bereich der institutionellen Sammlung ausschließlich die getrennte Sammlung der organischen Fraktion in die Erwägungen einzubeziehen. Der Nutzen einer getrennten Sammlung, die im Bereich des Transportes einen erhöhten Energieverbrauch nach sich zieht, hängt maßgeblich vom Sortiererfolg im einzelnen Haushalt ab. Eine Mitwirkung der Bürger ist hier unerlässlich. Erforderlich sind daher Aufklärungs- und Beratungsmaßnahmen, um dem Bürger den Nutzen der getrennten Sammlung zu verdeutlichen.

Eine definierte Stoffstromauftrennung im Rahmen der Vorzugsalternative wird im Bereich der Abfallbehandlungsverfahren nicht vorgenommen. Die verschiedenen zur

Verfügung stehenden technischen Verfahren bedingen unterschiedliche Stoffstromauf-trennungen, die dann im Bereich der einzelnen Varianten untersucht werden.

## 8.2 Stoffstrombasierte Vorzugsalternative für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme in urbanen Räumen Chinas

Die technischen Modulkombinationen umfassen die im Rahmen der technischen Betrachtung und Untersuchung festgelegten Stoffströme. Im Einzelnen sind die Ströme „Grundwasser“ und „Oberflächenwasser“ sowie Wasserwerksabwasser für den Bereich der Trinkwasseraufbereitung, „Abwasser“ als komplett gemischtes häusliches Abwasser, die Abwasserströme „Grau- und Schwarzwasser“ sowie die Abwasserströme „Grau-, Braun und Gelbwasser“ aus dem Bereich der Abwassertechnik sowie die Stoffströme „Klärschlamm“, „Bioabfall“ und „Restabfall“ aus dem Bereich der Abfallbehandlung und -entsorgung zu betrachten.

Abbildung 7 veranschaulicht das generelle Zusammenwirken der drei technischen Disziplinen Wasserversorgung, Abwasserbehandlung und Abfalltechnik anhand eines Fließschemas, das die verschiedenen Stoffströme in den systematischen Zusammenhang eines semizentralen Ver- und Entsorgungssystems stellt.

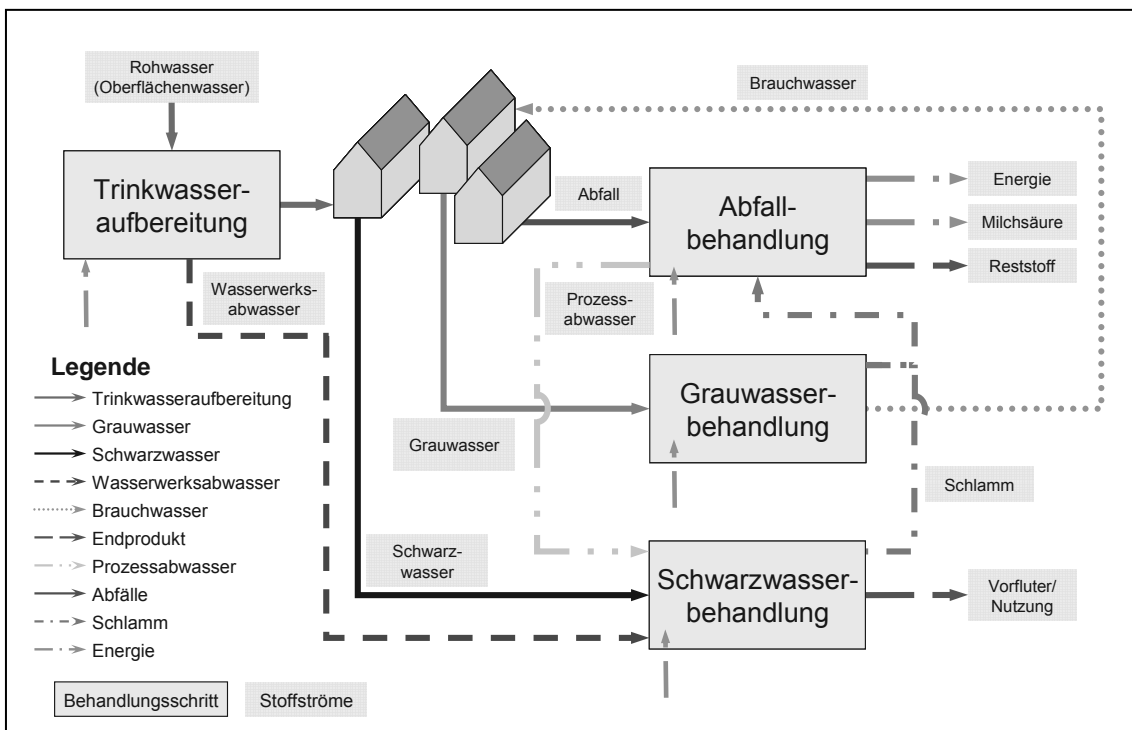


Abbildung 7: Stoffströme der Vorzugsalternative [eigene Darstellung]



Aufbauend auf dieser Stoffstromsystematik werden nun in einem weiteren Schritt mögliche Aufbereitungs- und Behandlungstechniken und -verfahren für die einzelnen Stoffströme ermittelt und bewertet.

### **8.3 Auswahl der technischen Module**

#### **8.3.1 Trinkwasseraufbereitung**

Das für Trinkwasserzwecke aufzubereitende Rohwasser wird für Anting New Town aus dem Yangtze entnommen, für Qingdao ist es Talsperrenwasser. Angesetzt wurden hier die gemittelten Werte der drei Stauseen Laoshan, Dagu und Jinhongtan. Für die Aufbereitung des Oberflächenwassers bieten sich als Membranverfahren die Ultrafiltration und die Nanofiltration an. Die Ultrafiltration ist ein geeignetes Verfahren für die sichere Entfernung von Bakterien und Viren sowie Parasiten. Durch die Barrierewirkung ist die Zuverlässigkeit hinsichtlich einer gesicherten Trinkwasserversorgung sehr groß. Die Nanofiltration ermöglicht zusätzlich eine Teilentsalzung, was bei winterlich höheren Salzgehalten im Unterlauf des Yangtze von Vorteil sein könnte. Auch bei Problemen mit Pestiziden, kann sie gute Erfolge erzielen. Pestizide werden in der Regel aufgrund ihrer aufwendigen Analytik in chinesischen Wasseranalysen nicht berücksichtigt; dennoch wird in Veröffentlichungen vielfach von Pestizidproblemen berichtet.

Membranfiltrationsanlagen sind besonders für semizentrale Anlagen geeignet, weil sie variabel auf den sich verändernden spezifischen Trinkwasserbedarf angepasst werden können. So kann die Anlage im Laufe der Jahre ohne großen Aufwand erweitert oder auch rückgebaut werden, was sich im Vergleich zu herkömmlichen Techniken positiv in der wirtschaftlichen Gesamtrechnung niederschlägt. Das bedeutet in erster Linie ökonomische, aber auch ökologische Vorteile, da z.B. durch eine geringere Produktion von Abfall weniger Entsorgungsprobleme (Umweltprobleme) entstehen. Möglich wird dies über einen modularen Aufbau mit Modulbausteinen, in denen die Membranen angeordnet sind. Vorteilhaft ist auch die in der Regel gleich bleibende Filtratqualität unabhängig von Rohwasserschwankungen. Die Anlagen besitzen einen hohen Automatisierungsgrad und eine hohe Betriebssicherheit mit geringen Betriebs- und Chemikalienkosten.

### **8.3.2 Grauwasseraufbereitung und -behandlung**

Das Grauwasser ist hier mit dem Abfluss aus Dusche/Bad, Handwaschbecken und Waschmaschinen definiert. Das Grauwasser wird getrennt vom Schwarzwasser in einer zweiten Leitung abgeführt und zum Brauchwasser aufgereinigt und wieder im Haushalt z.B. als Toilettenspülwasser verwendet. Dadurch wird der Trinkwasserbedarf im Haushalt um 38% reduziert. Das überschüssige Brauchwasser wird neben dem Toilettenspülwasser zur Bewässerung, Straßenreinigung usw. weiter eingesetzt.

Das Grauwasser ist im Vergleich zum häuslichen Abwasser geringer verschmutzt und beinhaltet wesentlich weniger Nährstoffe (N und P). Die Behandlung des Grauwassers wird daher nur mit einer Kohlenstoffelimination vorgesehen. Mit allen vorhandenen Technologien, sowohl low-tech, wie z.B., Pflanzenkläranlagen, Rotationstauchkörperanlagen, als auch high-tech, wie z.B., Membranbelebungsanlagen, Biofiltern, kann das Grauwasser sehr gut behandelt werden. Unter Berücksichtigung der Kompatibilität des semizentralen Ver- und Entsorgungssystems werden z.B. Pflanzenkläranlagen nicht vorgesehen, da diese sehr flächenintensiv sind. Für die Grauwasserbehandlung werden deshalb Biofilterverfahren, Membranbelebungsreaktoren und SBR-Reaktoren (Sequencing Batch Reactors) ausgewählt, da diese Verfahren sehr kompakt sind und keine zusätzliche Nachklärung nach der biologischen Stufe benötigen.

### **8.3.3 Schwarzwasserbehandlung**

Schwarzwasser ist das Abwasser aus Toiletten, Küchen und sonstigen Nutzungen im Haushalt. Die Menge des Schmutzwassers beträgt ca. 62% vom gesamten Schmutzwasseranfall im Haushalt. Im Schwarzwasser sind über 80% der gesamten Schmutzfrachten des häuslichen Abwassers enthalten und über 90% der Nährstoffe (N und P) befinden sich im Schwarzwasser. Das Schwarzwasser wird behandelt und in den Vorfluter eingeleitet. Evtl. ist eine Verwendung als Bewässerungswasser für städtische Grünflächen möglich.

Die Behandlung des Schwarzwassers ist aufgrund der Inhaltstoffe unbedingt mit einer Nährstoffelimination vorzusehen. Daher ist die Behandlungsanlage flächenmäßig bedeutend größer als die Anlage zur Grauwasserbehandlung. Klassische Belebungsverfahren, Biofilmverfahren, Membranbelebungsverfahren sowie SBR-Verfahren können für die Schwarzwasserbehandlung eingesetzt werden. In der Variantenmodellierung des vorliegenden Forschungsprojektes wurden Biofilter und Memb-

ranbelebungsverfahren unter der Berücksichtigung des Platzbedarfs und der Behandlungseffektivität ausgewählt.

#### **8.3.4 Klärschlammbehandlung**

Klärschlamm entsteht sowohl bei der Grauwasserbehandlung als auch bei der Schwarzwasserbehandlung. Klärschlamm soll in der Regel in einer Abfallbehandlungsanlage mit häuslichen Abfällen zusammen behandelt werden, damit in der Abwasserbehandlungsanlage keine zusätzliche Behandlungsstufe erforderlich ist. Eine detaillierte Beschreibung der Klärschlammbehandlung zusammen mit häuslichen Abfällen findet in den nachfolgenden Kapiteln 8.3.5 und 8.3.6 statt.

Je nach Verfahrenskombination muss jedoch Klärschlamm, der verfahrenstechnisch nicht mit häuslichen Abfällen mitbehandelt werden kann bzw. darf, im Faulbehälter auf der Abwasserbehandlungsanlage anaerob stabilisiert und dann als eines der Abfallendprodukte vermarktet. Maßgeblich für die Auswahl der sinnvollen Kombinationen ist im Besonderen die Eignung der Abfallbehandlungstechniken hinsichtlich Substratstruktur und Wassergehalt. Beispielsweise erfordern statische aerobe Abfallbehandlungsverfahren einen ausreichenden Anteil an Strukturmaterial im Abfall um eine ausreichende Belüftung des Materials sicherzustellen und Faulungsprozesse zu verhindern.

#### **8.3.5 Bioabfallbehandlung**

Bei einer getrennten Sammlung des Bioabfalls sind für die Behandlung des Bioabfalls grundsätzlich zwei Behandlungswege möglich. Bei beiden handelt es sich um biologische Behandlungsverfahren, die sich hinsichtlich der Art des Abbauprozesses unterscheiden.

Bei der aeroben Behandlung – im Bereich der Bioabfallbehandlung wird in der Regel der Begriff der Kompostierung verwendet – wird ein Teil der organischen Substanz des Bioabfalls durch sauerstoffatmende Bakterien mittels des Eintrages von Luftsauerstoff abgebaut. Die biologische Reaktivität des Materials wird dabei, je nach Prozessdauer, herabgesetzt und die Masse durch Austrag über den Luftpfad reduziert. Der Massenaustrag geschieht dabei in Form von Kohlendioxid sowie Wasser. Durch die prozessbedingt hohen Temperaturen findet i.d.R. eine weitgehende Hygienisierung des Materials statt. Für die technische Umsetzung der Kompostierung existiert eine Vielzahl von erprobten Techniken. Die Bandbreite reicht hier von der flächenin-

tensiven aber technisch einfachen offenen Mietenkompostierung bis hin zu den stark technisierten Verfahren wie der Boxenrotte.

Finden die biologischen Abbauprozesse unter Luftabschluss statt, spricht man bei der Bioabfallbehandlung von der Vergärung (anaerober Abbau). Hierbei wird die organische Substanz in mehreren Abbauschritten zu Biogas abgebaut. Der Gärrest muss nach einer entsprechenden Entwässerung noch einer abschließenden aeroben Behandlung unterworfen werden, um ihn endgültig zu stabilisieren. Das beim anaeroben Abbau entstehende Biogas kann energetisch verwertet werden. Die dabei entstehende Wärme kann sowohl zur Deckung des Eigenenergiebedarfs zur Aufrechterhaltung der Reaktortemperatur als auch zur Nutzung als Fernwärme dienen.

### **8.3.6 Restabfallbehandlung**

Da in der Behandlung ein möglichst hoher Anteil der Abfälle einem Verwertungsprozess unterworfen werden soll ist die Deponierung als Behandlungsverfahren grundsätzlich ungeeignet. In Frage kommen deshalb alle Behandlungsverfahren, die eine gute Eignung für die vorliegenden Abfallqualitäten aufweisen und die Anforderungen an semizentrale Anlagen erfüllen.

Unterschieden werden muss hierbei insbesondere, ob es sich um Restabfall aus getrennter Bioabfallsammlung oder gemeinsamer Sammlung mit folglich hohem organischem Anteil handelt. Für die Fraktionen, die einen geringen organischen Anteil aufweisen, ist der Weg der energetischen Verwertung in einem thermischen Verfahren am besten geeignet. Dabei ist es einerseits möglich, den Abfall ohne Vorbehandlung in speziell ausgelegten Abfallverbrennungsanlagen zu behandeln, und die freiwerdende Energie zur Stromgewinnung, als Prozesswärme in industriellen Fertigungsprozessen oder als Fernwärme zu nutzen. Dem semizentralen Konzept folgend müssen für diesen Verwertungspfad Abnehmer für die thermische Energie anlagennah vorhanden sein. Auf Grund der gegebenen Siedlungsstruktur kann von industriellen Abnehmern nicht ausgegangen werden. Auch die Nutzung als Fernwärme scheidet auf Grund der klimatischen Randbedingungen und den großen Mengen potenziell anfallender Energie für große Teile des Jahres aus. Eine ausschließliche Erzeugung elektrischer Energie wird auf Grund schlechter Wirkungsgrade bei einer alleinigen Stromerzeugung nicht in Betracht gezogen.

Alternativ zur direkten thermischen Behandlung des Restabfalls kann eine biologische Trocknung als vorgeschaltetes Verfahren eingesetzt werden, um den Restabfall hinsichtlich seiner Lagerungsfähigkeit sowie prozesstechnischen Eignungen optimal

zu konditionieren. Durch Initiierung aerober Abbauprozesse mittels gesteuerten Sauerstoffeintrags wird der Abfall erhitzt und das enthaltene Wasser verdampft. Ziel ist dabei nicht, wie beim Kompostierungsverfahren ein weitgehender Abbau organischer Substanz zur Stabilisierung, sondern die Unterdrückung biologischer Aktivität durch Wasseraustrag. Hierdurch wird zum einen die Lagerungsfähigkeit des Materials verbessert, da es nicht zu unkontrollierten Abbauprozessen kommen kann. Zum anderen wird der untere Heizwert ( $H_u$ ) des Materials durch die aus der Trocknung folgende Verringerung der Verdampfungsenergie des enthaltenen Wassers gesteigert. Dies führt zu einer verbesserten Eignung des Materials hinsichtlich weiterer thermischer Behandlungsschritte; insbesondere wird hierdurch die Nutzung in industriellen Großfeuerungsanlagen ermöglicht, in denen mit dem erzeugten Ersatzbrennstoff fossile Energieträger teilweise ersetzt werden können. Hierzu ist je nach gewünschtem Einsatzzweck noch eine mechanische Aufbereitung des Materials erforderlich, um z. B. das Einblasverhalten in Kohlefeuerungen zu verbessern.

## 9 Ermittlung möglicher Modulkombinationen (Arbeitspaket 4)

Die in Kapitel 8 ausgewählten technischen Einzelmodule sind zu sinnvollen integrierten Gesamtsystemen zur angepassten, flexiblen und nachhaltigen semizentralen Ver- und Entsorgung urbaner Räume Chinas zusammengestellt worden (vgl. Abbildung 8).

Varianten	Schwarzwasser	Grauwasser	Schlamm	Bioabfall	Restabfall
1, 13, 25	Biofilter	Biofilter	MBA anaerob		
2, 14, 26	Biofilter	Biofilter	MBA anaerob		MBA aerob
3, 15, 27	Biofilter	MBR	MBA anaerob		MBA aerob
4, 16, 28	Biofilter	SBR	MBA anaerob		MBA aerob
5, 17, 29	MBR	Biofilter	MBA anaerob		MBA aerob
6, 18, 30	MBR	MBR	MBA aerob		MBA aerob
7, 19, 31	MBR	SBR	MBA aerob		MBA aerob
8, 20, 32	MBR	MBR	Faulung	MBA aerob	
9, 21, 33	MBR	SBR	Faulung	MBA aerob	
10, 22, 34	Biofilter	MBR	MBA anaerob		
11, 23, 35	Biofilter	SBR	MBA anaerob		
12, 24, 36	MBR	Biofilter	MBA anaerob		

Varianten	Wasseraufbereitung
1-12	Ultrafiltration Crossflow
13-24	Ultrafiltration Dead-End
25-36	Nanofiltration

**Abbildung 8: Sinnvolle Modulkombinationen integrierter semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme [eigene Darstellung]**

Insgesamt sind 36 sinnvolle Modulkombinationen (technische Varianten) möglich: Die drei Module der Wasserversorgung „Ultrafiltration – Cross-Flow“, „Ultrafiltration – Dead-End“ und „Nanofiltration“ können mit allen Modulkombinationen der Abwasser- und Abfalltechnik kombiniert werden (vgl. Abbildung 8). Diese setzen sich aus den in

Abbildung 8 dargestellten Modulen „Biofilter MBR bzw. SBR“, „MBR“, „SBR“, „Faulung“ sowie „MBA aerob“ und „MBA anaerob“ zusammen. Insgesamt lassen sich aus diesen Modulen zwölf sinnvolle Kombinationen zusammenstellen. Bei der gemeinsamen aeroben Behandlung von Rest- und Bioabfall (Variante 9 und 10) ist eine gemeinsame Behandlung der Abfälle mit dem Klärschlamm nicht sinnvoll (vgl. Kapitel 8.3.4); hier wird der Klärschlamm separat anaerob stabilisiert.

## **10 Modellierung der technischen Varianten (mögliche Modulkombinationen) (Arbeitspaket 5)**

Basierend auf den Rahmenbedingungen der Suprazelle und für alle zu betrachtenden Fälle werden die in Kapitel 8 identifizierten Einzelmodule und die in Kapitel 9 zusammengefassten Modulkombinationen modelliert.

### **10.1 Trinkwasseraufbereitung**

Die Aufbereitung des Rohwassers zu Trinkwasser wird zum einen für Yangtze-Wasser (Shanghai) und zum anderen für Talsperrenwasser (Qingdao) aufgezeigt sowie die erforderlichen Behandlungsvolumina berechnet. Verglichen werden hier Ultrafiltration (Cross-Flow, Dead-End), Nanofiltration und die konventionelle Aufbereitung nach dem Stand der Technik (Vorozoneung, Fällung/Flockung, Sedimentation, Ozonung, Filtration, Aktivkohle, Desinfektion).

Die um das Grauwasser verminderte Menge an Trinkwasser beträgt für Anting New Town 108 l/(E•d) und für Binhai Garden 81 l/(E•d). In Tabelle 10 sind die Stoffströme für Anting New Town (Shanghai) und in

Tabelle 11 die Stoffströme für Binhai Garden (Qingdao) zusammengefasst.

Für die Modellierung werden, wie in Kapitel 7.1.1 beschrieben, anteilig die Werte der beiden Projektgebiete Anting New Town in Shanghai und Binhai Garden in Qingdao berücksichtigt und auf das vorgegebene Raster der Suprazelle angewandt.

Die meisten verwendeten Daten stammen aus Nachfragen bei Firmen und Unternehmen (z.B. Wasserverband Hessisches Ried (WHR), HEAG Süd Hessische Energie AG HSE, Firma Rochem UF-Systeme). Die Zahlenwerte aus der Literatur entstammen von tatsächlichen Anlagen [Rautenbach, R. et al. 1998; Melin et al. 2001; Melin et al. 2003; Melin et al. 2005]; hier werden diejenigen Werte verwendet, denen die tatsächlichen Rahmenbedingungen am nächsten kommen.

**Tabelle 10:** Stoffströme für Anting New Town, Shanghai [eigene Berechnung]

	<b>Ultrafiltration Dead-End</b>	<b>Ultrafiltration Cross-Flow</b>	<b>Nanofiltration</b>
Volumenstrom (Wasserwerksabwasser) [l/(E•d)]	2,16 (bei 98% Ausbeute des Rohwassers)	2,16 (bei 98% Ausbeute des Rohwassers)	16,2 (bei 85% Ausbeute des Rohwassers)
Massenstrom (Wasserwerksabwasser) [g/(E•d)]	4,32	4,32	4,32
Energiebedarf [kWh/m <sup>3</sup> ]	0,14	0,25	0,65
spez. Energiebedarf [kWh/(E•m <sup>3</sup> )]	0,015	0,027	0,07

**Tabelle 11:** Stoffströme für Qingdao (Binhai Garden) [eigene Berechnung]

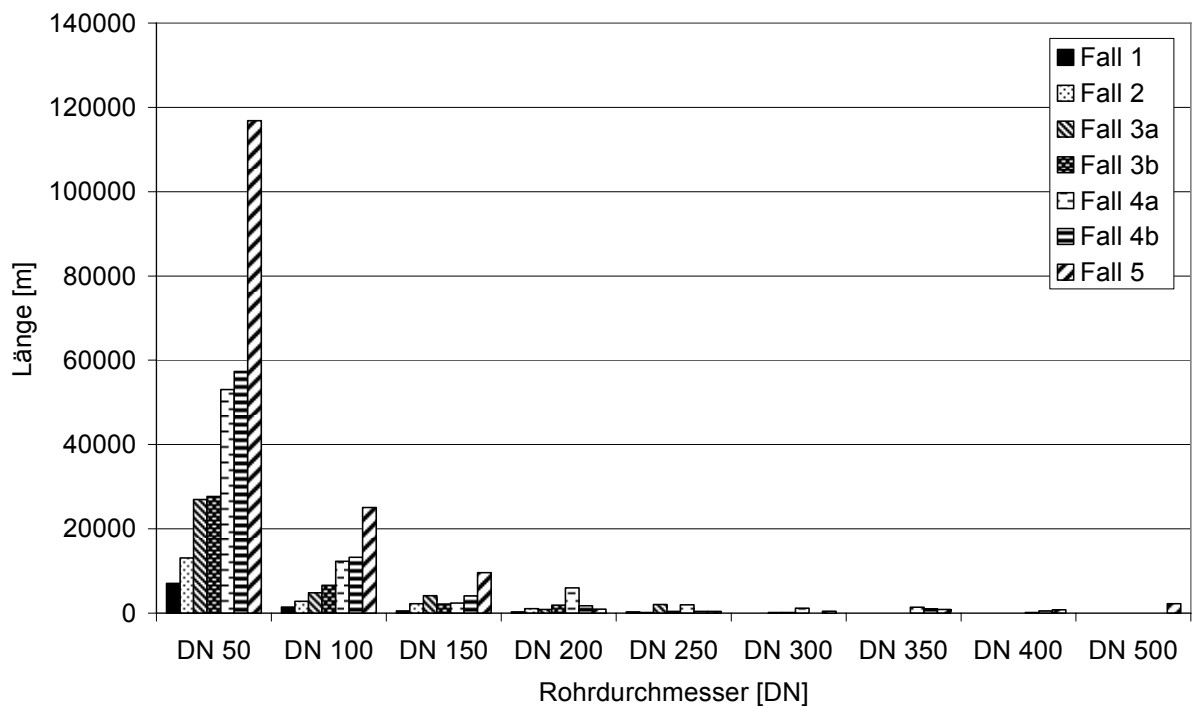
	<b>Ultrafiltration Dead-End</b>	<b>Ultrafiltration Cross-Flow</b>	<b>Nanofiltration</b>
Volumenstrom (Wasserwerksabwasser) [l/(E•d)]	1,62 (bei 98% Ausbeute des Rohwassers)	1,62 (bei 98% Ausbeute des Rohwassers)	12,15 (bei 85% Ausbeute des Rohwassers)
Massenstrom (Wasserwerksabwasser) [g/(E•d)]	1,215	1,215	9,4
Energiebedarf [kWh/m <sup>3</sup> ]	0,14	0,25	0,65
spez. Energiebedarf [kWh/(E•m <sup>3</sup> )]	0,011	0,02	0,053

### 10.2 Trinkwasser- und Brauchwasserverteilung

Die Berechnung des Trink- und Brauchwasserverteilnetzes wurde mit dem Programm Epanet vorgenommen (frei erhältliches Programm zur Rohrnetzmodellierung). Die Rohrdurchmesser (DN) wurden dabei entsprechend der Tabelle „Wirtschaftliche Fließgeschwindigkeit und wirtschaftlicher Durchfluss der verschiedenen DN“ [Mutschman, J. et. al. 2002] ausgewählt. Der Rohrdurchmesser wurde so ge-

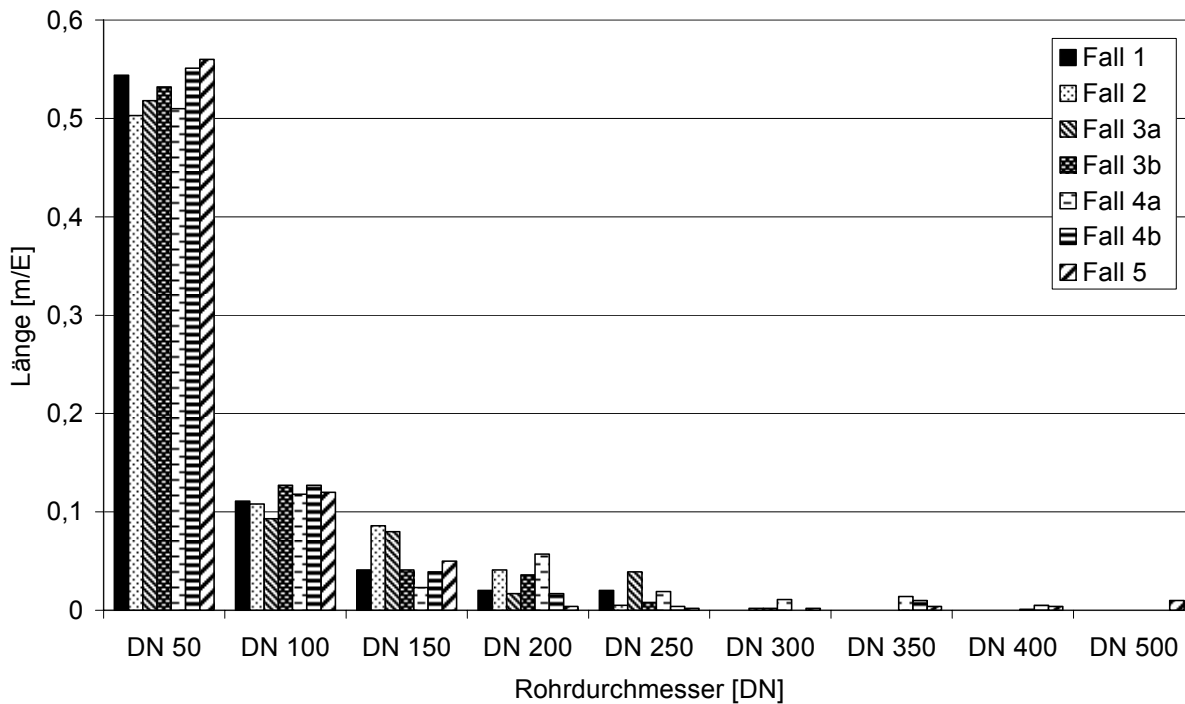


wählt, dass der Druckverlust entsprechend den Nennweiten nicht zu hoch wird und damit die Pumpkosten gering bleiben.



**Abbildung 9: Absolute Rohrnetzlängen der Versorgungsleitungen im Vergleich der Fälle 1 bis 5 [eigene Darstellung]**

Abbildung 9 zeigt die absoluten Rohrnetzlängen für eine Suprazelle mit 13.000 Einwohnern, bis zu 16 Suprazellen mit 208.000 Einwohnern. Hier ist zu erkennen, dass Rohre mit großen Durchmessern ab DN 300 nur bei größeren semizentralen Einheiten erforderlich werden. In Abbildung 10 sind die Versorgungsleitungen pro Einwohner aufgetragen. Somit lassen sich die Unterschiede zwischen den Fällen eindeutig darstellen. Die großen und teuren Rohrquerschnitte werden im Fall 5 bei 208.000 Einwohnern (16 Suprazellen) notwendig, nicht aber im Fall 1 bei 13.000 Einwohnern (1 Suprazelle).

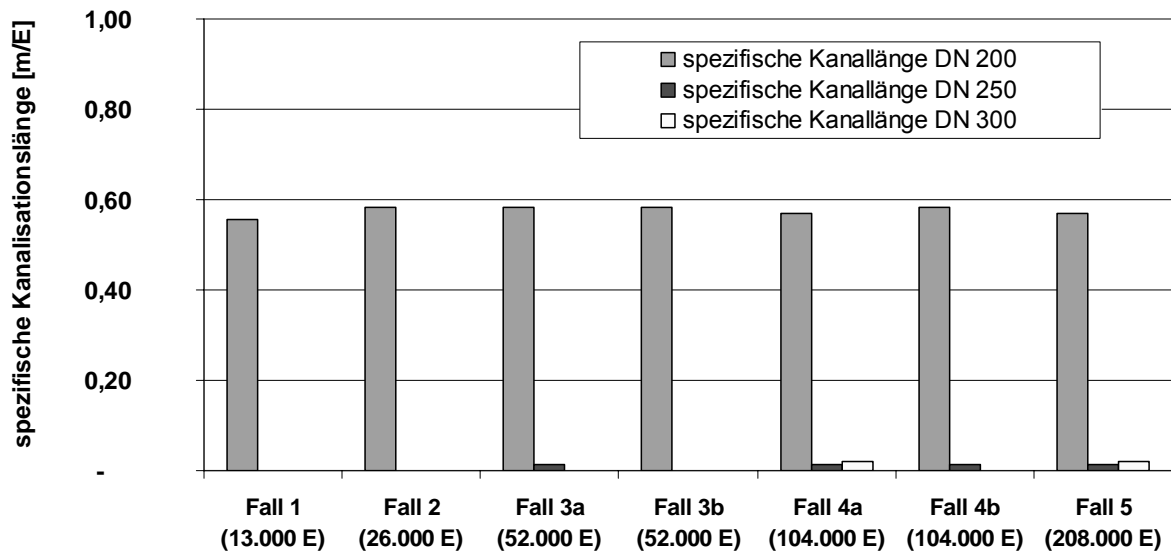


**Abbildung 10: Spezifische Rohrnetzlengthen der verschiedenen Durchmesser im Vergleich der Fälle**

### 10.3 Abwasserableitung

Für die Fälle 1 bis 5 (vgl. Abbildung 5) wird das Kanalisationssystem bestehend aus einem Grauwasser- und einem Schwarzwasserkanal bemessen. In die Betrachtung gehen lediglich die Hauptsammler der jeweiligen Systeme ein. Diese Hauptsammler werden unter die, entsprechend der Suprazellen vorgegebenen Straßen, gelegt. Die Bemessung erfolgt anhand deutscher Vorgaben zur Bemessung der Kanalisation. Somit ist der Mindestdurchmesser DN 200 bei der Stadtentwässerung einzubauen; dieser Durchmesser wird als kleinster möglicher Durchmesser gewählt. Weiterhin werden die Bedingungen, dass das Sohlgefälle mindestens 1:DN oder 2,5 Promille beträgt, in der Bemessung berücksichtigt. Neben dem maximalen Durchfluss sowohl für Schwarz- als auch für Grauwasser, werden die Durchmesser mittels des Kriteriums minimale Fließgeschwindigkeit von 0,5 m/s im Kanal zur Vermeidung von Ablagerungen dimensioniert [ATV, 1994]. Dabei wird angesetzt, dass der Schwarz- bzw. Grauwasserabfluss über die gesamte Fließzeit im Gebiet konstant bleibt, so dass keine Retention berücksichtigt wird. Bei der Bemessung wird weiterhin vereinfachend davon ausgegangen, dass das zu entwässernde Gebiet eben ist.

In Abbildung 11 sind beispielhaft die Ergebnisse aus der Bemessung der Schwarzwasserkanalisation für die Fälle 1 bis 5 dargestellt.



**Abbildung 11: Spezifische Kanalisationslängen und Durchmesser der Fälle für die Schwarzwasserableitung [eigene Darstellung]**

Aus Abbildung 11 ist zu erkennen, dass die einwohnerspezifischen Kanalisationslängen in allen Fällen bei ca. 0,6 m pro Einwohner liegen. Diese spezifische Länge ist im Vergleich zu den üblichen spezifischen Kanalisationslängen in Deutschland sehr gering. Hier werden Längen von 3 bis 6 m pro Einwohner publiziert [ATV, 1994]. Diese geringe spezifische Kanalisationslänge rührt zum einen aus der Betrachtung von Wohngebieten mit einer sehr hohen Einwohnerdichte und zum anderen daher, dass das Ver- und Entsorgungszentrum direkt neben einer Suprazelle liegt, so dass keine langen Transportsammler zur Grau- bzw. Schwarzwasserreinigungsanlage gebaut werden müssen (vgl. Anhang A - 2 und A - 3).

Neben den Kanallängen und Durchmessern werden Abwasserpumpwerke bemessen. Diese Pumpwerke müssen das Grau- bzw. Schwarzwasser wieder auf die Geländehöhe fördern. Bei der Bemessung der Pumpwerke wird eine maximale Förderhöhe von 9 m zugelassen. Dies bedeutet, dass ab dem Punkt, an dem die Kanalisation eine Tiefe von 9 m erreicht, ein Pumpwerk errichtet werden muss.

Mittels der Dimensionierung der Kanalisation und der Bemessung der Abwasserpumpwerke werden die Gesamtkosten der Kanalisation ermittelt. Da die Datengrundlage bezüglich der Investitions- und Betriebskosten in China für die verschiedenen technischen Fachdisziplinen sehr unterschiedlich ist, muss bei der Kostenermittlung auf deutsche Daten zurückgegriffen werden. Die Investitionskosten für die Kanalisation für die verschiedenen Fälle werden mit den von Reicherter publizierten Kostenkennwerten ermittelt [Reicherter, E. 2003]. Die Betriebskosten der Kanalisationen der

verschiedenen Fälle werden entsprechend dem ATV-Handbuch „Bau und Betrieb der Kanalisation“ ermittelt [ATV, 1995]. Die Ergebnisse aus der Kostenermittlung sind Anhang A - 4 zu entnehmen.

#### **10.4 Grau- und Schwarzwasserbehandlung**

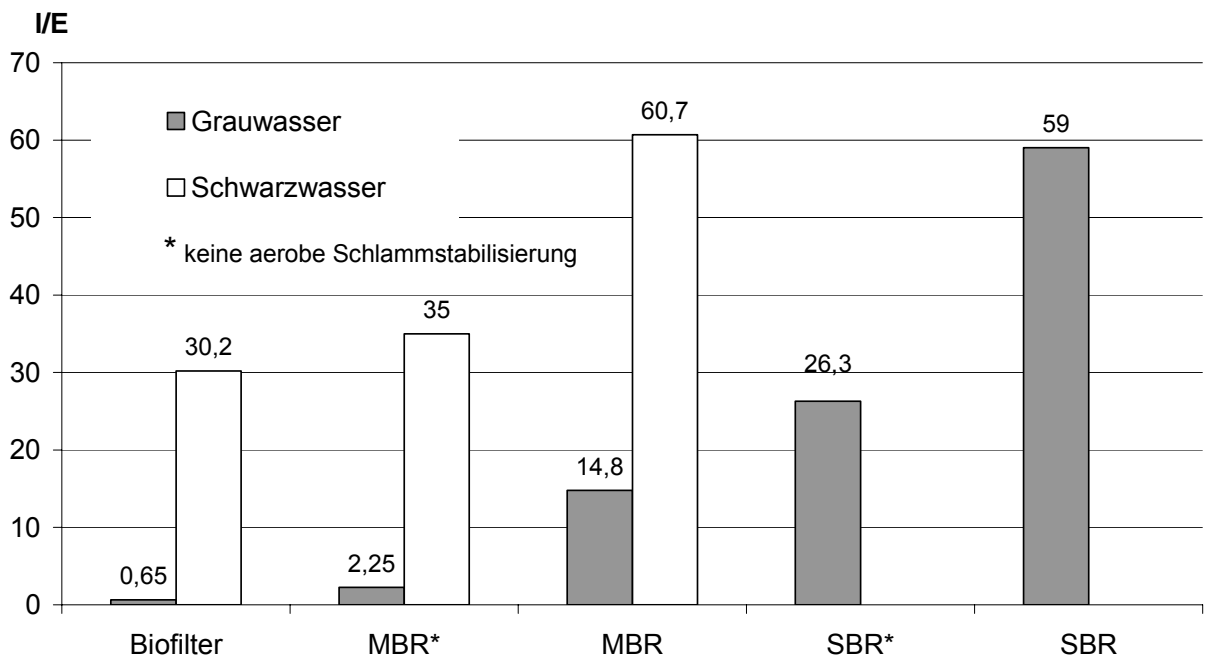
Die Bemessung der biologischen Behandlungsanlage sowohl für die Grauwasser als auch für Schwarzwasser erfolgt nach dem ATV-Arbeitsblatt A 131 für die Membranbelebungsanlage [ATV Arbeitsblatt, 2000], nach dem ATV-Merkblatt M 210 für die SBR-Anlage [ATV Merkblatt, 1997] und nach dem ATV-DVWK-Kommentar zum ATV-DVWK Regelwerk „Bemessung von Belebungs- und SBR-Anlagen“ sowohl für die Membranbelebungs- als auch für die SBR-Anlage [ATV Kommentar, 2001]. Die Biofilteranlage wird nach dem Arbeitsbericht „Biofilter zur Abwasserreinigung“ der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser and Abfall e. V. (DWA) bemessen [ATV Arbeitsbericht, 2000]. Die unterschiedlichen Eigenschaften und Zusammensetzungen des Grau- und Schwarzwassers erfordern eine angepasste Wahl der Behandlungsverfahren.

Da die Schmutzfrachten im Grauwasser nur ca. 9% der gesamten Schmutzfrachten des häuslichen Abwassers entsprechen, wird bei der Grauwasserbehandlung nur eine Kohlenstoffelimination vorgesehen und berechnet. Eine Nährstoffelimination ist damit nicht erforderlich. Das Schwarzwasser mit ca. 92% der gesamten Schmutzfrachten wird auch mit vorgesehener Stickstoff- und Phosphorelimination berechnet. Die Dimensionierung der Behandlungsverfahren ist je nach Verfahren unterschiedlich.

Die Dimensionierung der Membranbelebungsverfahren basiert auf der Grunddimensionierung einer Belebungsanlage nach ATV Arbeitsblatt A 131. Der angenommene TS-Gehalt des Belebungsschlammes in Membranbelebungsverfahren beträgt für die Grauwasserbehandlung  $12 \text{ kg/m}^3$  und für die Schwarzwasserbehandlung  $15 \text{ kg/m}^3$ . Beim Membranbelebungsverfahren wird eine vorgeschaltete Denitrifikationsstufe wie beim konventionellen Belebungsverfahren vorgesehen. Die Dimensionierung der SBR-Verfahren basiert für die biologische Berechnung auf dem ATV Arbeitsblatt A 131 und bezüglich der hydraulischen Berechnung auf ATV Merkblatt M 210. Die Dimensionierung der Biofilterverfahren erfolgt über angenommene Raumumsatzleistungen und Filtergeschwindigkeiten. Die Raumumsatzleistung der Biofilterverfahren wird mit  $5 \text{ kg BSB}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  angenommen und die Filtergeschwindigkeit für die Grauwasserbehandlung mit  $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  bzw. für Schwarzwasserbehandlung mit  $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . Die Schlämme, die aus den Biofilterreaktoren über Rückspülung ausge-

tragen werden, sind nicht stabilisiert. Bei der Schwarzwasserbehandlung mit dem Biofilterverfahren wird die Stickstoffelimination über einen nachgeschalteten Filter zur Denitrifikation realisiert, wofür die Zudosierung einer externen Kohlenstoffquelle (z.B. Methanol) erforderlich ist.

Die fünf Fälle (vgl. Abbildung 5) beeinflussen die Größe der Grau- und Schwarzwasserbehandlungsanlagen aufgrund der unterschiedlichen Volumenströme. Jedoch unterscheiden sich die spezifischen Reaktorvolumen bei gleichen technischen Varianten in den unterschiedlichen Fällen kaum. In Abbildung 12 sind die spezifischen Reaktorvolumen abhängig von den Verfahrenstechniken dargestellt, wobei spezifische Reaktorvolumen der Membranbelebungsverfahren und der SBR-Verfahren in zwei Größen – mit und ohne aerobe Schlammstabilisierung – getrennt dargestellt sind. Die spezifischen Reaktorvolumen unterscheiden sich wesentlich aufgrund der aeroben Schlammstabilisierung in Abwasserbehandlungsreaktoren. Dadurch, dass die Wasseraufbereitungs-, Abwasser- und Abfallbehandlungsanlagen sich auf einem gleichen Gelände befinden, gemeinsam die Hauptverkehrsflächen teilen, wird der Unterschied des Flächenbedarfs von Anlagen zwischen anaerober und aerober Schlammstabilisierung nicht mehr so markant wie in kommunalen Abwasserkläranlagen.



**Abbildung 12: spezifische Reaktorvolumina [I/E] nach Verfahrenstechniken bei Grau- und Schwarzwasserbehandlung**

Das Schlammalter variiert je nach Art der Schlammstabilisierung in den Abwasserbehandlungsanlagen. Der Einsatz einer anaeroben oder einer aeroben Schlammstabilisierung in der Abwasserbehandlung ist von den technischen Verfahrenvarianten in

der Abfallbehandlung abhängig. Für diejenigen Varianten, in denen der Schlamm auf der Abwasserbehandlungsanlage separat stabilisiert wird, werden das Schlammalter und die Reaktorvolumina für Kohlenstoff-, Stickstoff und Phosphorabbau mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulung) vorgesehen und dimensioniert. Das Schlammalter beträgt ca. 4 Tage in der Grauwasserbehandlungsanlage mit ausschließlichem Kohlenstoffabbau und ca. 13-17 Tage in der Schwarzwasserbehandlungsanlage mit Nährstoffabbau. Für diejenigen Varianten, in denen die abfalltechnischen Anlagen nur stabilisierten Schlamm aufnehmen können, wird eine aerobe Schlammstabilisierung sowohl in der Grau- als auch in der Schwarzwasserbehandlung vorgesehen und dimensioniert. Das Schlammalter beträgt in diesem Fall 25 Tage. Ausgenommen ist das Biofilterverfahren, da das Schlammalter hier keine Rolle spielt. Aus den Biofilterreaktoren sind nur unstabilisierte Schlämme zu erwarten. Hierdurch sind die Kombinationsmöglichkeiten der verschiedenen Techniken der Abfallbehandlung eingeschränkt.

Auf Basis der ermittelten Reaktorvolumen werden die Investitions- und Betriebskosten der Behandlungsanlagen ermittelt. Spezifische Investitionskosten sowie Betriebskosten der Grauwasserbehandlungsanlagen liegen auf Basis verschiedener wissenschaftlicher Untersuchungen von deutschen kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen vor, wie z.B. die Untersuchung von Biofiltern in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen [Barjenbruch, M. 1997] und wirtschaftliche Untersuchungen kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen [Günthert et al. 2002]. Da einerseits im Grauwasser nur ca. 9% der gesamten Schmutzfrachten vorhanden sind, andererseits spezifische Investitionskosten von den jeweiligen Anschlussgrößen abhängig sind, werden spezifische Investitionskosten und Betriebskosten der Anlagen über umgerechnete Einwohnerwerte (ausgegangen wird von der deutschen einwohnerspezifischen BSB5-Fracht von  $60 \text{ g}/(\text{E}\cdot\text{d})$ ) ermittelt. Die Detailergebnisse aus der Kostenermittlung sind den Anhängen A - 5 und A - 6 zu entnehmen.

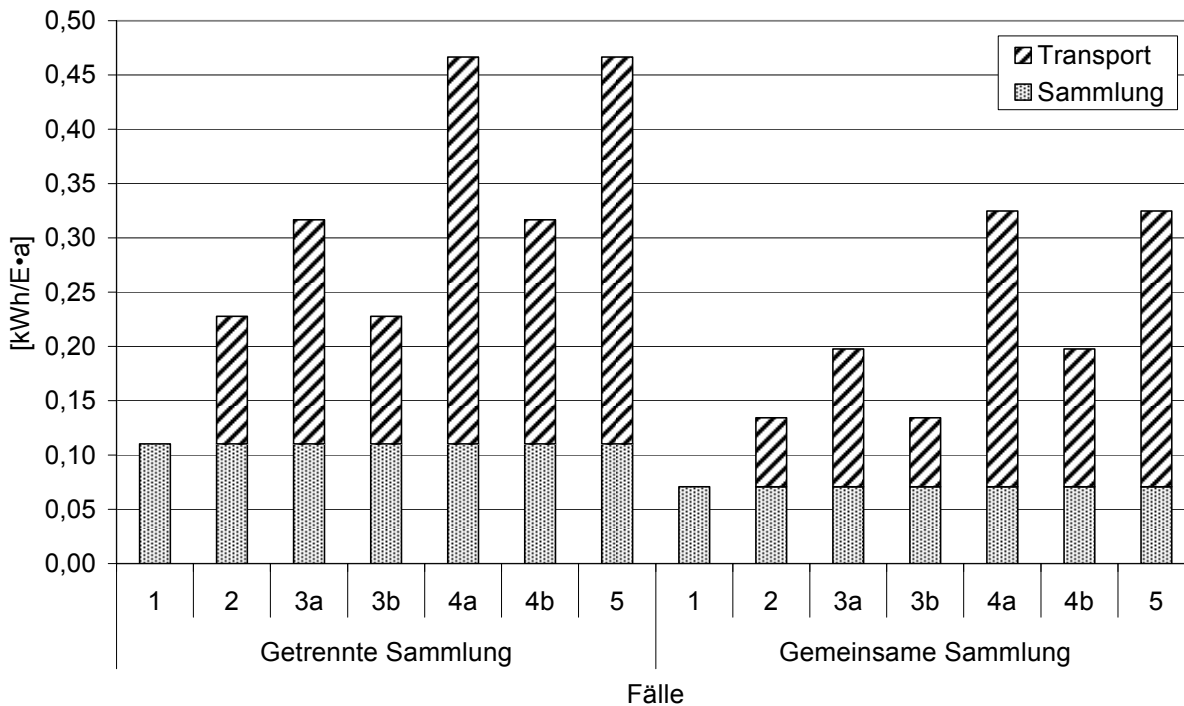
Die Grau- und Schwarzwasserbehandlungsanlagen befinden sich mit den Abfallbehandlungsanlagen auf dem gleichen Gelände und teilen sich die Hauptverkehrsflächen, die Laboreinrichtungen sowie das entsprechende Betriebspersonal. Bei der Ermittlung des Platzbedarfs der abwassertechnischen Anlagen werden die benötigten Flächen realmaßstäblich in den betrachteten Fällen und technischen Varianten gezeichnet und vermessen. Bezüglich gemeinsamer Behandlungs-, Betriebs- und Überwachungsarbeiten von Klärschlamm- und Abfallbehandlungsanlagen werden ein gemeinsames Betriebsgebäude sowie ein gemeinsamer Eingangsbereich geschaffen. Einige Beispielzeichnungen zur Ermittlung des Flächenbedarfs sind dem Anhang A - 7 zu entnehmen.

## **10.5 Abfallsammlung und -transport**

Bei der Modellierung der Abfallsammlung wird davon ausgegangen, dass auf Basis der zu Grunde liegenden Verkehrsinfrastruktur eine direkte Sammlung mit Pressmüllfahrzeugen möglich ist. Durch die semizentrale Anordnung der Behandlungsanlagen sind Umladestationen auf Grund der kurzen Anfahrtswege zur Abfallbehandlungsanlage nicht erforderlich. Daher wird auf die Einrichtung von Umladestationen auf Stadtviertelebene verzichtet.

Die Abfallsammlung erfolgt im täglichen Abfuhrhythmus. Die erforderliche Sammelsecke ergibt sich aus der Struktur der Suprazelle. Ausgangspunkt der Sammlung ist ein definierter Randpunkt der Suprazelle, ab dem der eigentliche Transportvorgang beginnt. Der Sammelvorgang ist dadurch charakterisiert, dass das Sammelfahrzeug mit sehr niedrigen Durchschnittsgeschwindigkeiten bewegt wird. Trotzdem wird der Motor des Sammelfahrzeugs kontinuierlich während der Sammelzeiten betrieben, zum einen, um die kurzen Strecken zwischen den Sammelpunkten zurückzulegen, zum anderen um die technischen Anlagen des Fahrzeugs, wie die Entleerungsvorrichtung und die Verpressvorrichtung zu betreiben. Der Betriebszustand des Sammelfahrzeuges ist daher eher mit dem Betrieb einer stationären Maschine als dem eines Fahrzeugs vergleichbar. Maßgeblich für den Energieverbrauch sind daher die Sammelzeit und der spezifische Leerlaufverbrauch des Sammelfahrzeuges. Die Sammelzeit wird durch die Aufstellungsdichte der Sammelbehälter im Wohngebiet sowie den durchschnittlichen Behälterabstand bestimmt.

Beim eigentlichen Transportvorgang sind dagegen die Fahrtstrecke und die gefahrene Geschwindigkeit für den Energieverbrauch maßgeblich. Die Fahrtstrecken ergeben sich aus der Anordnung der Suprazellen zum Modellgebiet. In Abbildung 13 ist der Energieaufwand bei Sammlung und Transport für die einzelnen Fälle angegeben. Unterschieden wird dabei nach getrennter und gemeinsamer Sammlung der Bio- und Restabfälle.



**Abbildung 13: Spezifischer Energieverbrauch bei Sammlung und Transport [eigene Darstellung]**

Aus Abbildung 13 ist zu erkennen, dass der Aufwand bei der Sammlung unabhängig von der Größe des Modellgebietes ist, da er nur von der Einwohnerdichte beeinflusst wird. Dagegen ist der Transport zur Behandlungsanlage stark abhängig von der Größe und Form des Modellgebietes. In den kompakten Anordnungen (Fälle 3b, 4b) (vgl. Abbildung 5) ist der Energieverbrauch aus der Sammlung deutlich niedriger als in den linearen Anordnungen (3a, 4a) (vgl. Abbildung 5).

Bilanziert für den Bereich der Sammlung und des Transportes wurden auch die Kohlendioxidemissionen. Diese hängen direkt vom Energieverbrauch während der Sammlung ab und werden aus diesem ermittelt.

Die Kosten ergeben sich aus den Anschaffungs- und Betriebskosten für die Sammelfahrzeuge, für die deutsche Marktpreise und Richtsätze zu Grunde gelegt sind. Personalaufwand und Anzahl der Sammelfahrzeuge ergeben sich aus dem Sammelzeiten und dem Abfuhrhythmus.

Der Energieverbrauch kann durch Energiepreise für Diesel monetarisiert werden.

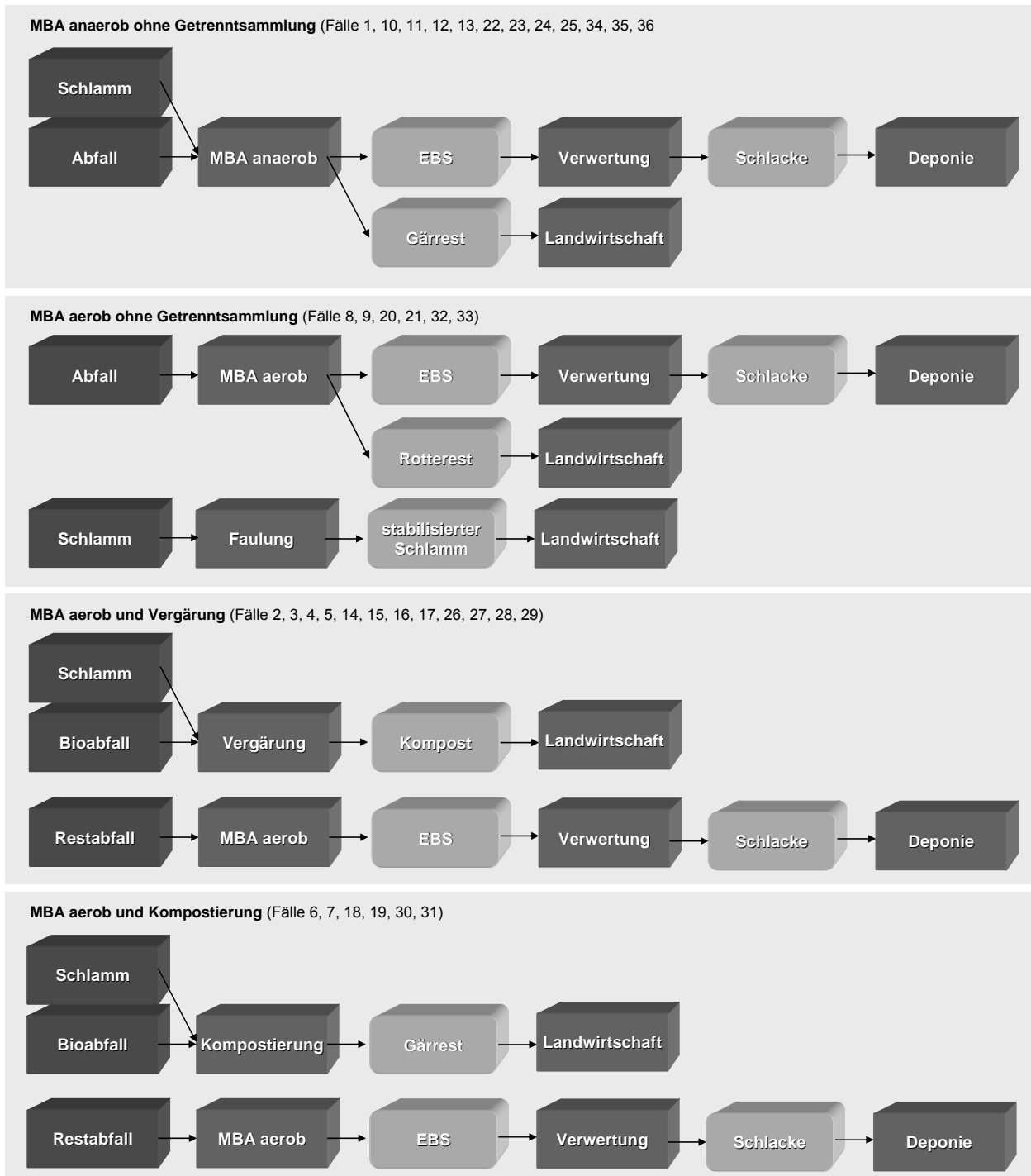


## **10.6 Abfall- und Klärschlammbehandlung**

Der erste Schritt in der Modellierung der Abfall- und Klärschlammbehandlung ist die Erstellung der Massenbilanz der betrachteten Verfahren. Diese ist abhängig von den gewählten Inputmaterialien. Basierend auf den Angaben aus der in China durchgeführten Erhebung sowie Literaturwerten für die stoffliche Charakterisierung kann eine Massenbilanz aufgestellt werden.

Mittels der durchgehenden Betrachtung der Elementargehalte (Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff) der Abfälle in den Verfahren können die Prozessemissionen sowie resultierende stoffliche Eigenschaften des Outputs modelliert werden. Für den Bereich der biologischen Abfallbehandlung sind in der Modellierung, basierend auf den Grundlagen der Variantendefinition, Abbaugrade vorgegeben, mit denen das Verfahren dimensioniert wird. Zu Grunde liegen hierfür Vergleichswerte von existierenden Anlagen in Deutschland. Bei der thermischen Behandlung der heizwertreichen Fraktionen wird von einer vollständigen Verbrennung der organischen Substanz ausgegangen (vgl. Anhang A - 8)

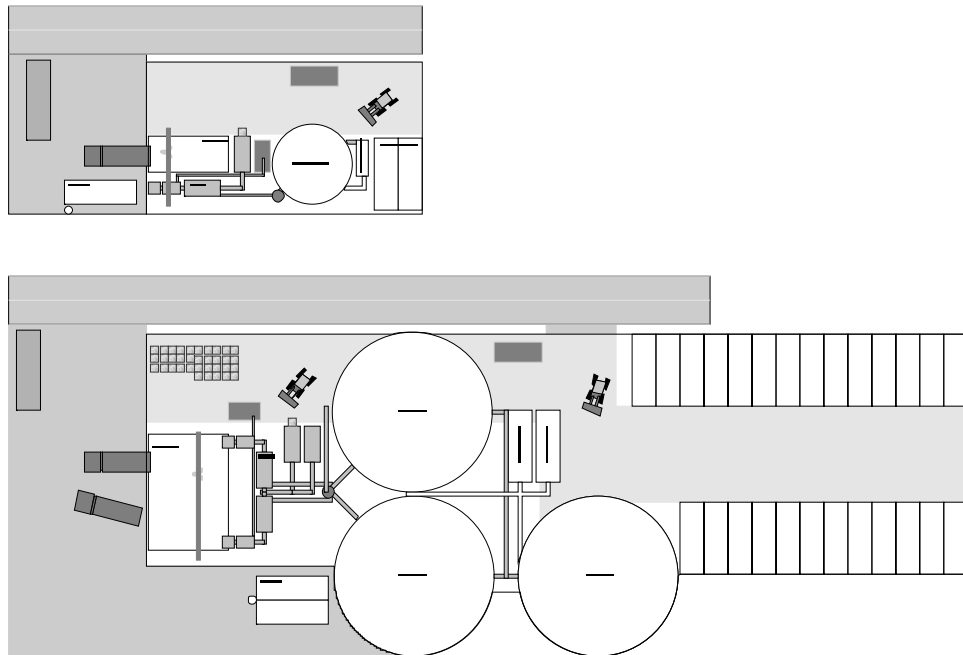
Die nachfolgende Abbildung 14 zeigt die verschiedenen technischen Einzelmodule in der Abfallbehandlung auf.



**Abbildung 14: Technische Einzelmodule in der Abfallbehandlung [eigene Darstellung]**

Basierend auf der erstellten Massenbilanz wurden Aggregate und Reaktorgrößen dimensioniert und daraus der Flächenbedarf für die Anlagen abgeleitet. Beispielhaft sind in der folgenden Abbildung 15 skizzenhafte Lagepläne von zwei Anlagen gegeben. Dargestellt sind die Anlagen für eine anaerobe MBA ohne Getrenntsammlung für 13.000 und 206.000 Einwohner. Erkennbar ist hierbei der unverhältnismäßig große Anteil der Verkehrsflächen an der Gesamtfläche, der sich aus den Randbedin-

gungen und Zwängen der eingesetzten Fahrzeuge ergibt (vgl. hierzu auch Anhang A - 9).



**Abbildung 15: Vereinfachtes Anlagenlayout MBA anaerob 13.000 E (oben) und 206.000 E (unten)**

Aus den biologischen Behandlungsverfahren resultieren Abwasserströme, die an das Modul Schwarzwasserbehandlung zur Reinigung abgegeben werden.

## **11 Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Modulkombinationen (Arbeitspaket 6)**

Alle sinnvollen Modulkombinationen werden hinsichtlich ihrer Eignung als angepasstes, flexibles, integriertes, nachhaltiges semizentrales Ver- und Entsorgungssystem für urbane Räume Chinas im Rahmen einer so genannten Nachhaltigkeitsbewertung bewertet. Die entsprechende Vorgehensweise beschreibt der erste Abschnitt dieses Kapitels. Mit der vergleichenden Bewertung werden zwei Ziele verfolgt: Zum einen soll eine Empfehlung hinsichtlich der geeigneten räumlichen Bezugsgröße (Bevölkerung und Fläche) für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme ausgesprochen werden (zweiter Abschnitt, erster Teil). Zum anderen sollen Empfehlungen hinsichtlich der am besten geeigneten Modulkombination gegeben werden (zweiter Abschnitt, zweiter Teil). Im dritten Abschnitt dieses Kapitels werden detaillierte Begründungen hinsichtlich der Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung abgegeben.

## **11.1 Vorgehensweise**

Die vergleichende Bewertung der semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas wird mit Hilfe einer Nachhaltigkeitsbewertung durchgeführt. Dabei werden – entsprechend den drei Säulen der Nachhaltigkeit – ökologische, ökonomische und soziokulturelle Aspekte berücksichtigt. Der Nachhaltigkeitsbewertung liegt im Rahmen der ökologischen und soziokulturellen vergleichenden Bewertung eine Nutzwertanalyse und im Rahmen der ökonomischen Bewertung eine Kostenvergleichsrechnung zu Grunde.

Im Rahmen der Nutzwertanalyse der ökologischen und soziokulturellen Bewertung ist es möglich, die besondere Bedeutung einzelner Kriterien in die Bewertung einfließen lassen zu können. Jedem Kriterium wird ein Gewichtungsfaktor zugeordnet, der mit steigender Bedeutung an Größe gewinnt. Hervorzuheben sind dabei im Bereich der ökologischen Bewertung die Kriterien Störfallwahrscheinlichkeit und -reversibilität sowie der Flächenverbrauch und die Energiebilanz. Im Rahmen der soziokulturellen Bewertung liegt der Schwerpunkt der Gewichtung bei den Kriterien der Versorgungssicherheit. Eine detaillierte Aufstellung der Gewichtung der einzelnen Kriterien, deren Begründung und methodisches Vorgehen im Rahmen der Nutzwertanalyse ist dem Anhang A - 10 zu entnehmen.

Sowohl in der ökologischen als auch in der soziokulturellen Bewertung erfolgt die Bewertung zunächst für alle drei technischen Disziplinen (Wasser, Abwasser, Abfall) getrennt. Um Aussagen über die technisch integrierten Systeme treffen zu können, werden die Bewertungen anschließend summiert und eine systembezogene Skala mit fünf Stufen von „sehr gut“ bis „mangelhaft“ zur Klassifizierung der Ergebnisse entwickelt.

Damit die Nachhaltigkeitsbewertung abgeschlossen werden kann, werden die Einzelergebnisse (die jede Variante in der ökologischen, soziokulturellen und ökonomischen Einzelbewertung erlangt hat) zusammengeführt. Um die ökonomische Bewertung in die Nachhaltigkeitsbewertung einfließen zu lassen, wird auch diesbezüglich eine entsprechende fünfstufige Skala für die Gesamtkosten entwickelt. Die Zusammenführung der Teilergebnisse erfolgt im Sinne des Nachhaltigkeitsverständnisses des vorliegenden Forschungsvorhabens in Form einer Mittelwertbildung, d.h. jedes Teilergebnis (für die ökologische, die ökonomische und die soziokulturelle Bewertung) geht zu gleichen Teilen in das Endergebnis ein.

## **11.2 Ergebnisse der ökonomischen Bewertung**

Bei der ökonomischen Gesamtrechnung ergibt sich bei jeder Variante ein Betrag pro Einwohner, der alle Kosten mit einbezieht. In Abbildung 16 sind diese Gesamtkosten für die jeweilige Technik (Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallentsorgung) in € pro Einwohner und Tag wiedergegeben.

Die ökonomische Gesamtrechnung berücksichtigt Investitions-, Reinvestitions- sowie Betriebskosten (vgl. Kapitel 7.2 Vorgehensweise ökonomische Bewertung).

**Bei den Kosten der Wasserversorgung sind zwei Leitungsnetze (Trink- und Brauchwasser) sowie zwei Pumpwerke (Trink- und Brauchwasser) zur Wasserverteilung berücksichtigt. Das heißt, hier sind die Kosten für die Trinkwasseraufbereitung und -verteilung sowie die der Brauchwasserverteilung inbegriffen (Kosten Wasserversorgung für die Techniken in €(E•d) vgl. Anhang**

A - 11).

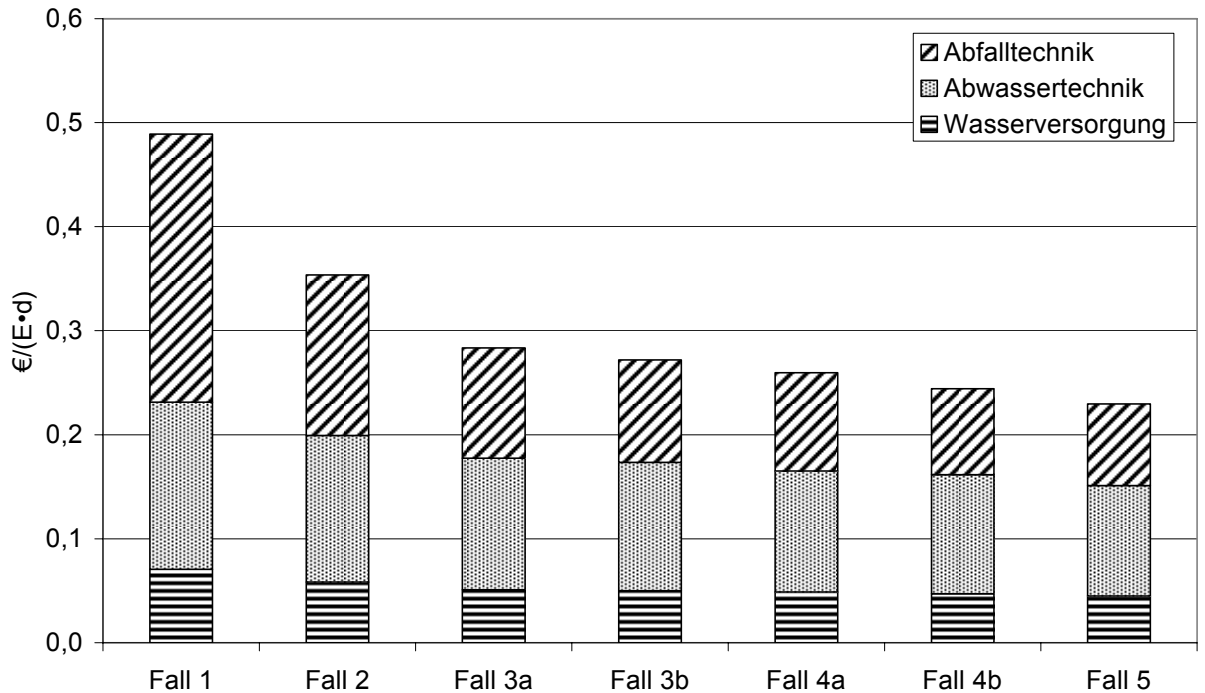
Bei der Kostenermittlung des Abwasserentsorgungssystems sind Investitions-, Reinvestitions- und Betriebskosten berücksichtigt. Als Abwasserentsorgungssystem sind sowohl entsprechende Kanalisationen für Grau- und Schwarzwasser als auch die Behandlungsanlagen zusammengefasst. Die Ansätze der Kostenermittlung basieren auf unterschiedlichen wissenschaftlichen Untersuchungen (vgl. Kapitel 10.3, Kapitel 10.4). Erlösseitig wird das Brauchwasser in die Gesamtrechnung nicht aufgenommen.

Sammlung und Transport der festen Siedlungsabfälle ziehen sowohl Investitions- als auch Betriebskosten nach sich. Investitionsseitig relevant sind insbesondere die Sammelfahrzeuge. Diese erfordern auf Grund ihrer relativ kurzen wirtschaftlich und technisch sinnvollen Nutzungszeiten regelmäßige Neuanschaffungen, die sich in den Reinvestitionskosten niederschlagen. Laufende Kosten entstehen durch den Kraft- und Betriebsstoffverbrauch, die Wartung der Sammelfahrzeuge sowie durch die Personalkosten.

Bei der Kostenermittlung der Anlagen zur Abfallbehandlung sind die Investitionskosten für bauliche und stationäre technische Anlagen sowie für die im Anlagenbetrieb erforderlichen Fahrzeuge berücksichtigt. Als Betriebskosten fallen Kraft- und Betriebsstoffverbrauch, die Wartung der Betriebsfahrzeuge sowie Personalkosten an. Erlösseitig kann die vermarktete Energie in die Gesamtrechnung<sup>4</sup> aufgenommen werden.

---

<sup>4</sup> Die Gesamtrechnung berücksichtigt die Stoffströme, die die Systemgrenze passieren, d.h. einerseits in das System eingetragen werden (Rohwasser) und andererseits das System wieder verlassen (müssen), wie gereinigtes Abwasser, produzierte thermische und elektrische Energie sowie Produkte aus der Abfallbehandlung. Aufbereitetes Grauwasser geht nicht in die Bilanz ein, da dieses innerhalb der Systemgrenzen zur Wiederverwendung verbleibt und erst in Form von gereinigtem Abwasser das System wieder verlässt.



**Abbildung 16: Jahreskosten [€/E·d] der Ver- und Entsorgung im Vergleich der Fälle [eigene Darstellung]**

Als Gesamtergebnis der ökonomischen Bewertung lässt sich feststellen, dass die kostengünstigsten Varianten (alle drei Techniken) bei den Fällen 5 und 4b liegen (Anhang A - 12 (25)). Anhang A - 12 zeigt die zwölf kostengünstigsten Varianten, die Fälle, die Kosten pro Einwohner und Tag sowie pro Einwohner und Jahr und die einzelnen Techniken, aus denen sich die semizentralen Versorgungssysteme zusammensetzen.

Anhang

A - 13 zeigt analog zu Anhang A - 12 die 12 teuersten Varianten. Sie gehören ausschließlich zu Fall 1. Auch die Technikkombinationen sind andere als bei den kostengünstigsten Varianten.

Untersucht wurde weiterhin exemplarisch für die technische Variante 6 inwieweit eine weitergehende Nutzung von Synergieeffekten beim Einsatz des Personals relevant für die Gesamtkosten ist. Variante 6 wurde exemplarisch ausgewählt, da in dieser Variante ein besonders hoher Einfluss der Personalkosten auf das Gesamtergebnis zu erwarten ist. Ausgegangen wurde von einer Reduktion von 25 % der Personalkosten in den Bereichen, in denen Synergien nutzbar sind; dies sind z.B. Werkstätten, Labore sowie Leit- und Steuerungstechnik. Die sich daraus ergebenden Reduktionen in der Gesamtkostenrechnung sind jedoch vergleichsweise gering; sie variieren je nach Fall zwischen 2,0 und 3,5 Prozent und haben daher keinen signifikanten Einfluss auf das Gesamtergebnis, insbesondere da sich keine deutliche Abhängigkeit der Reduktion von der Größenkategorie der Systeme zeigt. Die zugrunde liegenden Daten können Anhang



A - 14 entnommen werden.

### 11.3 Bewertungsergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung

#### 11.3.1 Empfehlungen hinsichtlich der untersuchten Fälle (Größen) semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme

Die Nachhaltigkeitsbewertung lässt Aussagen hinsichtlich der zu bevorzugenden Bezugsgröße (Bevölkerungsanzahl und Fläche orientiert an den Suprazellen) zu. Dazu verwendet die Prüfmethode ein Schulnotensystem, das die Bewertung der einzelnen Varianten und Fälle in die Kategorien „1 = sehr gut“ bis „5 = mangelhaft“ ermöglicht.

Abbildung 17 veranschaulicht, dass die kleinste betrachtete Entwicklungseinheit (Fall 1: eine Suprazelle) von 13.000 Einwohnern weniger gut geeignet ist, als die anderen betrachteten Fälle. Die nächst größere untersuchte Einheit von 26.000 Einwohnern (Fall 2: zwei Suprazellen) ist bereits besser einzustufen. Ab einer Größe von 52.000 Einwohnern (Fälle 3a und 3b: vier Suprazellen) ist der spezifische Nutzen einer Vergrößerung der Entwicklungseinheit im Vergleich zur nächst größeren Einheit von 104.000 Einwohnern (Fälle 4a und 4b: acht Suprazellen) nur noch marginal.

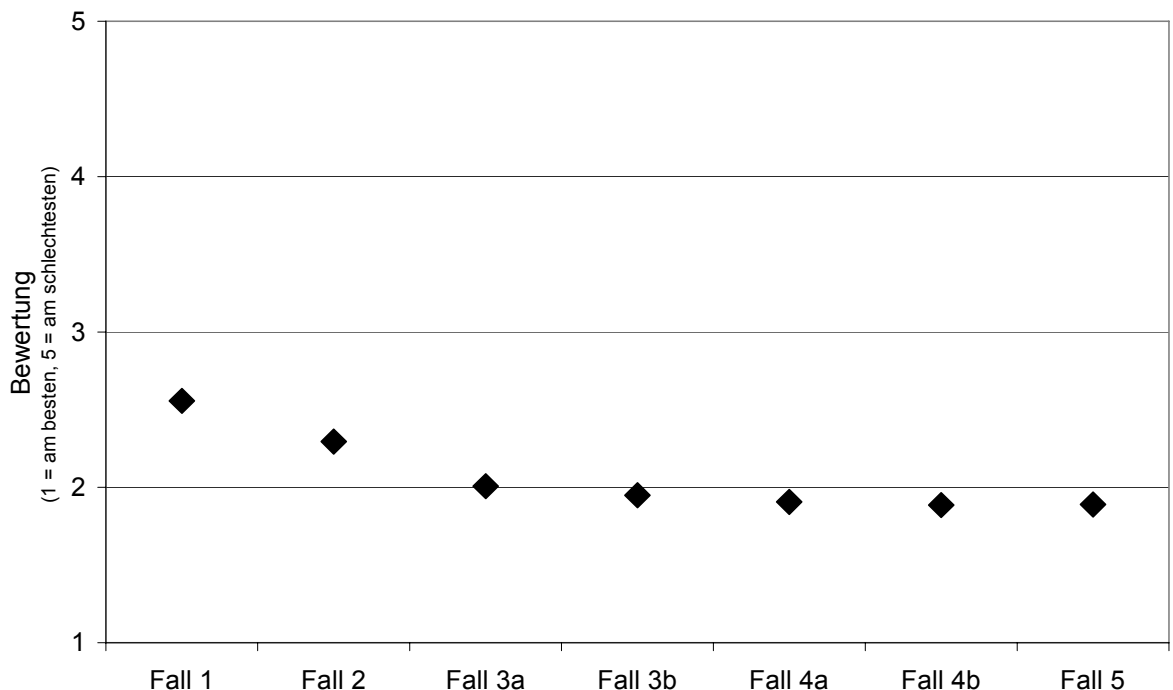


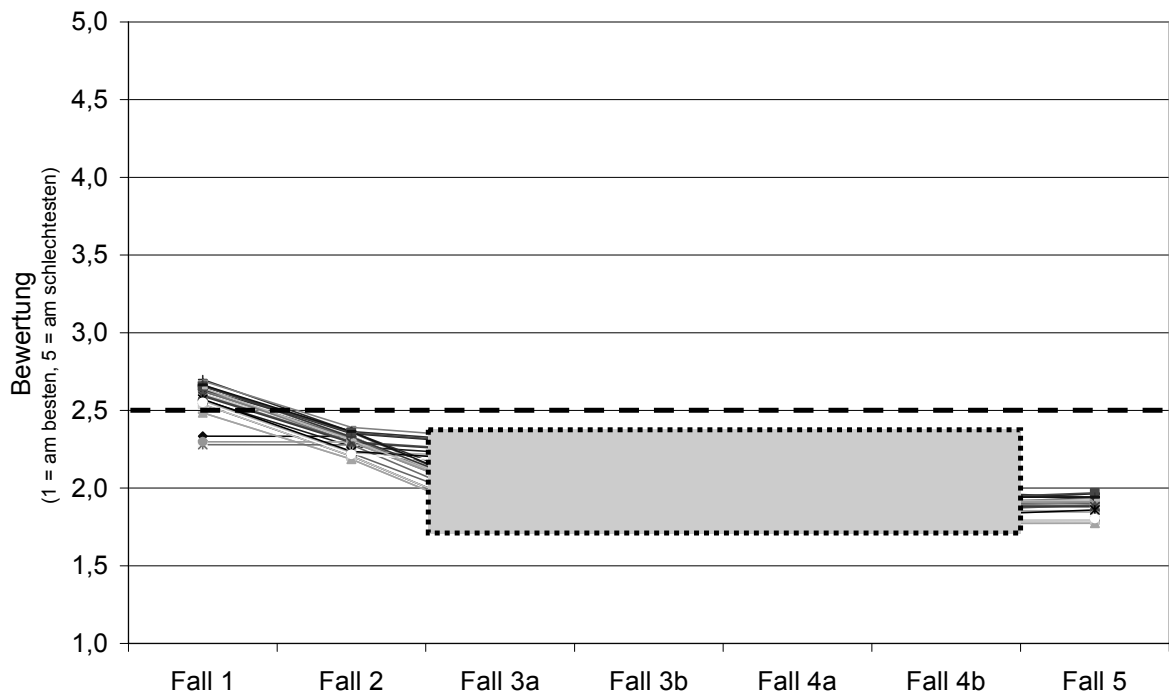
Abbildung 17: Durchschnittliche Nachhaltigkeit der Varianten hinsichtlich der verschiedenen Fälle [eigene Darstellung]

Unter der Prämisse, dass ein technisch integriertes System auch organisatorisch integriert umgesetzt und betrieben werden soll, erscheint eine wesentliche Vergrößerung der Entwicklungseinheiten nicht sinnvoll. Grundsätzlich modelliert das vorliegende Forschungsprojekt jedoch bis zu einer Größe von 208.000 Einwohnern (Fall 5: 16 Suprazellen). Die grundsätzliche Empfehlung für die räumliche Größe der Entwicklungseinheit (Einwohner und Fläche) liegt jedoch, basierend auf den bisherigen Ergebnissen und Zielsetzungen, im Bereich zwischen 52.000 und 104.000 Einwohnern (d.h. zwischen vier und acht Suprazellen). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass raumrelevante Faktoren wie z.B. Topographie oder lokale klimatische Verhältnisse in dieser Betrachtung noch nicht berücksichtigt sind. Durch die Integration derselben im Rahmen einer erweiterten Nachhaltigkeitsbewertung im Verlauf des Teilprojekts 2 können sich ggf. noch Verschiebungen ergeben.

Im Rahmen der vergleichenden Bewertung wurden auch unterschiedliche Zuschnitte von potenziellen Entwicklungsgebieten berücksichtigt (resultierend aus einer entsprechenden Anordnung der Suprazellen). So wurden sowohl kompakte als auch bandförmige Entwicklungsgebiete betrachtet (vgl. Abbildung 5). Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass kompakte Entwicklungsgebiete Vorteile gegenüber bandförmigen bezüglich eines semizentralen Ver- und Entsorgungssystems aufweisen. Absolut betrachtet sind die Unterschiede zwischen den beiden Strukturformen jedoch so schwach ausgeprägt, dass ausschließlich die raumplanerischen bzw. stadtplanerischen sowie die entwicklungstechnischen Notwendigkeiten bei der Entscheidung bzgl. der Form von Entwicklungsgebieten eine vorrangige Stellung einnehmen sollen.

### **11.3.2 Empfehlungen hinsichtlich der Auswahl technischer Modulkombinationen (Varianten) für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme**

Die Nachhaltigkeitsbewertung bestätigt die sinnvolle Vorauswahl der technischen Einzelmodule sowie deren sinnvolle Kombination. Alle 36 betrachteten Varianten sind in den empfohlenen räumlichen Größen (Fälle 3 und 4) mindestens mit „gut“ bewertet worden (vgl. Markierung). Die folgende Abbildung 18 zeigt die detaillierten Ergebnisse im Überblick.



**Abbildung 18: Vergleich der Nachhaltigkeitsbewertung zwischen den 36 semizentralen Varianten [eigene Darstellung]**

Abbildung 18 zeigt, wie nah die einzelnen Varianten in der Gesamtbewertung beieinander liegen. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten sind nicht festzustellen. Die scheinbaren Unterschiede in der Bewertung liegen deutlich unterhalb der in derartigen Bewertungsverfahren üblichen Grenzen. [Rohde, C. et al. 2005] Somit erscheint eine abschließende Empfehlung technischer Modulkombinationen (Varianten) für die angepasste, flexible, integrierte, nachhaltige semizentrale Ver- und Entsorgung nicht sinnvoll, ebenso wenig wie ein abschließendes Ranking bezüglich der Modulkombinationen. Vielmehr sind mit diesem Ergebnis alle betrachteten Modulkombinationen grundsätzlich für eine semizentrale Ver- und Entsorgung in schnell wachsenden urbanen Räumen Chinas zu empfehlen. Die tatsächliche Empfehlung einer Variante für einen konkreten Anwendungsfall kann daher nur auf der Basis raumrelevanter Kriterien erfolgen.

Um die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung hinsichtlich ihrer Stabilität zu überprüfen, wird eine **Sensitivitätsprüfung** durchgeführt. Diese erfolgte zunächst in Form einer veränderten Gewichtung bei der Zusammenführung der Teilergebnisse. Das oben angeführte Ergebnis wird bestätigt. Des Weiteren werden die Kriterien aus der Bewertung herausgenommen, die sich durch die einzelnen Varianten bzw. durch die verschiedenen Fälle nicht verändern. Auch diese Sensitivitätsprüfung bestätigt das o.g. Ergebnis.

Die wesentlichen Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die 36 untersuchten Modulkombinationen weisen nur marginale Unterschiede hinsichtlich ihrer Eignung für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme auf. Alle Modulkombinationen sind auf der Basis einer Nachhaltigkeitsbewertung als gut bis sehr gut zu bezeichnen.
- Alle untersuchten 36 Varianten können grundsätzlich für den Einsatz in „urbanen Räumen Chinas“ empfohlen werden.
- Zur Auswahl der bestmöglichen Variante für einen konkreten Standort müssen raumrelevante Kriterien herangezogen und im Rahmen einer zweiten Stufe der Nachhaltigkeitsbewertung bewertet werden. Dies wird im Rahmen des zweiten Teilprojektes in enger Zusammenarbeit mit den chinesischen Partnern vor Ort erfolgen.

**Die detaillierten Ergebnisse können den Anhängen**

A - 15 bis A - 19 entnommen werden.

## **11.4 Erläuterung der Bewertung**

### **11.4.1 Wasserversorgung**

#### **Ökologische Bewertung**

##### **Lärmemissionen**

Die wesentlichen Lärmemissionen bei der Wasserversorgung rühren von den Pumpen des Pumpwerks her; sie sind jedoch eingekapselt, d.h. innerhalb des Pumpwerkgebäudes, so dass die Bewohner vom Lärm nicht weiter beeinträchtigt werden. Ansonsten sind die Druckpumpen bei der Membranfiltration und die Rohwasserpumpen zu nennen; hier ist aber in der Regel von einer geringen Lärmemission auszugehen. Bei einer größeren Anlage können die Pumpen, aufgrund leistungsstärkerer Beschaffenheit geringfügig lauter sein.

##### **Geruchsemissionen**

Es entstehen bei der Ultra- und Nanofiltration in der Regel keine Geruchsemissionen. Auch bei einer Sicherheitsdesinfektion mit Chlordioxid sollten diese extrem gering sein. Allerdings muss eine Vorsorge im Falle einer Betriebsstörung mit Freisetzung von Chlor getroffen werden.

##### **Risiko durch eingesetzte/verwendete Stoffe**

Bei der Ultra- und Nanofiltration werden in der Regel keine Zusatzstoffe verwendet. Derzeit ist allerdings die Reinigung der Membranen mit Chemikalien in Abhängigkeit vom Verblockungsgrad in unregelmäßigem Zeitabstand erforderlich. Kann sich ein Reinigungsverfahren ohne Chemikalien (z.B. Ultraschallabreinigung) etablieren, so wäre hier die Möglichkeit gegeben ohne Chemikalien zu arbeiten und damit die dadurch entstehenden Belastungen zu unterbinden.

##### **Störfallwahrscheinlichkeit**

Der Unterschied bei der Ultra- und Nanofiltration begründet sich hier auf Membranverstopfungen durch Fouling. Da bei der Nanofiltration durch den Rückhalt von Carbonaten und Sulfaten auch zusätzlich Scaling auftreten kann, wurde sie hier als verblockungsanfälliger eingestuft.

Pumpenausfälle würden hier sicherlich alle Techniken im gleichen Maße betreffen (Verteilnetz).

### **Reversibilität und Intensität des Störfalles**

Für die Bevölkerung entsteht kein Schaden, wenn davon ausgegangen wird, dass der Störfall nur solange andauert, wie im Speicher Sicherheitsreserven bevorratet sind. Bei einem länger andauernden Störfall wäre es allerdings extrem problematisch, da die Bevölkerung dann kein Trinkwasser erhielte und über Tankwagen etc. versorgt werden müsste.

Würde ein Störfall in der Form auftreten, dass die Membranen irreversibel geschädigt würden, so wäre dieser Störfall ein großer Schaden für die Membrananlage. Unter Umständen müssten die Membranen ausgetauscht werden (teuer und kann unter Umständen dauern).

### **Wasserbelastung**

Da es sich um ein integriertes Ver- und Entsorgungssystem handelt, werden die Wasserwerksschlämme zur Abwasserbehandlungsanlage (Schwarzwasser) geleitet und dort behandelt. Sonstige Abfälle (z.B. große Rückstände aus dem Rohwasser, wie Treibholz und Laub) werden im Rahmen der Abfallbehandlung berücksichtigt. Ansonsten entstehen keine Belastungen aus der Wasseraufbereitung. Es wird allerdings Energie verbraucht (s. Punkt Energiebilanz).

### **Beeinträchtigung von Natur und Landschaft**

Membrananlagen zur Aufbereitung von Rohwasser sind klein und mobil, d.h. hier sind nur sehr geringe bauliche Maßnahmen notwendig. Dadurch wird Natur und Landschaft nur sehr gering beeinträchtigt.

### **Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle**

Bei der Wasseraufbereitung entstehen Wasserwerksschlämme. Sie bestehen aus aufkonzentrierten Inhaltsstoffen der Rohwässer, das können je nach Rohwasserqualität auch Schwermetalle und geringe Mengen Kohlenwasserstoffe sowie geringe Mengen an Reinigungschemikalien sein. Das bei der Membranfiltration anfallende Konzentrat wird der Abwasserbehandlungsanlage zugeleitet und behandelt.

## **Flächenverbrauch**

Hier werden spezifische Werte angegeben, die Einheit ist m<sup>2</sup> pro Einwohner.

Der Flächenbedarf errechnet sich aus dem Platzbedarf für Pumpwerk und Speicher, sowie dem Platzbedarf für die Aufbereitungsanlagen. Auch wenn der Speicher unterirdisch angelegt wird, darf er nicht überbaut werden (Vorschrift); daher ist auch dieser Platzbedarf vollständig zu berücksichtigen.

**Die Unterschiede bei den untersuchten Membranverfahren (Cross-Flow-Ultrafiltration, Dead-End-Ultrafiltration, Nanofiltration) ergeben sich durch die unterschiedlich zu veranschlagenden Filterflächen bei den jeweiligen Verfahren, um jeweils die gleichen Mengen an Permeat zu erhalten. Die entsprechenden Werte wurden von einem Membranhersteller, der jeweils die Daten der unterschiedlichen Verfahren zur Verfügung gestellt hat, übernommen. Genauere Zahlenwerte sind rohwasserabhängig und nur erhältlich, wenn entsprechende Anlagen vor Ort längere Zeit betrieben werden (vgl. Anhang**



A - 20)

### **Wasserverbrauch**

Der Wasserverbrauch wird als spezifischer Wert in der Einheit  $\text{m}^3/(\text{E}\cdot\text{d})$  angegeben. Dieser bezieht sich auf die benötigte Rohwassermenge, die bei den verschiedenen Aufbereitungstechniken unterschiedlich ist, um die gleiche Menge an Reinwasser zu erzielen. Das liegt an den unterschiedlich anfallenden Wasserwerksschlämmen, bzw. dem Konzentratanfall aus den Membranverfahren.

Im Vergleich der Fälle unterscheiden sich die erforderlichen Rohwassermengen pro Einwohner nicht, sie differieren nur nach den Techniken Ultrafiltration, Nanofiltration und konventionelle Wasseraufbereitung.

Die Unterschiede im Wasserverbrauch der Membranverfahren sind bedingt durch unterschiedliche Rohwasserausbeuten. Während bei der Ultrafiltration eine sehr gute Rohwasserausbeute von 98 % angenommen wird (Literaturwerte, basierend auf Werten von tatsächlichen Anlagen), kann bei der Nanofiltration eine Rohwasserausbeute von nur 85 % angesetzt werden. Je nach Rohwasserqualität können aber gerade bei der Ultrafiltration die Ausbeuten auch schlechter ausfallen:

Ultrafiltration:  $0,0918 \text{ m}^3/(\text{E}\cdot\text{d})$

Nanofiltration:  $0,1035 \text{ m}^3/(\text{E}\cdot\text{d})$

konventionelles Verfahren:  $0,1283 \text{ m}^3/(\text{E}\cdot\text{d})$

Diese Werte geben den jeweiligen spezifischen Rohwasserbedarf pro Einwohner bei den unterschiedlichen Aufbereitungsverfahren an (vgl. Anhang

A - 21).

### **Energiebilanz**

Bezüglich der Energiebilanz werden absolute Zahlen angegeben. Bei der Trinkwasseraufbereitung und -verteilung wird Energie verbraucht und nicht erzeugt; daher handelt es sich bei den angegebenen Werten um den *Energiebedarf*. Die Angabe erfolgt in kWh/(E•d). Der insgesamt erforderliche Energiebedarf zur Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser hängt zum großen Teil auch vom Verteilnetz (den Verteilnetzen) ab.

Der Energiebedarf ist bei der Ultrafiltration im Dead-End-Verfahren am niedrigsten, bei der Ultrafiltration im Cross-Flow-Verfahren etwas höher und bei der Nanofiltration noch höher. Das ist bedingt durch die bei der Nanofiltration erforderlichen höheren Drücke. Das Cross-Flow-Verfahren benötigt gegenüber dem Dead-End-Verfahren mehr Energie, da hier mehr Wasser umgepumpt werden muss und es nicht bei einem Filtrationsvorgang sofort durch die Membran gedrückt wird.

**Zwischen den Fällen 2, 3 und 4 (jeweils a und b) und 5 sind nur marginale Unterschiede festzustellen, während im Fall 1 der Pro-Kopf-Energiebedarf geringfügig höher liegt (vgl. Anhang**

A - 21,

A - 22).

## **Soziokulturelle Bewertung**

### **Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung**

Die Nutzerfreundlichkeit des Wasserversorgungssystems für den Verbraucher ist nicht abhängig von der Aufbereitungstechnik. Probleme mit einer Verwechslung der in den Häusern installierten Leitungen mit verschiedenen Wasserqualitäten können sich nicht ergeben, da jeweils nur ein Wasserhahn für Trinkwasser zur Verfügung steht. In die Grauwasserleitung zur Spülung der Toiletten sind keine Wasserhähne installiert, so dass eine Entnahme nicht möglich ist. Bei der Verwendung von gereinigtem Grauwasser zur Bewässerung im Garten entsteht insofern ein Problem, als dass eventuell Wasser auch zum Trinken entnommen werden könnte.

### **Transparenz des Systems**

Diese Bewertung ist nur abhängig von der gewählten Alternative (zwei Leitungssysteme, Grauwassernutzung), nicht von der Aufbereitungstechnik zur Trinkwassergewinnung. Das System ist aufgrund seiner Einfachheit gut verständlich. Da jeweils nur eine Leitung vorhanden ist, ist eine Verwechslung nicht möglich. Der Gartenanschluss muss mit der Aufschrift: „kein Trinkwasser“ versehen werden.

### **Sicherung des Status Quo in Sachen Komfort**

Die Nanofiltration wird als höherwertig eingestuft, da hier eine noch bessere Wasserqualität erzielt werden kann. Sie ist in der Lage auch Pestizide und endokrin wirksame Substanzen zu entfernen. Außerdem ist mit der Nanofiltration auch eine Enthärtung des Wassers möglich (Carbonat- und Sulfatentfernung).

### **Permanent sichere Wasserversorgung**

Seitens der Wasserversorgung können Angaben zur Trink- und Brauchwasserqualität getroffen werden. Bei der Membrantechnik sollte die Versorgung mit qualitativ einwandfreiem Wasser konstant und zuverlässig gewährleistet sein. Voraussetzung dafür ist aber eine ordnungsgemäße Wartung und Bedienung der Anlage.

Die Anforderungen der Brauchwasserqualität richten sich nach den chinesischen Richtlinien zur Wasserwiederverwendung und werden durch richtigen Betrieb der Aufbereitungsanlage eingehalten.

### **Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen**

Der Ausgleich bei Mengenschwankungen hängt vom Wasserspeicher ab. Dieser wurde hier standardmäßig berechnet [Mutschman, J. et. al. 2002]. Daher ist dieser Punkt bei allen Fällen gleich zu bewerten, da der Speicher in der Regel immer genug Sicherheitsreserve bieten sollte (bei Extremfällen könnte es sein, dass der Inhalt einmal nicht ausreicht). Ansonsten können bei den unterschiedlichen Techniken in Abhängigkeit des Wasserbedarfs auch variable Mengen Wasser aufbereitet werden.

### **Systemtoleranz bezüglich Bedienungsfehlern**

Die Systemtoleranz bezüglich Bedienungsfehler ist bei der Membrantechnik als eher gering einzustufen. Fehler können z.B. sein: Beaufschlagung mit nicht vorgereinigtem Wasser oder falsche Chemikaliendosierung bei Reinigungen etc. Dadurch können die Membranen unter Umständen irreversibel geschädigt werden.

Bei der Aufbereitung nach dem Stand der Technik können die Flockungsmittel falsch dosiert werden. Dennoch wird die Anlage bei Bedienungsfehlern vermutlich nicht so schnell nachhaltig geschädigt wie eine Membrananlage.

### **Personalaufwand**

Bei der Membrantechnik wird durch die vollautomatische Betriebsweise grundsätzlich sehr wenig Personal benötigt. Bei konventionellen Verfahren liegt der Personalbedarf höher.

### **Zeitintensität der Betreuung**

Durch die vollautomatische Betriebsweise der Membrananlagen ist die Zeitintensität der Betreuung extrem gering.

### **Qualitätsintensität der technischen Betreuung (Anforderung an Personal)**

Das Personal sollte beim Umgang mit Membrananlagen gut geschult sein (vgl. Anhang A - 23)

### **Ökonomische Bewertung**

#### **Investitionskosten**

#### **Investitionskosten des Rohrnetzes**

Die Investitionskosten des Rohrnetzes wurden nach Mutschmann und in Absprache mit der HSE veranschlagt [Mutschman, J. et. al. 2002]. Es wurden die Kosten für Liefern und Verlegen angesetzt, da die Rohre in den selben Graben verlegt werden, wie die Abwasserrohre, allerdings nach Vorschrift, in der Form, dass die Trink- und Brauchwasserversorgungsrohre über den Abwasserrohren liegen (vgl. Anhang A - 24).

### **Investitionskosten Pumpwerk**

Die Bauwerkskosten wurden nach Mutschmann veranschlagt (vgl. Anhang A - 24 und Anhang

A - 25) [Mutschman, J. et. al. 2002].

### **Investitionskosten Pumpen**

Die Pumpen wurden nach den Anforderungen des Rohrnetzes und der Entnahmen (Rohrnetzmodellierung mit Epanet) ausgewählt. Die verwendete Datengrundlage ist eine Angebotspalette der Firma Grundfos zur Auswahl und Dimensionierung geeigneter Pumpen (digital erhältlich auf CD), Preise wurden bei der Firma Grundfos erfragt und bei der ökonomischen Berechnung eingesetzt.

### **Investitionskosten Speicher**

Es wurden Bauwerkskosten für einen unterirdischen Speicher nach Mutschmann angesetzt (vgl. Anhang A - 24 und Anhang

A - 25) [Mutschman, J. et. al. 2002].

### **Investitionskosten Membrananlagen**

Die Investitionskosten wurden nach einer Investitionskostenaufstellung des Membrananlagenbauers Rochem (Hamburg) mit entsprechenden Kissenmodulen veranschlagt. Es wurden die Anlagenkosten nach diesen Daten explizit für die Anlagengrößen den entsprechenden Fall angesetzt. Für Membrananlagen mit anderen Modulen können selbstverständlich andere Investitionskosten entstehen (vgl. Anhang



A - 26).

### **Investitionskosten konventionelle Wasseraufbereitung**

Die Investitionskosten für eine konventionelle Wasseraufbereitung (Vorzonung, Fällung/Flockung, Sedimentation, Ozonung, Mehrschichtfilter, Aktivkohle) wurden anhand eines Expertengesprächs mit dem Werksleiter der Rheinwasseraufbereitungsanlage Biebesheim ermittelt. Es wurde abgeschätzt, für welche Kosten eine entsprechende Anlage (allerdings als kompakteste Bauweise) zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Projektes, errichtet werden kann. Die Kosten beinhalten auch die Planungskosten.

### **Reinvestitionskosten**

Reinvestitionskosten entstehen für die Membranmodule, die je nach Membran im Abstand von 4 bis 5 Jahren ausgetauscht werden (Kostenvorgabe durch die Firma Rochem (Hamburg)). Weitere Reinvestitionskosten entstehen durch Ersatz von Pumpen in 10 bis 15 Jahren.

### **Wartungskosten**

Die Wartungskosten werden unterschieden in Wartungskosten für Maschinen und Elektrik (3%) sowie die Wartung bei der Bautechnik (1%). Diese Kosten entstehen jährlich (vgl. auch Kap. 7.2 ökonomische Bewertung).

### **Chemikalienkosten**

Die Kosten für die Chemikalien bei der Membranreinigung nach dem derzeitigen Stand der Technik wurden von der Firma Rochem angegeben. Daten zu Chemikalienkosten zur konventionellen Wasseraufbereitung (Flockungsmittel, Aktivkohle) wurden vom Betreiber der Rheinwasseraufbereitungsanlage Biebesheim zur Verfügung gestellt.

Energiekosten wurden entsprechend den oben dargestellten Energiebedarfswerten für die Erzeugung des jeweils erforderlichen Wasservolumenstromes berechnet. Sie beinhalten auch den Energiebedarf der Pumpen.

### **Personalkosten**

Die Personalkosten für die konventionelle Wasseraufbereitung wurden vom Werksleiter der Rheinwasseraufbereitungsanlage in Biebesheim erfragt. Für den Betrieb der Membrananlagen wurde der Minimaleinsatz von zwei Mitarbeitern veranschlagt. Diese haben auch das Rohrnetz zu warten. Trotz vollautomatischer Betriebsweise der Membrananlagen, ist es nicht möglich die Anlagen ganz ohne Personal zu fahren; daher ist dieser Minimaleinsatz zu veranschlagen [Melin, T. et al. 2004]. Da es sich um ein integriertes Konzept handelt, wäre es denkbar das Personal gleichzeitig für die Abwasserbehandlung und die Abfallbehandlung zu nutzen. Nach derzeitigem Stand ist es aber aus hygienischen Gründen nicht erlaubt, dass auf abwassertechnischen oder abfalltechnischen Anlagen arbeitende Personen Trinkwasseraufbereitungsanlagen betreten.

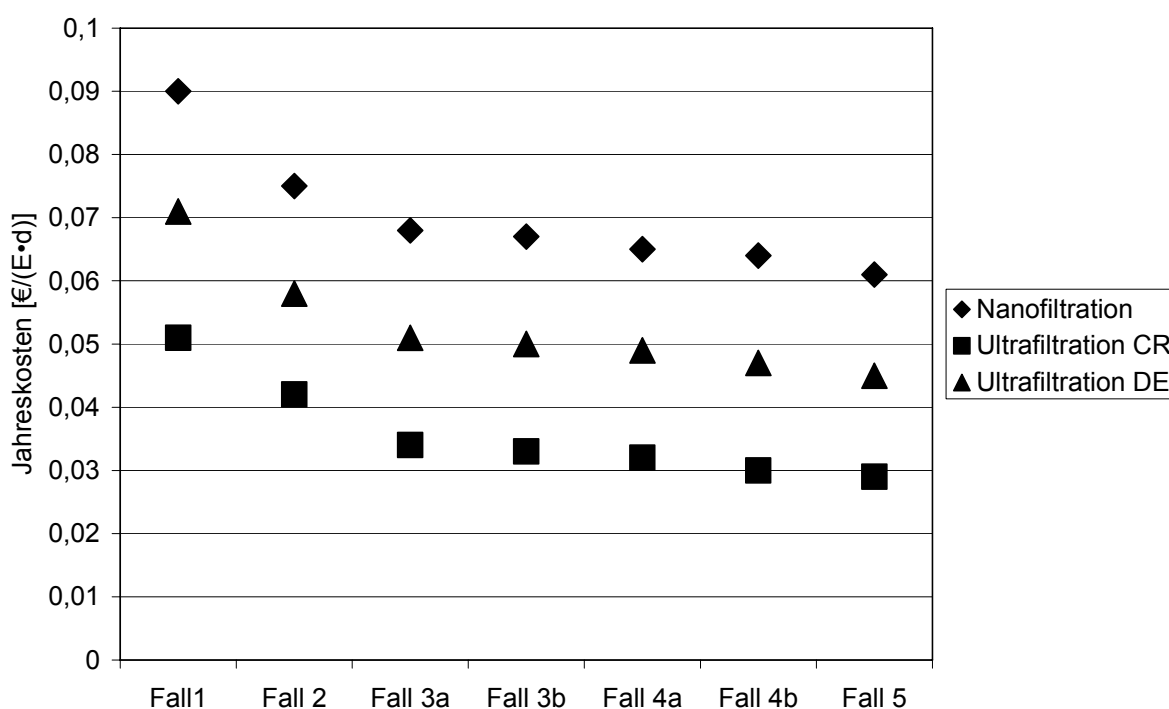
### **Ergebnisse Ökonomie**

Bei der kostenmäßigen Modellierung ergibt sich, dass die Ultrafiltration im Cross-Flow-Verfahren bei den Membranverfahren im Vergleich zur Ultrafiltration im Dead-End-Verfahren und der Nanofiltration am kostengünstigsten (Anhang

A - 26, Anhang A - 27 und

A - 28) ist. Die entsprechenden Werte wurden bei dieser Berechnung von einer Firma, die Membrananlagen konzipiert, zur Verfügung gestellt. Die Energiewerte wurden der Literatur entnommen. Dass die Cross-Flow Ultrafiltration trotz höheren Energiebedarfes insgesamt günstiger abschneidet, liegt an der geringeren notwendigen Membranfläche im Vergleich zur Dead-End Ultrafiltration, da hier zur Erzielung der selben Menge Permeat, während des Filtrationsvorganges, aufgrund des geringeren Verblockungsgrades weniger Membranfläche benötigt wird. Es sind sowohl die Verteilnetze für Trink- und Brauchwasser, sowie auch die dazugehörigen Pumpwerke in der ökonomischen Gesamtrechnung berücksichtigt und in Abbildung 18 dargestellt.

Die teurere Nanofiltration ist sicherlich nur einzusetzen bei Rohwässern schlechter Qualität, bei denen spezifische Inhaltsstoffe, wie z.B. endokrine Stoffe oder Pestizide entfernt werden müssen oder auch zur Brackwasseraufbereitung. Je nach Wasseraufbereitungsverfahren sind die Kosten für die einzelnen Fälle unterschiedlich. Aus Abbildung 19 ist jedoch erkennbar, dass ab Fall 3a aufwärts die Kostenabnahme pro Einwohner nur noch sehr geringfügig ist.



**Abbildung 19: Jahreskosten der Trinkwasseraufbereitung in [€/E·d] der Fälle 1-5 bei den unterschiedlichen Techniken [eigene Darstellung]**

In Anhang A - 29 sind die spezifischen Kosten für die beiden Versorgungsnetze dargestellt. Bei den verschiedenen Fällen (Kosten Leitungsnetz gesamt) ist jeweils ein Trinkwasser- und ein Brauchwassernetz berücksichtigt.

Die Kosten für die Trinkwasserleitungen beziehen sich auf Liefern sowie Verlegen und wurden (besonders bei den großen Querschnitten, weil nicht in der Literatur angegeben) von der HSE (HEAG Südhessische Energie AG, Darmstadt) angegeben. Die gesamten Investitionskosten für den Rohrnetzbereich wurden dann durch die Zahl der betrachteten Einwohner im jeweiligen Fall dividiert.

Es ist erkennbar, dass bei den selben Einwohnerzahlen die kompakte bzw. quadratische Anordnung des Leitungsnetzes (Fälle 3b und 4b) im Vergleich zur linearen Anordnung (Fälle 3a und 4a) sehr viel günstiger abschneidet. Die in Abbildung A-33 angesetzten Kosten berücksichtigen nur die Kosten der Versorgungsnetze, nicht diejenigen der Pumpwerke, etc., die aber bei der ökonomischen Gesamtrechnung mitberücksichtigt werden.

## **11.4.2 Abwassertechnik**

### **Ökologische Bewertung**

#### **Lärmemissionen**

Lärmemissionen im Bereich der Abwasserableitung und -behandlung finden sich hauptsächlich in Pumpstationen und Behandlungsanlagen. Je nach Transportweg (Länge, Geländeneigung, Wassermengen etc.) werden Pumpstationen benötigt um Abwasser bis zu den Behandlungsanlagen zu befördern. Neben den Lärmemissionen von Pumpstationen entlang der Transportwege entstehen Lärmemissionen durch die Abwasserbehandlungsanlagen selbst. Bei kleineren Anlagen, die eingehaust werden können, entstehen weniger Lärmemissionen als bei größeren Anlagen, die teilweise nicht einhausbar sind. Insgesamt sind die Lärmemissionen der Abwasserableitungs- und -behandlungsanlagen im Vergleich zum Abfalltransport und zur Abfallaufbereitungsanlage vernachlässigbar.

#### **Geruchsemissionen**

Aus der Abwasserableitung entstehen bei einem ordnungsgemäßen Betrieb nur sehr geringe Geruchsemissionen, die für die Bewohner bemerkbar sind. Geruchsemissionen im Bereich von Abwasserbehandlungsanlagen sind insbesondere im Bereich der Rechen- und Sandfanganlage sowie offenen mechanischen Behandlungsbecken sowie offenen Schlammbehandlungsanlagen festzustellen. Da bei einem semizentralen Ver- und Entsorgungssystem alle Anlageteile im geschlossenen Form bzw. eingehaust sind, sind Geruchsemissionen nicht relevant.

### **Risiko durch eingesetzte/verwendete Stoffe**

Die anfallenden Stoffströme aus häuslichen Abwässern ohne Zumischung von industriellen Abwässern sind hinsichtlich der potenziellen Umweltrisiken als unkritisch anzusehen. Eine Gefährdung des menschlichen Lebens und der Umwelt durch eine Brauchwasserverwendung bei entsprechender Aufbereitung mit Desinfektion ist daher ausgeschlossen. Die im Abwasserbehandlungsprozess eingesetzten Stoffe, wie z.B. Chemikalien zur Reinigung der Membranen beim Membranbelebungsverfahren oder das Endprodukt Biogas aus der anaeroben Schlammbehandlung können potenzielle Gefährdungen (Austritt ätzender Chemikalien, Explosionen etc.) verursachen. Bei einem sachgemäßen Betrieb der entsprechenden Behandlungsanlagen ist diese Gefahr aber vernachlässigbar.

### **Störfallwahrscheinlichkeit**

Die Wahrscheinlichkeit eines Störfalles im Sinne einer nicht betriebsgemäßen schweren Beeinträchtigung der Umwelt ist auf Grund der verwendeten Technologien und der verarbeiteten Stoffströme als gering einzustufen.

### **Reversibilität und Intensität des Störfalls**

Mögliche Störungen im Betrieb durch menschliches oder technisches Versagen wirken sich im Bereich der technischen Anlagen sowie in den nahe liegenden Gewässern aus. Eine nachhaltige Schädigung der Umwelt durch häusliche Abwässer ist aber nicht zu erwarten.

### **Bodenbelastung**

Im Bereich von Abwasserableitung und -behandlung besteht eine sehr geringe Gefahr, dass gefährliche Stoffe den Boden belasten, wenn die Abwasserkanalisation und die -behandlungsanlagen technisch korrekt gebaut und betrieben werden. Daher spielt die Bodenbelastung durch Abwasserableitung und -behandlung eine untergeordnete Rolle.

### **Luftbelastung $\text{gCO}_{2,\text{Äqu}}/(\text{E}\cdot\text{d})$**

Bei der Abwasserbehandlung ergibt sich die Luftbelastung in  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten direkt aus der Prozessmodellierung und den darin ermittelten Abbaugraden für die or-

ganische Substanz. Entstehendes Kohlendioxid geht mit einer einfacher Gewichtung und entstehendes Methan mit 21-facher Gewichtung in die Belastungssumme ein.

### **Wasserbelastung**

Die entstehende Wasserbelastung durch das Einleiten des Ablaufs aus der Abwasserbehandlungsanlage ins Gewässer ist je nach unterschiedlichen Behandlungstechniken erkennbar. Das Behandlungsverfahren, das höhere Ablaufsqualität erzielen kann, wie z.B. das Membranbelebungsverfahren, liefert einen besseren Ablauf als das Verfahren, das niedrigere Ablaufsqualität erzielen kann, wie SBR-Verfahren.

### **Beeinträchtigung von Natur und Landschaft**

Die Beeinträchtigung von Natur und Landschaft geschieht vor allem durch den visuellen Einfluss der Anlage auf die Umgebung. Hierbei muss zum einen die Anzahl und zum anderen auch die Größe der benötigten Anlagen berücksichtigt werden.

Beim Einsatz von Biofilteranlagen und Membranbelebungsanlagen ist die Beeinträchtigung der Natur und Landschaft vernachlässigbar, da die Anlagen in ähnlicher Größenordnung wie eine kleine Wohneinheit sind. Im Gegensatz dazu sind z.B. bei anaeroben Schlammbehandlungsanlagen sowie SBR-Anlagen in größeren Dimensionen (besonders ab Fall 3) beispielsweise eine Baugruppe von mindestens 4 Reaktoren im Einzelfall notwendig. Eine optische Beeinträchtigung ist dadurch nicht vermeidbar.

### **Entstehung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle kg/(E•d)**

Aus den Abwasserbehandlungsanlagen in einem semizentralen Ver- und Entsorgungssystem entsteht eine sehr geringe Menge von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen. Dies ist insbesondere bei einer Membranbelebungsanlage der Fall, wenn Wasser nach der chemischen Reinigung der Membranen abgeleitet wird (AOX-haltig). Da die Abwassermengen gegenüber den anderen überwachungsbedürftigen Abfällen sehr geringfügig sind, sind sie bei der Bewertung vernachlässigbar.

### **Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle kg/(E•d)**

Da der entstehende Klärschlamm am Ende der Behandlung als Produkt aus der Abfallbehandlungsanlage vermarktet wird, entstehen hier keine überwachungsbedürftigen

Abfälle im allgemeinen Sinn. Dieses Kriterium wird daher bei der Bewertung vernachlässigt.

#### **Flächenverbrauch $m^2/E$**

Der Flächenbedarf der Anlagen mit unterschiedlichen Behandlungsverfahren ist abhängig von der Frachtbelastung und damit den angeschlossenen Einwohnerwerten.

#### **Energiebilanz Bedarf/Überschuss kWh/(E•d)**

Die Energiebilanz wird über gesamten Bedarf der Anlage und Energieerzeugung im Einzelfall ermittelt (vgl. Anhang



A - 30).

## **Soziokulturelle Bewertung**

### **Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung**

Die getrennte Abführung von Grau- und Schwarzwasser ist hinsichtlich der Nutzerfreundlichkeit nicht relevant, da sich die Nutzer nicht mit dieser getrennten Abführung auseinander setzen müssen. Die Verwendung des Brauchwassers im Haushalt ist für die Toilettenspülung und evtl. auch für die Bewässerung der Pflanzen vorgesehen. Die doppelte Leitungsführung ist für Nutzer im Haushalt nicht bemerkbar, da die Leitung zur Toilettenspülung beim Bau der Wohngebäude schon angeschlossen ist. Der Anschluss zur Entnahme des Brauchwassers zur Bewässerung der Pflanzen im Garten muss mit „kein Trinkwasser“ ausgeschildert werden und für Kinder unzugänglich sein, um eine Fehlverwendung zu vermeiden.

Bei den Behandlungsverfahren haben Nutzerfreundlichkeit und einfache Bedienung mehr Bedeutung für die Betreiber, da die privaten Haushalte keine direkte Verbindung mit den Behandlungsanlagen haben. Generell benötigen alle verwendeten technischen Verfahren durch Automatisierung der Anlagen einen ähnlichen Betreuungsaufwand. Je größer die Abwasserbehandlungsanlage ist, desto mehr wird ein entsprechender Betreuungsaufwand benötigt. Für Betreiber unterscheiden sich die Abwasserbehandlungsanlagen mit unterschiedlichen Größen hinsichtlich der Nutzerfreundlichkeit kaum.

### **Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort**

Der Status-Quo hinsichtlich des Komforts für die Nutzer wird bei der getrennten Grau- und Schwarzwassersammlung sowie -behandlung nicht verändert.

### **permanent sichere Abwasserentsorgung**

Die Abwasserableitung ist durch die Kanalisation in ihrem Existenzzeitraum gesichert, falls diese richtig betrieben und gewartet wird. Auf Grund der verwendeten Verfahren ist eine permanente Abwasserbehandlung unterschiedlich gesichert. Das Verfahren, das geringer störanfällig ist oder in weniger Fällen aufgrund der Anla-

genkontrolle bzw. -wartung außer Betrieb genommen werden muss, besitzt eine höhere Sicherheit bei der Abwasserentsorgung.

### **Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen**

Die Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen (Zu- und Abfluss in die und aus den Anlagen) verhält sich bei den Anlagen unterschiedlich. Bei kleineren Anlagen ist das System empfindlicher im Vergleich zu größeren Anlagen, da geringere Kompensationskapazitäten und Ausweichmöglichkeiten bestehen. Hinsichtlich der Verfahrenstechnik und der Anlagenauslegung ist das Biofilterverfahren bei allen untersuchten Fällen als meist empfindlich bewertet.

### **Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern**

Alle verwendeten Behandlungsverfahren im Bereich der Abwasserbehandlung benötigen eine sehr gute Schulung des Personals, um einen konstanten und stabilen Betrieb der Anlagen zu gewährleisten. Die Toleranz bei den SBR-Anlagen bezüglich Bedienungsfehler ist vergleichsweise größer im Vergleich zu den Membranbelebungs- und Biofilterverfahren.

### **Personalaufwand**

Sowohl bei der Abwasserableitung als auch bei der Abwasserbehandlungsanlage kann der Personalaufwand durch hohe Automatisierung gering gehalten werden und unterscheidet sich nicht hinsichtlich der technischen Ausprägung der Varianten. Vergleichsweise wird in größeren Anlagen spezifisch weniger Personal benötigt als in kleineren Anlagen.

### **Qualitätsintensität der technischen Betreuung**

Gemeinsam ist allen Anlagenkonzeptionen ein hoher Automatisierungsgrad sowohl bezüglich Steuerung, Regelung und Überwachung als auch im technischen Betrieb im Vergleich zu Anlagen in einem zentralen Entsorgungssystem. Steuerung, Regelung und Überwachung sind bei Biofiltern und Membranbelebungsanlagen deutlich komplexer als bei SBR-Anlagen und stellen hohe Anforderungen an Können und Erfahrung des Betriebspersonals (→ Siehe Anhang A - 31)

### **Ökonomische Bewertung**

#### **Investitionskosten Abwasserableitung und Pumpwerk**

Als Investitionskosten im Bereich der Abwasserableitung fallen Anschaffungskosten für die gesamte Kanalisation und entsprechende Pumpwerke an. Die Rohrkosten nach dem laufenden Meter sowie Kosten der Pumpwerke wurden der Literatur entnommen [Mutschman, J. et. al. 2002]. Als betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer wird für die Kanalisation 20 Jahre und für die Pumpwerke 10 Jahre angenommen.

#### **Betriebskosten Abwasserableitung und Pumpwerk**

Die Betriebskosten der Abwasserableitung und der Pumpwerke setzen sich aus den Instandhaltungs-, Material- (z.B. Energie, Hilfsstoffes, Ersatzteile etc.) und den erforderlichen Personalkosten zusammen.

#### **Investitionskosten der Behandlungsanlage**

Die Investitionskosten bei der Abwasserbehandlung wurden wissenschaftlichen Untersuchungen vergleichbarer Anlagen in Deutschland entnommen [Barjenbruch, M. 1997; Günthert et al. 2001; Reicherter, E. 2003]. Als betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer für die bautechnischen Anlagenteile wurden 25 Jahre, für die maschinentechnischen Anlagenteile 12 Jahre und für die Membranen in Membranbelebungsanlagen fünf Jahre angenommen.

#### **Betriebskosten Behandlungsanlage**

Die Betriebskosten für die Behandlungsanlagen setzen sich im Wesentlichen aus den Personalkosten, den Wartungskosten für die technischen Anlagen sowie den Energiekosten zusammen. Die Betriebskosten der Behandlungsanlagen wurden Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen in Deutschland [Barjenbruch, M. 1997; Günthert et al. 2001; Reicherter, E. 2003] entnommen.

### **11.4.3 Abfalltechnik**

#### **Ökologische Bewertung**

##### **Lärmemissionen**

Der Bereich der Lärmemissionen gliedert sich in die Sammlung- und Transport des Abfalls sowie den eigentlichen Anlagenbetrieb.

Es findet eine tägliche Sammlung des Abfalls statt. Die daraus resultierende Lärmbelastung unterscheidet sich quantitativ durch eine mögliche Getrenntsammlung von Bioabfall, da in diesem Fall eine doppelte Anzahl an Sammelfahrten stattfindet. Die Größe des Modellgebietes spielt dabei keine Rolle, da die Sammelstrecke eine davon unabhängige Größe ist und die Transportemissionen demgegenüber vernachlässigbar sind.

Aus dem Anlagenbetrieb entstehen Lärmemissionen durch die mechanische Aufbereitung des Abfalls sowie die Belüfteraggregate der Abfallbehandlung. Die mechanische Abfallaufbereitung ist für alle Varianten vergleichbar; eine Differenzierung potenzieller Lärmemissionen auf Modellebene ist nicht möglich.

### **Geruchsemissionen**

Aus dem Anlagenbetrieb entstehen Emissionen aus der Abfallaufbereitung, der Abfallbehandlung sowie der Abwasserbehandlung. Aufgrund der vergleichbaren technischen Ausgestaltung der Abfallaufbereitung ist eine Differenzierung wie auch bei den Lärmemissionen nicht möglich. Durch das geringe Alter des behandelten Abfalls (i.d.R. maximal 2 Tage) ist auch im Bereich der Anlieferung nicht mit signifikanten Emissionen zu rechnen. Bei vergleichbaren Anlagen in Deutschland beträgt das Abfallalter demgegenüber 7-14 Tage.

Dahingegen entstehen bei der aeroben Behandlung des Abfalls signifikante Geruchsemissionen. Diese können durch eine geeignete Abluffassung und Reinigung minimiert werden. Durch den laufenden Betrieb sind allerdings Restemissionen nicht zu vermeiden. Diese fallen bei Vergärungsverfahren mit Nachrotte aufgrund der höheren Stabilität des aerob behandelten Materials geringer aus als bei vollständig aeroben Verfahren.

Durch die tägliche Abfallsammlung sind die Geruchsemissionen im Bereich der Sammlung vernachlässigbar.

### **Risiko durch eingesetzte/verwendete Stoffe**

Die aus der häuslichen Abfallsammlung und Behandlung anfallenden Stoffströme sind hinsichtlich ihrer potenziellen Umweltrisiken unkritisch. Eine nachhaltige Gefährdung kann daher ausgeschlossen werden. Eine Ausnahme bildet das bei der anaeroben Behandlung entstehende Biogas, aus dem sich bei unsachgemäßer Handhabung ein potenzielles Brand- bzw. Explosionsrisiko ergeben kann. Auch kann es bei unkontrolliertem Austreten zur direkten Beeinträchtigung der menschlichen Gesund-

heit bis zum Todesfall kommen. Bei sachgemäßem Betrieb der Anlagen ist dieses Risiko jedoch vernachlässigbar.

### **Störfallwahrscheinlichkeit**

Die Wahrscheinlichkeit eines Störfalles im Sinne einer nicht betriebsgemäßen schweren Beeinträchtigung der Umwelt ist auf Grund der verwendeten Technologien und der verarbeiteten Stoffströme als gering einzustufen.

### **Reversibilität und Intensität des Störfalls**

Mögliche Störungen im Betrieb durch menschliches oder technisches Versagen wirken sich ausschließlich im Bereich der technischen Anlagen aus. Eine nachhaltige Schädigung der Umwelt ist daher nicht zu erwarten.

### **Bodenbelastung**

Bei gemeinsamer Behandlung des Rest- und Bioabfalls sowie des Klärschlammes und anschließender Ausbringung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ist mit einem potenziellen Schadstoffeintrag und eine daraus folgende starke Bioakkumulation zu rechnen. Bei gemeinsamer anaerober Behandlung von Bioabfall und Klärschlamm sowie einer anschließenden landwirtschaftlichen Verwertung des Gärsubstrates bei gleichzeitiger Deponierung oder thermischer Verwertung des aerob behandelten Restabfalls ist die potenzielle Bodenbelastung als gering einzustufen. Auszuschließen ist eine Belastung aufgrund von Anreicherungsvorgängen durch die Nahrungskette jedoch nicht.

Findet eine getrennte Behandlung des Klärschlammes und eine gemeinsame Behandlung von Rest- und Bioabfall statt, so kann durch verbesserte Möglichkeiten der Abstimmung der ausgebrachten Substrate auf die vorliegende Bodenbeschaffenheit die potenzielle Bodenbelastung gegenüber dem Mischsubstrat verbessert werden.

### **Luftbelastung $\text{gCO}_2 \text{Äqu}/(\text{E} \cdot \text{d})$**

Die Luftbelastung in  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten ergibt sich direkt aus der Prozessmodellierung und den darin ermittelten Abbaugraden für die organische Substanz. Entstehendes Kohlendioxid geht mit einfacher Gewichtung, entstehendes Methan mit 21-facher Gewichtung in die Belastungssumme ein. Die Luftbelastung in  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten aus der Abfallbehandlungsanlage ist wesentlich höher als die aus der

Abwasserbehandlungsanlage. Daher üben CO<sub>2</sub>-Äquivalente aus der Abfallbehandlungsanlage eine Hauptauswirkung in der Bewertung der technischen Varianten.

### **Beeinträchtigung von Natur und Landschaft**

Die Beeinträchtigung von Natur und Landschaft geschieht vor allem durch den visuellen Einfluss der Anlage auf die Umgebung. Hierbei muss zum einen die Anzahl, als auch die Größe der benötigten Anlagen berücksichtigt werden. Die Anlagen für die Fälle mit geringen Einwohnerzahlen pro Anlage sind vom Bauvolumen her erheblich kleiner und können daher besser an die umgebende Bebauung angepasst werden. Dem gegenüber sind Anlagen für die Fälle mit höheren Einwohnerzahlen aufgrund der größeren umbauten Volumina baulich schwerer in das Umfeld zu integrieren. Eine Beeinträchtigung durch die optische Wirkung sowie durch Verschattung in Folge der engen Bebauungsverhältnisse ist dann eher gegeben.

### **Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle kg/(E•d)**

Im Rahmen der Stoffstrombilanzierung werden die Outputströme der einzelnen Abfallbehandlungstechniken ermittelt. Eine resultierende Größe ist die Menge an überwachungsbedürftigem Abfall. Diese setzt sich aus den evtl. bei der biologischen Behandlung entstehenden Reststoffen, die nicht einer Verwertung zugeführt werden können sowie den Reststoffen aus der thermischen Verwertung der heizwertreichen Restabfallfraktion zusammen.

### **Flächenverbrauch m<sup>2</sup>/E**

Der Flächenbedarf der einzelnen Varianten ist abhängig von der eingesetzten Abfallbehandlungstechnik sowie der Menge der behandelten Abfälle. Die für den Flächenverbrauch maßgeblichen Größen ergeben sich aus der Dimensionierung der einzelnen Anlagenteile (vgl. Abbildung 15).

### **Energiebilanz Bedarf / Überschuss kWh/(E•d)**

**Die Energiebilanz ist eine resultierende Größe aus der Modellierung der Energiebilanz der einzelnen Varianten. Als Lastschriften fallen die Transport- und Behandlungsenergie an. Gutschriften ergeben sich durch die Nutzung des energetischen Potenzials der heizwertreichen Fraktion sowie ggf. des entstehenden Biogases (vgl. Anhänge**

A - 32,

**A - 33 sowie**



A - 34).

## **Soziokulturelle Bewertung**

### **Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung**

Bei den Varianten mit gemeinsamer Rest- und Bioabfallsammlung ist die Nutzerfreundlichkeit voll gegeben. Die Abfälle können in die wohnungsnah aufgestellten Abfallsammelbehälter eingeworfen werden; eine Sortierung, die über die ökonomisch motivierten, informellen Sammelaktivitäten hinausgeht, ist nicht erforderlich.

Bei getrennter Sammlung ist die Benutzung von zwei Sammelbehältern für die allgemeine Sammlung im Haushalt erforderlich. Für die räumliche Aufstellung der Sammelbehälter ergeben sich keine Unterschiede; die Größe der Sammelbehälter ist den verringerten Abfallmengen pro Sammelgefäß anzupassen.

### **Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort**

Der Status-Quo hinsichtlich des Komforts bleibt bei der gemeinsamen Sammlung von Rest- und Bioabfällen unangetastet. Bei getrennter Bioabfallsammlung ist die Verwendung von zwei Sammelgefäßen erforderlich. Daraus resultiert ein gewisser Komfortverlust.

### **permanent sichere Abfallentsorgung**

Auf Grund des hohen Druckes zur räumlichen Verkleinerung der Anlagen sind die Bunker- und Lagerflächen vergleichsweise klein angelegt. Insbesondere bei kleineren Anlagen kann das dazu führen, dass in Folge eines Anlagenstillstandes die Sammlung für einige Tage ausgesetzt werden muss. Ausweichlösungen durch Nutzung weiterer Anlagen in der Umgebung sind möglich, diese erfordern allerdings i.d.R. eine logistische Vorbereitung, bei der die Abholung auch für einige Zeit unterbrochen werden muss. Bei betriebstechnisch anspruchsvollen Anlagen mit höherem Stillstandsrisiko ist das Risiko eines derartigen Ausfalls höher.

### **Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen**

Die Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen ist bei den Anlagen mit aerober Behandlung des Abfalls gering. Durch Stilllegung einzelner Aggregate oder die

Verlängerung der Aufenthaltszeit kann auch ein vollständiger Ausfall der Sammlung kompensiert werden. Auch ein kurzzeitiger Anstieg kann verfahrenstechnisch gut bewältigt werden.

Die anaeroben Behandlungsprozesse sind dagegen deutlich anfälliger gegenüber Veränderungen der Inputmengen. Insbesondere bei den kleinen, 1-straßigen Anlagen ist die Empfindlichkeit deutlich höher als bei den Anlagen mit aerober Technik. Bei zunehmender Anlagengröße sind die Pufferkapazitäten größer und durch eine mehrstraßige Auslegung kann betrieblich besser auf Mengenschwankungen reagiert werden.

### **Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern**

Insbesondere die anaeroben Behandlungsverfahren erfordern eine gute Schulung des Personals, um einen ordnungsgemäßen Betrieb der Anlagen sicherzustellen. Die Toleranz der Anlagen gegenüber Bedienungsfehlern ist niedrig. Auch schon kleinere Fehler in der Beschickung oder Steuerung des Gärreaktors können zum Zusammenbrechen der biologischen Prozesse im Reaktor führen.

Dagegen sind die aeroben Techniken vergleichsweise stabil gegenüber Fehlern.

Bei der gleichzeitigen Behandlung verschiedener Abfallströme (Rest- und Bioabfall) auf einer Anlage ist unbedingt eine Verwechslung der Abfallarten zu vermeiden, da ansonsten die Qualität der Endprodukte der Behandlung empfindlich leiden kann.

### **Personalaufwand**

Durch hohe Automatisierung ist der Personalaufwand gering zu halten und unterscheidet sich nicht hinsichtlich der technischen Ausprägung der Varianten. Hinsichtlich Sammlung und Transport sind die Varianten mit getrennter Sammlung mit einem höheren Personalaufwand verbunden.

### **Zeitintensität der Betreuung**

vgl. hierzu den vorangehenden Punkt.

### **Qualitätsintensität der technischen Betreuung**

Gemeinsam ist allen Anlagenkonzeptionen ein hoher Automatisierungsgrad sowohl in Steuerung, Regelung und Überwachung, als auch im technischen Betrieb. Steuerung, Regelung und Überwachung sind bei anaeroben Anlagen deutlich komplexer als bei aeroben Anlagen und stellen hohe Anforderungen an Können und Erfahrung des Bedienpersonals.

**Bei gemeinsamer Bio- und Restabfallsammlung ist auf Grund des heterogenen Eingangsmaterials die Prozesssteuerung und Überwachung der anaeroben Behandlungsprozesse gegenüber getrennter Sammlung erschwert (vgl. Anhang**

## **Ökonomische Bewertung**

### **Investitionskosten Sammlung und Transport**

Als Investitionskosten für Sammlung und Transport fallen die Anschaffungskosten der Sammelfahrzeuge an. Hier sind Kosten für marktgängige Fahrzeuge angesetzt [MüllHandbuch 2005]. Aus der Sammelleistung [E/d] der Fahrzeuge ist der Bedarf an Fahrzeugen abgeleitet. Als betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer werden acht Jahre angenommen.

### **Betriebskosten Sammlung und Transport**

Die Kosten für Sammlung und Transport bestimmen sich aus dem Betriebsmittelverbrauch der Fahrzeuge und den erforderlichen Personalkosten sowie den Unterhaltskosten für die Fahrzeuge. Der Betriebsmittelverbrauch ergibt sich aus der Modellierung der Sammel- und Transportstrecken und den zugehörigen Sammelzeiten. Aus der Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge ergibt sich der Personalbedarf für Sammlung und Transport.

### **Investitionskosten Anlage**

Die Investitionskosten ergeben sich aus linearen Skalierungen vergleichbarer Anlagenkosten in Deutschland [Bidlingmaier, W. 2000; Zetschmar-Lahl, B. 2000]. Die Investitionskosten für Radlader wurden der aktuellen Baugeräteliste entnommen [BGL, 2001]. Als betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer für die bautechnischen Anlagenteile wurden 25 Jahre, für die maschinentechnische Anlagenteile 12 Jahre und für die Fahrzeuge 8 Jahre angenommen.

### **Betriebskosten Anlage**

Die Betriebskosten für die Behandlung der festen Abfälle beinhalten im Wesentlichen Personalkosten, Wartungskosten für die technischen Anlagen sowie Energiekosten. Demgegenüber stehen die potenziell erzielbaren Erlöse für die Produkte.

**Die Personalkosten ergeben sich aus den betrieblichen Anforderungen der technischen Anlagen sowie den Anforderungen an die Verfügbarkeit von Annahme und Überwachung. Die Wartungskosten wurden als**

prozentuale Anteile der Investitionskosten angenommen [Bidlemaier, W. 2000]. Die Energiekosten ergeben sich aus der in der Modellierung ermittelten Energiebilanz. In diese fließen auch die als Produkt erzeugten Energiemengen ein (vgl. Anhang

A - 36).

## 12 Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilprojekts 1

### 12.1 Beschreibung der Vorgehensweise

Die Entwicklung der Volksrepublik China ist geprägt von hohen ökonomischen Wachstumsraten und einem zunehmenden hohen und beständig ansteigenden Urbanisierungsgrad. Diese Entwicklung verursacht bzw. impliziert einen vergleichslosen Bauboom, u.a. im Bereich der Siedlungsentwicklung. Die Geschwindigkeit dieser Entwicklung führt dazu, dass die Stadtplanung und der Ausbau der technischen Infrastruktur für Wasserversorgung und Abwasserbehandlung sowie Abfallwirtschaft nicht Schritt halten können. Viele chinesische Städte sind daher mit der Situation konfrontiert, dass aufgrund der dicht besiedelten Stadtgebiete die natürlichen Wasservorkommen zur Versorgung der Bevölkerung nicht ausreichen und dass die Umwelt durch eine unzureichende Abwasser- und Abfallbehandlung schwer belastet ist. Somit besteht enormer Handlungsbedarf hinsichtlich der zukünftigen Ausgestaltung der chinesischen Wasserver- und Abwasserentsorgung, der Abfallwirtschaft sowie der Siedlungs- und Infrastrukturplanung.

Bei der Suche nach Lösungen werden zwei Zielsetzungen verfolgt: Zum einen soll die Umwelt vor Verschmutzungen geschützt und zum anderen die Verschwendung und Übernutzung von Ressourcen minimiert werden. Gleichzeitig sollen zur Sicherung eines hohen und gleichzeitig stabilen Qualitäts- sowie Ver- und Entsorgungsstandards Einheiten realisiert werden, die in der Lage sind, die Vorteile klassischer dezentraler und zentraler Systeme zu kombinieren, während sie deren Nachteile vermeiden.

Das vorliegende interdisziplinäre Forschungsprojekt beschäftigt sich daher mit so genannten „semizentralen Ver- und Entsorgungssystemen“ für die Wasserver-, Abwasser- und die Abfallentsorgung für urbane Räume in China. Unter einem semizentralen Ver- und Entsorgungssystem wird grundsätzlich ein Ver- und Entsorgungssystem verstanden, dessen Bezugsgröße über die einzelner Bebauungseinheiten hinausgeht, sich aber gleichzeitig von zentralen Anlagen im herkömmlichen Sinne deutlich abgrenzt. **Ein semizentrales Ver- und Entsorgungssystem ist so klein wie möglich und nur so groß wie nötig.** Die Bestimmung einer möglichst optimalen Bezugsgröße für ein semizentrales Ver- und Entsorgungssystem in urbanen Räumen Chinas erfolgt im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts.

An die semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme werden weitere Ansprüche gestellt: So **soll ein angepasstes, flexibles, integriertes, nachhaltiges Konzept für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas entwickelt werden.**

Zusammengefasst werden folgende wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele im Rahmen der Projektbearbeitung verfolgt:

- Entwicklung technischer Lösungen für integrierte Ver- und Entsorgungssysteme.
- Abgrenzung von optimalen Bezugsgrößen für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme.
- Bestimmung der jeweils besten technischen Variante und Bezugsgröße im Vergleich zum chinesischen Status-Quo.

Das vorliegende Forschungsprojekt beschäftigt sich mit semizentralen Ver- und Entsorgungssystemen für urbane Räume unter ausschließlicher Berücksichtigung der Funktion „Wohnen“. Daher wird davon ausgegangen, dass die semizentralen Ver- und Entsorgungseinheiten/-systeme ausschließlich Wohngebiete ver- und entsorgen. Darüber hinaus wird festgelegt, dass die semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme ausschließlich in **Wohnneubaugebieten** implementiert werden.

Eine umfangreiche Bestandsanalyse (Arbeitspaket 1) liefert die wesentlichen Basisinformationen bezüglich des gegenwärtigen Status-Quo der Ver- und Entsorgungsinfrastruktur und zum anderen der Stadtentwicklungs-/Urbanisierungsprozesse. Neben einer umfassenden Literaturrecherche und der Analyse anderer schriftlicher Dokumente (Fachliteratur, Tagungsbände, statistische Unterlagen) werden zu diesem Zweck Experteninterviews und Vor-Ort-Recherchen in zwei Projektgebieten in Shanghai und Qingdao im Rahmen eines Forschungsaufenthalts in China durchgeführt (vgl. Kapitel 6).

Auf der Grundlage der gemeinsam mit den chinesischen Projektpartnern ermittelten und ausgewerteten Daten werden generelle Annahmen als Basis für semizentrale Ver- und Entsorgungskonzepte getroffen (Arbeitspaket 2; vgl. Kapitel 7). Hierzu werden einerseits generelle Festlegungen zu Verlauf und Ausprägung von Stadtentwicklungs-/Urbanisierungsprozessen in China getroffen sowie grundlegende Siedlungs- bzw. städtische Strukturen nach Homogenitäts- und Funktionalitätskriterien typisiert. Andererseits werden Rückschlüsse hinsichtlich Qualitäten und Quantitäten



anfallender bzw. benötigter Rohstoffe und Stoffströme gezogen. Dies bedeutet, dass Stoffströme ausgewählt werden, die im weiteren Projektverlauf betrachtet werden.

Eine wesentliche Erkenntnis ist die Tatsache, dass die urbanen Räume der Volksrepublik China nach dem Prinzip der „funktionalen Trennung“ entwickelt werden. Des Weiteren ist festzustellen, dass die Entwicklung neuer Gebiete nicht nur rasant vorschreitet, sondern i.d.R. in Suprarastern erfolgt, die i.d.R. Entwicklungsflächen von 200.000 m<sup>2</sup> bis 500.000 m<sup>2</sup> umfassen. Diese Gebiete werden als „Suprazellen“ bezeichnet. Sie dienen im vorliegenden Forschungsprojekt als Grundeinheit für die Modellierung der beteiligten technischen Fachgebiete. Zu diesem Zweck ist es unumgänglich den Suprazellen spezifische Eigenschaften eines Wohngebietes zuzuweisen.

Die Suprazelle bildet das statistische Mittel eines chinesischen Wohnneubaugebietes ab. Ein Raumbezug oder eine räumliche Verortung dieser Modellzelle ist nicht möglich. Auch stellt sie weder ein städtebauliches Modell des typischen urbanen Raumes in China dar noch ist sie als städtebauliche Empfehlung für chinesische Wohnneubaugebiete zu verstehen. Sie dient ausschließlich als theoretisches Modell und damit als Grundlage der technischen Modellierung. Die daraus resultierenden Ergebnisse sind daher in Teilprojekt 2 im Raum kritisch zu überprüfen und unter Berücksichtigung eines spezifischen Raumbezugs zu konkretisieren.

Die Suprazelle ist durch die folgenden wesentlichen Parameter charakterisiert: Wesentliches Merkmal ist die quadratische Grundfläche, die eine Fläche von 50 ha umfasst. Ebenso charakteristisch sind die Nutzungsanteile. Weiterhin sind die Gebäudeformen und -höhen durch das Modell definiert. Aufgrund von Festlegungen bzgl. durchschnittlicher Wohnungsgrößen und prozentualer Verteilung verschiedener Nutzungsintensitäten und -arten, ergibt sich eine rechnerische Einwohnerzahl von ca. 13.000 Einwohnern pro Suprazelle.

Eines der Ziele des vorliegenden Forschungsvorhabens ist es, die geeignete räumliche Größe für semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme zu ermitteln. Aus diesem Grunde werden die Suprazellen in unterschiedlichen so genannten „Fällen“ zusammengesetzt, um unterschiedliche Raumgrößen für die Modellierung simulieren zu können. Eine maximale Obergrenze von 208.000 Einwohnern wurde gewählt, da es sich bei dem Modell der Suprazelle um eine monofunktionale Einheit, d.h. um ein reines Wohngebiet, handelt. Darüber hinaus hat das Projekt den Anspruch neben einer integrierten Planung und Entwicklung auch Ansätze für eine integrierte Umsetzung sowie einen integrierten Betrieb des semizentralen Ver- und Entsorgungssys-

tems zu entwickeln (2. Teilprojekt). In diesem Zusammenhang ist eine Maximalgröße von ca. 200.000 Einwohnern sinnvoll.

Für spätere Modellierungen werden der gewichtete gemittelte Trinkwasserbedarf von Qingdao (Nordchina) und Shanghai (Südchina) für Trinkwassernetze und Trinkwasseraufbereitungsanlagen und der gemittelte Abwasseranfall für das Abwasserableitungssystem und -behandlungsanlagen verwendet, um die Differenz zwischen unterschiedlichen Regionen Chinas (hier speziell Süd- und Nordchina) mit deutlich unterschiedlichem Wasser- und Abwasseranfall auszugleichen. Der gewichtete Trinkwasserbedarf beträgt  $127 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$  und der gewichtete Abwasseranfall  $120 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$  (detailliert vgl. Kapitel 7.1.2). Dasselbe gilt für die Abfallzusammensetzung, die sich wie folgt darstellt (detailliert vgl. Kapitel 7.1.3):

- 70% Organik
- 11% Kunststoff
- 10% Papier
- 5% Glas
- 1% Metall
- 3% Mineralien

Die Nachhaltigkeit der Varianten wird mithilfe einer sog. Nachhaltigkeitsbewertung ermittelt. Diese ist ein Bewertungsinstrument das gleichzeitig ökologische, soziokulturelle und ökonomische Kriterien berücksichtigt. Die angewandten Kriterien werden im Folgenden genannt (detailliert vgl. Kapitel 7.4):

- Ökologische Bewertungskriterien (Gefährdungspotenzial, Wirkungen auf Umweltmedien und Menschen, Systeminput, Systemoutput),
- soziokulturelle Bewertungskriterien (von Seiten der Nutzer: Komfort, Transparenz des Ver- und Entsorgungssystems, Ver- und Entsorgungssicherheit; von Seiten der Betreiber: Systemstabilität, Betreuungsintensität) sowie
- ökonomische Bewertungskriterien (Investitionskosten, Reinvestitionskosten, Betriebs- und Unterhaltskosten).

Unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen in urbanen Räumen Chinas werden für die Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie die Abfallentsorgung nach dem Stand der Technik Techniken ausgewählt, die als geeignete Bausteine (Module) für ein möglichst integriertes Ver- und Entsorgungssystem nach den im Rahmen des

Forschungsprojektes festgelegten Zielvorstellungen (angepasst, flexibel, integriert, nachhaltig) in Frage kommen (vgl. Kapitel 8).

Aufgrund der vorherrschenden Rahmenbedingungen erscheint nur die Gewinnung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser zielführend und praktikabel. Durch die Verwendung von Grauwasser als Brauchwasser wird die Menge des qualitativ hochwertig aufzubereitenden Trinkwassers geringer. Die Trennung von Schwarz- und Grauwasser sowie die Nutzung des gereinigten Grauwassers zur Toilettenspülung und Gartenbewässerung stellt die bevorzugte Alternative dar. Der entstehende Klärschlamm muss behandelt werden, bevor er entsorgt bzw. wieder verwendet werden kann. Für die Klärschlammbehandlung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Klärschlamm kann sehr gut zusammen mit Bioabfall oder Restabfall behandelt werden. Zu berücksichtigen sind allerdings die großen Volumenströme des Klärschlammes infolge des hohen Wassergehalts. Diesem ist ggf. durch technische Entwässerungsmaßnahmen entgegenzuwirken.

Eine definierte Stoffstromauftrennung im Rahmen der Vorzugsalternative wird im Bereich der Abfallbehandlungsverfahren nicht vorgenommen. Die verschiedenen zur Verfügung stehenden technischen Verfahren bedingen unterschiedliche Stoffstromauftrennungen, die im Bereich der einzelnen Varianten untersucht werden.

Die technischen Modulkombinationen umfassen somit die im Rahmen der technischen Betrachtung und Untersuchung festgelegten Stoffströme. Im Einzelnen sind die Ströme „Grundwasser“ und „Oberflächenwasser“ sowie Wasserwerksabwasser für den Bereich der Trinkwasseraufbereitung, „Abwasser“ als komplett gemischtes häusliches Abwasser, die Abwasserströme „Grau- und Schwarzwasser“ sowie die Abwasserströme „Grau-, Braun und Gelbwasser“ aus dem Bereich der Abwassertechnik sowie die Stoffströme „Klärschlamm“, „Bioabfall“ und „Restabfall“ aus dem Bereich der Abfallbehandlung und -entsorgung zu betrachten.

Aufbauend auf dieser Stoffstromsystematik werden nun in einem weiteren Schritt mögliche Aufbereitungs- und Behandlungstechniken und -verfahren für die einzelnen Stoffströme ermittelt und bewertet (vgl. Kapitel 8.3):

- Membranfiltrationsanlagen sind besonders für semizentrale Anlagen geeignet, weil sie variabel auf den sich verändernden spezifischen **Trinkwasser**bedarf angepasst werden können. So kann die Anlage im Laufe der Jahre ohne großen Aufwand erweitert oder auch rückgebaut werden, was sich im Vergleich zu herkömmlichen Techniken positiv in der wirtschaftlichen Gesamtrechnung niederschlägt. Vorteilhaft ist auch die in der Regel gleich bleibende Filtratqualität unabhängig von Rohwasserschwankungen. Die Anlagen besitzen einen

hohen Automatisierungsgrad und eine hohe Betriebssicherheit mit geringen Betriebs- und Chemikalienkosten.

- **Grauwasser** (Abfluss aus Dusche/Bad, Handwaschbecken und Waschmaschinen) wird getrennt vom Schwarzwasser in einer zweiten Leitung abgeführt und zu Brauchwasser aufgereinigt und wieder im Haushalt z.B. als Toiletten-spülwasser verwendet. Dadurch wird der Trinkwasserbedarf im Haushalt um 38% reduziert. Das überschüssige Brauchwasser wird neben dem Toiletten-spülwasser zur Bewässerung, Straßenreinigung usw. weiter eingesetzt. Die Behandlung des Grauwassers wird nur mit einer Kohlenstoffelimination vorge-sehen. Für die Grauwasserbehandlung werden Biofilterverfahren, Membran-belebungsreaktoren und SBR-Reaktoren (Sequencing Batch Reactors) aus-gewählt, da diese Verfahren sehr kompakt sind und keine zusätzliche Nach-klärung nach der biologischen Stufe benötigen.
- **Schwarzwasser** (Abwasser aus Toiletten, Küchen und sonstigen Nutzungen im Haushalt) wird behandelt und in den Vorfluter eingeleitet. Evtl. ist eine Ver-wendung als Bewässerungswasser für städtische Grünflächen möglich. Die Behandlung des Schwarzwassers ist aufgrund der Inhaltstoffe unbedingt mit einer Nährstoffelimination vorzusehen. Daher ist die Behandlungsanlage flä-chenmäßig bedeutend größer als die Anlage zur Grauwasserbehandlung. In der Variantenmodellierung des vorliegenden Forschungsprojektes wurden Biofilter und Membranbelebungsverfahren unter der Berücksichtigung des Platzbedarfs und der Behandlungseffektivität ausgewählt.
- **Klärschlamm** (entsteht sowohl bei der Grauwasserbehandlung als auch bei der Schwarzwasserbehandlung) soll in der Regel in einer Abfallbehandlungs-anlage mit häuslichen Abfällen zusammen behandelt werden.
- Für die Behandlung des **Bioabfalls** (im Falle einer getrennten Sammlung) sind grundsätzlich zwei Behandlungswege möglich: Bei der Kompostierung (aero-be Behandlung) wird ein Teil der organischen Substanz des Bioabfalls durch Sauerstoff atmende Bakterien mittels des Eintrages von Luftsauerstoff abge-baut. Bei der Vergärung (anaerober Abbau) wird die organische Substanz in mehreren Abbauschritten zu Biogas abgebaut. Das entstehende Biogas kann energetisch verwertet werden. Die dabei entstehende Wärme kann sowohl zur Deckung des Eigenenergiebedarfs zur Aufrechterhaltung der Reaktortempera-tur als auch zur Nutzung als Fernwärme dienen.
- Unterschieden werden muss hierbei, ob es sich um **Restabfall** aus getrennter Bioabfallsammlung oder gemeinsamer Sammlung mit folglich hohem organi-schem Anteil handelt. Für die Fraktionen, die einen geringen organischen An-teil aufweisen, ist der Weg der energetischen Verwertung in einem thermi-schen Verfahren am besten geeignet. Dabei ist es einerseits möglich, den Ab-

fall ohne Vorbehandlung in speziell ausgelegten Abfallverbrennungsanlagen zu behandeln, und die freiwerdende Energie zur Stromgewinnung, als Prozesswärme in industriellen Fertigungsprozessen oder als Fernwärme zu nutzen. Dem semizentralen Konzept folgend müssen für diesen Verwertungspfad Abnehmer für die thermische Energie anlagennah vorhanden sein.

Die ausgewählten Einzeltechniken werden zu unterschiedlichen sinnvollen Gesamtsystemen kombiniert (Arbeitspaket 4, vgl. Kapitel 9). Dabei sollen bestehende Schnittstellen und Synergieeffekte möglichst berücksichtigt und ausgenutzt werden. Insgesamt sind 36 sinnvolle Modulkombinationen möglich: Die drei technischen Module der Wasserversorgung „Ultrafiltration – Cross-Flow“, „Ultrafiltration – Dead-End“ und „Nanofiltration“ können mit allen Modulkombinationen der Abwasser- und Abfalltechnik kombiniert werden. Diese setzen sich aus den technischen Modulen „Biofilter MBR bzw. SBR“, „MBR“, „SBR“, „Faulung“ sowie „MBA aerob“ und „MBA anaerob“ zusammen. Insgesamt lassen sich aus diesen Modulen zwölf sinnvolle Kombinationen zusammenstellen. Bei der gemeinsamen aeroben Behandlung von Rest- und Bioabfall ist eine gemeinsame Behandlung der Abfälle mit dem Klärschlamm nicht sinnvoll; hier wird der Klärschlamm separat anaerob stabilisiert.

Die identifizierten Modulkombinationen des Gesamtsystems für die Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie die Abfallentsorgung werden modelliert (Arbeitspaket 5). Im Einzelnen bedeutet dies, die technischen Modulkombinationen auf verschiedene räumliche Bezugsgrößen (Fläche, Einwohner) anzuwenden und ihre Kompatibilität zu ermitteln. So werden ausgehend von verschiedenen Einwohnerzahlen und Entwicklungsflächen die identifizierten Varianten kalkuliert und rechnerisch abgebildet. Dazu werden sowohl ökologische, ökonomische als auch soziokulturelle Auswirkungen der einzelnen technischen Modulkombinationen mittels zuvor festgelegter Kriterien berechnet bzw. abgeschätzt (vgl. Kapitel 10).

Zum einen wird das **Trink- und Brauchwasserverteilnetz** berechnet und zum anderen das Kanalisationssystem bestehend aus einem Grau- und einem Schwarzwasserkanal bemessen. Hinsichtlich des Trink- und Brauchwasserverteilnetzes ergibt sich, dass Rohre mit großen Durchmessern nur bei größeren semizentralen Einheiten erforderlich werden. Bezüglich der Grau- und Schwarzwasserkanalisation liegen die einwohnerspezifischen Kanalisationslängen bei ca. 0,6 m pro Einwohner. Diese geringe spezifische Kanalisationslänge rührt zum einen aus der Betrachtung von Wohngebieten mit einer sehr hohen Einwohnerdichte und zum anderen daher, dass das Ver- und Entsorgungszentrum direkt neben einer Suprazelle liegt, so dass keine

langen Transportsammler zur Grau- bzw. Schwarzwasserreinigungsanlage gebaut werden müssen.

Die fünf Fälle beeinflussen die Größe der **Grau- und Schwarzwasserbehandlungsanlagen** aufgrund der unterschiedlichen Volumenströme. Jedoch unterscheiden sich die spezifischen Reaktorvolumen bei gleichen technischen Varianten in den unterschiedlichen Fällen kaum. Die spezifischen Reaktorvolumen unterscheiden sich wesentlich aufgrund der aeroben Schlammstabilisierung in Abwasserbehandlungsreaktoren. Dadurch, dass die Wasseraufbereitung-, Abwasser- und Abfallbehandlungsanlagen sich auf einem gleichen Gelände befinden, gemeinsam die Hauptverkehrsflächen teilen, wird der Unterschied des Flächenbedarfs von Anlagen zwischen anaerober und aerober Schlammstabilisierung nicht mehr so markant wie in kommunalen Abwasserkläranlagen. Auf Basis der ermittelten Reaktorvolumina werden die Investitions- und Betriebskosten der Behandlungsanlagen ermittelt. Die Grau- und Schwarzwasserbehandlungsanlagen befinden sich mit den Abfallbehandlungsanlagen auf dem gleichen Gelände und teilen sich die Hauptverkehrsflächen, die Labor-einrichtungen sowie das entsprechende Betriebspersonal. Bei der Ermittlung des Platzbedarfs der abwassertechnischen Anlagen werden die benötigten Flächen realmaßstäblich in den betrachteten Fällen und technischen Varianten gezeichnet und vermessen. Bezüglich gemeinsamer Behandlungs-, Betriebs- und Überwachungsarbeiten von Klärschlamm- und Abfallbehandlungsanlagen werden ein gemeinsames Betriebsgebäude sowie ein gemeinsamer Eingangsbereich geschaffen.

Bei der Modellierung der **Abfallsammlung** wird davon ausgegangen, dass auf Basis der zu Grunde liegenden Verkehrsinfrastruktur eine direkte Sammlung mit Pressmüllfahrzeugen möglich ist. Durch die semizentrale Anordnung der Behandlungsanlagen sind Umladestationen auf Grund der kurzen Anfahrtswege zur Abfallbehandlungsanlage nicht erforderlich. Die Abfallsammlung erfolgt im täglichen Abfuhrhythmus. Die erforderliche Sammelstrecke ergibt sich aus der Struktur der Suprazelle. Der Aufwand bei der Sammlung ist unabhängig von der Größe des Modellgebietes, da er nur von der Einwohnerdichte beeinflusst wird. Dagegen ist der Transport zur Behandlungsanlage stark abhängig von der Größe und Form des Modellgebietes. In den kompakten Anordnungen ist der Energieverbrauch aus der Sammlung deutlich niedriger als in den linearen Anordnungen. Die Kosten ergeben sich aus den Anschaffungs- und Betriebskosten für die Sammelfahrzeuge. Personalaufwand und Anzahl der Sammelfahrzeuge ergeben sich aus dem Sammelzeiten und dem Abfuhrhythmus. Der Energieverbrauch kann durch Energiepreise für Diesel monetarisiert werden.

## **12.2 Wesentliche Ergebnisse**

Die **Ergebnisse der Modellierung** bilden die Grundlage für die Bewertung, die im Arbeitspaket 6 erfolgt und sich an den grundsätzlichen Zielen des vorliegenden Forschungsprojektes orientiert. Bewertet wird im Rahmen einer so genannten Nachhaltigkeitsbewertung unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und soziokultureller Aspekte (vgl. Kapitel 11). Durch dieses Vorgehen wird ermittelt, welche **Bezugsgrößen** (Fälle) für die konzipierten Ver- und Entsorgungssysteme am besten geeignet sind (vgl. Kapitel 11.3.1):

Die grundsätzliche Empfehlung für die räumliche Größe der Entwicklungseinheit (Einwohner und Fläche) liegt, basierend auf den bisherigen Ergebnissen und Zielsetzungen, im Bereich

**zwischen 52.000 und 104.000 Einwohnern**  
(d.h. zwischen vier und acht Suprazellen).

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass raumrelevante Faktoren wie z.B. Topographie oder lokale klimatische Verhältnisse in dieser Betrachtung noch nicht berücksichtigt sind. Durch die Integration derselben im Rahmen einer erweiterten Nachhaltigkeitsbewertung im Verlauf des Teilprojekts 2 können sich ggf. noch Verschiebungen ergeben. Des Weiteren lässt sich grundsätzlich feststellen, dass kompakte Entwicklungsgebiete Vorteile gegenüber bandförmigen aufweisen. Absolut betrachtet sind die Unterschiede zwischen den beiden Strukturformen jedoch so schwach ausgeprägt, dass ausschließlich die raumplanerischen bzw. stadtplanerischen sowie die entwicklungstechnischen Notwendigkeiten bei der Entscheidung bzgl. der Form von Entwicklungsgebieten eine vorrangige Stellung einnehmen sollen.

Gleichzeitig wird festgestellt, welche der konzipierten **technischen Modulkombinationen** für angepasste, integrierte, semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für die vorherrschenden Rahmenbedingungen in urbanen Räumen Chinas vorrangig eingesetzt werden sollen (vgl. Kapitel 11.3.2):

Die Nachhaltigkeitsbewertung bestätigt die sinnvolle Vorauswahl der technischen Einzelmodule sowie deren sinnvolle Kombination.

**Alle 36 betrachteten Varianten sind in den empfohlenen räumlichen Bezugsgrößen mindestens mit „gut“ bewertet worden.**

Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten sind nicht festzustellen. Alle untersuchten 36 Varianten können grundsätzlich für den Einsatz in „urbanen Räumen Chinas“ empfohlen werden.

Zur Auswahl der bestmöglichen Variante für einen konkreten Standort müssen **zusätzlich raumrelevante Kriterien herangezogen** und im Rahmen einer zweiten Stufe der Nachhaltigkeitsbewertung bewertet werden. Dies wird im Rahmen des zweiten Teilprojektes in enger Zusammenarbeit mit den chinesischen Partnern vor Ort erfolgen.

Somit erscheint eine abschließende Empfehlung technischer Modulkombinationen für die angepasste, flexible, integrierte, nachhaltige semizentrale Ver- und Entsorgung nicht sinnvoll, ebenso wenig wie ein abschließendes Ranking bezüglich der Modulkombinationen. Vielmehr sind mit diesem Ergebnis alle betrachteten Modulkombinationen grundsätzlich für eine semizentrale Ver- und Entsorgung in schnell wachsenden urbanen Räumen Chinas zu empfehlen. Die tatsächliche Empfehlung einer Variante für einen konkreten Anwendungsfall kann daher nur auf der Basis raumrelevanter Kriterien erfolgen.

## **13 Weiterer Forschungsbedarf**

### ***13.1 Umwelt- und Raumplanung***

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes soll untersucht werden, wie ein **harmonisiertes Planungs- und Genehmigungsverfahren** in Deutschland organisiert sein muss, um integrierte technische Ver- und Entsorgungssysteme planen und implementieren zu können. Es ist zu klären, welche Entscheidungsträger in das Verfahren einzubinden und welche Planungsinstrumente harmonisiert anzuwenden sind.<sup>5</sup> Auf Basis der Erkenntnisse für den deutschen bzw europäischen Planungsraum können entsprechende Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung der Gegebenheiten und Anforderungen sowie der soziokulturellen, ökonomischen und rechtlichen Aspekte für die Volksrepublik China entwickelt werden.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Diese Fragen sollen im Rahmen eines Planspieles in Deutschland aufgegriffen und ein entsprechendes harmonisiertes Planungs- und Genehmigungsverfahren für ein integriertes semizentrales Ver- und Entsorgungssystem simuliert werden. Für detaillierte Information s. Kapitel 3.2.2.

<sup>6</sup> Die in Deutschland entwickelten Ideen / Konzepte sollen im Rahmen eines Planspieles in China aufgegriffen und ein an chinesische Rahmenbedingungen angepasstes integriertes Planungs- und Genehmigungsverfahren für ein integriertes semizentrales Ver- und Entsorgungssystem simuliert werden. Für detaillierte Information s. Kapitel 3.2.2.



Es ist zu erwarten, dass sich hieraus im Betrieb integrierter Anlagen ebenso wie im Bereich der Gebührenerhebung Unterschiede zu konventionellen Systemen ergeben. Um diese Erwartung bestätigen oder widerlegen zu können, wird im Rahmen des beantragten Forschungsprojektes untersucht, welche **Realisierungs- und Betriebsmöglichkeiten** sowie welche **Gebührenmodelle** für die integrierten Ver- und Entsorgungssysteme sinnvoll eingesetzt werden können.

Wie bereits im Rahmen von Teilprojekt 1 erfolgt, ist hierfür eine intensive und enge **Zusammenarbeit mit den chinesischen Projektpartnern** und lokalen Experten der Volksrepublik China vorgesehen. Dies ist wichtig, um Antworten finden und Empfehlungen aussprechen zu können, welche die regionalen Gegebenheiten und Anforderungen vor Ort, v. a. aber die soziokulturellen, ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen der Volksrepublik China berücksichtigen.<sup>7</sup>

### **13.2 Wasserversorgung**

In Teilprojekt 2 soll eine Ultrafiltrationsanlage mit einem getauchten Plattenmodul in China getestet werden. Die chinesischen Kollegen werden dabei Randbedingungen dokumentieren und die Rückspülfrequenz nach Bedarf einstellen. Auch eine ständige Trübungsüberwachung zur Sicherstellung der Permeatqualität ist unerlässlich. Es wird sich zeigen, wie stark auftretende Foulingprobleme den Betrieb der Anlage einschränken und ob chemisch gereinigt werden muss. Untersuchungen des Konzentrates sind wichtig, um die ursächlichen Foulingbestandteile zu definieren. Eine entsprechende Anpassung der Vorreinigung an die Erfordernisse der Anlage kann dementsprechend erfolgen.

Die Erforschung an der deutschen Anlage, dem „Ultraschalleinsatz zur chemikalienfreien Reinigung der Membran und zur Verbesserung des Flux bei der Oberflächenwasseraufbereitung zu Trinkwasser“ wird zeigen, ob dies eine sinnvolle Form der Membranreinigung sein kann und der Einsatz in China Erfolg verspricht.

Dazu wird in Deutschland eine 2-straßige Versuchsanlage aufgebaut und mit Rheinwasser betrieben. Bei der einen Straße wird das getauchte Modul mit Ultraschall und Luft gereinigt, bei der zweiten Straße wird bei der Rückspülung nur Luft eingesetzt.

---

<sup>7</sup> Für eine detaillierte Erläuterung s. Kapitel 3.2.2.

Die Beschallung wird zum einen während der Rückspülung vorgenommen, zum anderen als zweite Option während des Filtrationsprozesses eingesetzt. Getestet werden sollen verschiedene Frequenzen und verschiedene Beschallungsdauern. Festzustellen ist, ob während des Filtrationsprozesses bei gleich bleibender Trennleistung der Membran der Flux dauerhaft erhöht werden kann und/oder ob es möglich ist dadurch Verblockungen in ihrer Entstehung zu unterbinden.

Eine wichtige Aufgabe ist die Sicherstellung der Integrität der Membran bei unterschiedlicher Beschallung, denn durch Kavitation kann die Membran auch zerstört werden. Daher wird eine empfindliche Partikelzählung installiert, die während des Filtrations- und Beschallungsprozesses das Permeat online überwacht.

Weiterhin wird der Energieeinsatz bei der Beschallung ermittelt. Der Energieeinsatz muss immer in einem sinnvollen Verhältnis zum erfolgten Reinigungsergebnis stehen. Daher muss der Einsatz aufzuwendender Energie dokumentiert werden. Beim Vergleich müssen sämtliche Kosten beachtet werden, z.B. auch Umweltkosten, die bei ansonsten auftretenden Foulingproblemen entstehen würden. Dabei kann sich an Untersuchungen von Flemming [Flemming, H.-C. et al. 1995] orientiert werden.

### **13.3 Abwassertechnik**

Die Forschung im Teilprojekt 2 im Bereich der Abwassertechnik fokussiert sich auf die Grauwasserbehandlung zur Erzeugung von Brauchwasser. Im Hinblick auf die Verfahrenstechniken werden fünf unterschiedliche Verfahren zur Grauwasserbehandlung unter definierten Randbedingungen untersucht. Dabei handelt es sich um einen kontinuierlichen biologischen Sandfilter mit anschließender UV-Desinfektion, um eine physikalisch-chemische Reinigung durch eine Filtration mittels Keramikmembranen, um zwei Membranbelevungsverfahren mit verschiedenen Membranmodulen (Platten-, Hohlfasermodule) und um einen Sequencing Batch Reaktor (SBR), ebenfalls mit anschließender Desinfektion. Alle Verfahren zeichnen sich durch ihre kompakte Bauweise aus und erfüllen somit die Anforderung an den geringen Flächenverbrauch. Diese fünf Verfahren werden in Deutschland hauptsächlich zur Reinigung von kommunalen Abwässern eingesetzt. Die vorhandenen Erfahrungen und Reinigungsleistungen sind auf die Grauwasserreinigung nicht direkt übertragbar. Insbesondere sollen die Auswirkungen der erhöhten Tensidkonzentrationen im Grauwasser im Vergleich zu kommunalem Abwasser untersucht werden.

Die Grauwasserreinigung mittels Membranfiltration stellt ein kompaktes Verfahren dar. Keramische Membranen werden bisher nicht als reine physikalisch-chemische

Reinigungsstufe zur Grauwasserbehandlung eingesetzt, sodass auch hier noch keine Aussagen über das Foulingverhalten und die Standzeiten der Membranen möglich sind. Durch die Filtration mittels der Membran werden zum einen organische Inhaltsstoffe und zum anderen Bakterien und teilweise auch Viren zurückgehalten, sodass für die in China notwendige Sicherheitschlorung geringere Chlormengen ausreichend sind.

Die Membranbelebungsanlage zeichnet sich ebenfalls durch ihre kompakte Bauform aus. Zur Reinigung bzw. Abtrennung der Feststoffe können verschiedene Membranmodule (Platten-, Hohlfasermodule) eingesetzt werden. Membranbelebungsanlagen werden derzeit zur Reinigung von kommunalem und industriellem Abwasser eingesetzt, sodass keinerlei Erkenntnisse in Bezug auf ihre Eignung zur Grauwasserreinigung vorliegen. Die Anpassung des Verfahrens an Grauwasserhältnisse mit einem relativ hohen Anteil tensidhaltiger Substanzen und einem relativ geringen Anteil an Stickstoffverbindungen erfolgt im Rahmen des hier bearbeiteten Forschungsprojektes.

Im Vergleich zu Membranverfahren und Biofilterverfahren ist das SBR-Verfahren ein robustes Verfahren in einer relativ kompakten Bauform. Das SBR-Verfahren wird in Deutschland häufig und erfolgreich im Rahmen von kleineren Abwasserbehandlungsanlagen eingesetzt. Dieses Verfahren ist jedoch noch nicht zur Reinigung von Grauwasser eingesetzt worden, so dass hier keine Erkenntnisse in Bezug auf Reinigungsleistung und Sauerstoffübergang (insbesondere vor dem Aspekt der erhöhten Tensid-Gehalte) vorliegen. Die Anpassung des Verfahrens auf die Grauwasserhältnisse (hoher Anteil tensidhaltiger Substanzen, relativ geringer Anteil an Stickstoffverbindungen) erfolgt im Rahmen des hier beantragten Forschungsprojektes.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen die oben beschriebenen Reinigungsverfahren im halbtechnischen Maßstab parallel unter verschiedenen Betriebsbedingungen betrieben und im Hinblick auf ihre Reinigungsleistung untersucht werden. Somit soll ihre Eignung für den Einsatz zur Reinigung von Grauwasser in semizentralen Einheiten für innerstädtische Räume Chinas untersucht und beurteilt werden. Ziel ist es, jeweils die Verfahren zu optimieren und anhand der Ergebnisse das effizienteste Verfahren für eine möglichst allgemeine Umsetzung auszuwählen.

#### **13.4 Abfalltechnik**

Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen ist die Anwendbarkeit der gewählten Verfahren für die chinesischen Randbedingungen zu verifizieren. Hierzu sind detail-

liertere Kenntnisse über die Abfallzusammensetzung, als sie in der ersten Projektphase durch theoretische Betrachtungen ermittelt werden konnten, von Nöten. Daher ist es unabdingbar eine umfangreiche Sortieranalyse in Gebieten durchzuführen, die zu den gewählten Projektgebieten vergleichbar sind. Dabei sind sowohl die Abfallzusammensetzung an sich, als auch chemisch-physikalische Parameter des Abfalls zu erheben. Zur Überprüfung der Eignung des Materials zur anaeroben Abfallbehandlung eignen sich Extraktionsversuche im vergrößerten Labormaßstab.

Forschungsbedarf besteht insbesondere im Bereich der Anaerobtechnik. Aerobe Behandlungsverfahren haben ihre Eignung für die Rahmenbedingungen chinesischer Städte schon bewiesen. Daher ist, basierend auf den Voruntersuchungen, die Eignung der unter deutschen Rahmenbedingungen erprobten Anaerobtechnik für die ermittelten Abfallparameter zu überprüfen.

Des Weiteren ist es sinnvoll den innovativen Ansatz zur Erweiterung der Palette potenzieller Produkte aus der Abfallbehandlung, die Erzeugung von Milchsäure als Grundstoff für die chemische Industrie, weiter zu verfolgen. Auch diese Eignung muss unter den Rahmenbedingungen aus den Vorversuchen in China nachgewiesen werden, da hierzu noch keine Untersuchungen vorliegen.

#### **14 Voraussichtlicher Nutzen der Projektergebnisse: Fortsetzung und Erprobung der entwickelten Handlungsansätze und Verfahrensschritte im Rahmen des Teilprojektes 2**

In Teilprojekt 1 ist auf theoretisch, wissenschaftlicher Basis die Eignung semizentraler Ver- und Entsorgungssysteme für die Verhältnisse urbaner Räume in China nachgewiesen worden. Potenzielle Synergieeffekte zwischen den verschiedenen Behandlungs- und Verfahrensschritten wurden aufgezeigt. Diese Ergebnisse stützen den in Teilprojekt 2 folgenden Schritt der praktischen Untersuchung der Eignung der gewählten Verfahren.

Durch die Ermittlung einer Größenordnung, die für ein semizentrales Ver- und Entsorgungssystem bestmögliche Rahmenbedingungen bietet (vgl. Kap. 12), ist – in Kombination mit dem Nachweis der technischen Eignung in Teilprojekt 2 – die Grundlage für eine großtechnische Implementierung eines solchen Systems in einem Modellgebiet gelegt.

## 15 Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt bzgl. Projektgegenstand bei anderen Stellen

Während der Durchführung des Projektes wurden keine für den spezifischen Forschungsgegenstand relevanten Ergebnisse bekannt.

### Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

- **Cornel, Weber, Böhm, Bieker, Selz (2004):** Semizentrale Wasserver- und –entsorgungssysteme – eine Voraussetzung zur innerstädtischen Wasserwiederverwendung? In: Verein zur Förderung des Instituts WAR (Hrsg.): Wasserwiederverwendung – eine ökologische und ökonomische Notwendigkeit wasserwirtschaftlicher Planung weltweit?, WAR Schriftenreihe Band 159; Darmstadt 2004
- **Selz, Bieker, Böhm (2005):** Semi-Central Infrastructure Systems – A Solution for Urban Resource Management? In: Dokumentation zum 7th World Congress on Recovery, Recycling and Re- integration in Beijing, China vom 25. bis 29. September 2005; Beijing 2005
- **Weber, Bieker, Selz, Cornel, Böhm (2006):** Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme – ein Erfolgsfaktor für wachsende und schrumpfende Regionen gleichermaßen?. In: Agglomerationen – Situation und Perspektiven, 8. Junges Forum der ARL, 01. – 03. Juni 2005 in Gelsenkirchen; bisher unveröffentlicht
- **Böhm, Bieker, Selz (2005):** Dokumentation und Ergebnisse des Expertenworkshops Planungs- und Zulassungsverfahren für angepasste, integrierte, semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme, 23. und 24. November 2005 in Darmstadt; bisher unveröffentlicht
- **Cornel, Weber (2005):** Semi-centralized Supply and Treatment Systems for (fast growing) Urban Areas, Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability (WRRS2005)”, Jeju, Korea Nov. 8 - 11, 2005
- **Wagner, Cornel, Chang, Weber (2005):** City planning – sanitation systems in future cities, Japanese-German Anniversary Symposium on Sewerage Technological Exchange, Tokyo, Japan, Nov. 8 - 11, 2005

## Literatur

- AKWA 2100, 2002  
AKWA 2100: Alternativen der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung, Leitprojekt der WestLB-Stiftung Zukunft NRW – Projektbeschreibung, unter: [www.akwa-2100.fhg.de/](http://www.akwa-2100.fhg.de/), Stand 30.07.2002
- Albold, A. 2001  
Erfahrungen mit neuen Wegen der Abwassertrennung und Behandlung, Beitrag auf dem ATV-DVWK Seminar: Nachhaltigkeit bei der Abwasserbeseitigung Erfahrungen mit neuen Wegen der Abwassertrennung und Behandlung Emmelshausen 30.10.2001, OtterWasser GmbH
- Architekten 24, 2005  
1. Preis im städtebaulichen Wettbewerb; online-issue of 12.9.2005
- ATV-DVWK, 2002  
Überlegungen zu einer nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft, ATV-DVWK-Arbeitsbericht, ATV-DVWK-Arbeitsgruppe GB-5.1 „Nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft“, Januar 2002, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V. Hennef
- ATV, 1994  
ATV-Handbuch, Planung der Kanalisation, 4. Auflage, Ernst und Sohn, Berlin 1994
- ATV, 1995  
ATV-Handbuch, Bau und Betrieb der Kanalisation, 4. Auflage, Ernst und Sohn, Berlin, 1995
- ATV Merkblatt, 1997  
ATV Regelwerk, Merkblatt ATV – M 210 Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb, Abwassertechnische Vereinigung e.V., Hennef, September 1997
- ATV Arbeitsblatt, 2000  
ATV-DVWK Regelwerk, Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131, Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, GFA Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef, Mai 2000
- ATV Arbeitsbericht, 2001  
ATV-DVWK Arbeitsbericht, Biofilter zur Abwasserreinigung, GFA Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef, März 2000

- ATV Kommentar, 2001  
ATV-DVWK Kommentar zum ATV-DVWK Regelwerk, Bemessung von Belebungs- und SBR-Anlagen, Rolf Kayser, Braunschweig, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2001
- Barjenbruch, M. 1997  
Leistungsfähigkeit und Kosten von Filtern in der kommunalen Abwasserreinigung, ISAH, Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover; Hannover, 1997
- Baugeräteliste BGL, 2001  
technisch-wissenschaftliche Baumaschinendaten, Bauverlag, Gütersloh, 2001
- Bechmann, A. 1978  
Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung, Bern, Stuttgart
- Bidlingmaier, W. 2000  
Biologische Abfallverwertung, Ulmer Verlag, Stuttgart (Hohenheim), 2000
- Bilitewski, B. 2000  
Abfallwirtschaft, Handbuch für Praxis und Lehre, Springer Verlag, Berlin, 2000
- Bringezu, S. 1998  
Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserbehandlungssysteme mit den Mitteln der Stoffflussanalyse, in: Dezentrale Abwasserbehandlung für ländliche und urbane Gebiete, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft, TU München Band 138 S. 15-25
- Bullermann, L.; Mehlhart, K., 2001  
Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke, Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchungen, Schriftenreihe fbr 7
- Chapman, G.P.; Dutt, A.K.; Bradnock, R.W. 1999  
Urban Growth and Development in Asia, Vol. 1: Making the Cities, Aldershot, Burlington, Singapore, Sidney
- Chichorowski, G.; Michel, B.; Zorn, D. 1986  
Möglichkeiten der Trinkwassereinsparung in Haushalten, Kleingewerbe und öffentlichen Einrichtungen, Studie im Auftrag des Hessischen Umweltministeriums, Wiesbaden, Darmstadt
- Chinanews, 2001  
Brauchwasser entspannt den Durst von Beijing, [www.chinanews.com.cn](http://www.chinanews.com.cn), Stand 2001

- Cornel, P.; Weber, B.; Böhm, H.-R.; Bieker, S.; Selz, A. 2004  
Semizentrale Wasserver- und –entsorgungssysteme – eine Voraussetzung zur innerstädtischen Wasserwiederverwendung? In: Verein zur Förderung des Instituts WAR (Hrsg.): Wasserwiederverwendung – eine ökologische und ökonomische Notwendigkeit wasserwirtschaftlicher Planung weltweit?, WAR Schriftenreihe Band 159; Darmstadt 2004
- Cornel, P.; Weber, B. 2005  
Semi-centralized Supply and Treatment Systems for (fast growing) Urban Areas, Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability (WRRS2005)", Jeju, Korea Nov. 8 - 11, 2005
- Eder, M.; Döberl, G.; Huber, R.; Brunner, P. H., 2002  
Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen anhand von Stoffflussanalysen, in: Technikfolgenabschätzung", Nr. 1 / 11, S. 32-41
- Flemming, H.-C.; Amano, S. 1995  
Biofouling bei Membranprozessen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Fraunhofer, 2004  
Tagungsband, 9 Kolloquium zur kommunalen Abwasser- und Abfallbehandlung „Technologie im Zukunft, Fraunhofer IGB, Stuttgart, 1. Apr. 2004
- Fraunhofer, 2005  
Tagungsband, 10 Kolloquium zur kommunalen Abwasser- und Abfallbehandlung, Fraunhofer IGB, Stuttgart, 14. Apr. 2005
- Fraunhofer, 2006  
Tagungsband, 11 Kolloquium zur kommunalen Abwasser- und Abfallbehandlung, Fraunhofer IGB, Stuttgart, 5. Apr. 2006
- GB 3838-2002  
Environmental quality standards for surface water, State of Environmental Protection Administration of China, Juni 2002
- GB 50336-2002  
Code for design of building reclaimed water system, Ministerium für Bauwesen, 2002
- Gimbel, R.; Hagemeyer, G., 2003  
Anforderungen an die Membrantechnik in der Trinkwasseraufbereitung, Membrantechnik 5, 5. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik.



- Günthert, W.; Reicherter, 2001  
Investitionskosten der Abwasserentsorgung, in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen, Oldenburg Industrieverlag, München 2001
- Hahn, E. 1983  
Umweltbewußte Siedlungspolitik in China, Frankfurt/Main : Campus-Verlag, Frankfurt/Main, 1983
- Horsch, H.; Ring, I.; Herzog, F., 2001  
Nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Landnutzung, Methoden und Instrumente der Entscheidungsfindung und Umsetzung, Marburg
- MüllHandbuch 2005  
Loseblattsammlung, Schmidt-Verlag, Berlin 2005
- Ipsen, D.; Chichorowski, G.; Schramm, E., 1998  
Wasserkultur – Beiträge zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung, Berlin
- Ju, J., 1998  
A primary integration matrices approach to sustainability oriented land use planning in China, IREUS Research Report No. 20, Stuttgart
- Jung, H.; Ertl, T., 1998  
Methodik zur mehrdimensionalen Bewertung der künftigen Trinkwasserversorgungsstrukturen in Oberösterreich, in: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 11/12 1998
- LAWA Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 1998  
Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, Berlin
- Lens, P.; Zeeman, G.; Lettinga, G., 2001  
Decentralised Sanitation and Reuse –Concepts, Systems and Implementation, IWA Publishing 2001
- Leonhard, K.; Thudt, K. 2004  
Wasseraufbereitung in Rezirkulationsduschen für Flugzeuge – Entwicklung eines Verfahrens zur Duschabwasseraufbereitung, 32. Abwassertechnisches Seminar, Bericht aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Technische Universität München, Garching, 2004
- Lo, F.; Yeung, Y. (eds.), 1996  
Emerging world cities in Pacific Asia, Tokyo

- Londong, J. 2000  
Strategien für die Siedlungsentwässerung, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2000 (47), Nr. 10, S. 1434-1443
- Lü, J.; Rowe, P. G.; Jie, Z. (eds.), 2001  
Modern Urban Housing in China 1840-2000, Munich, London, New York
- Maus, H.; Schröder, M. 2000  
Entscheidungsfindung zur zentralen und dezentralen Abwasserentsorgung im ländlichen Raum, aus: KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Jahrgang 47, Nr. 10, S. 1427-1433, 2000
- Melin, T., 2005  
Perspektiven für den Einsatz der Membrantechnik in der Aufbereitung und Erschließung von Wasserressourcen, in Membrantechnik, 6. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik, Aachen 2005
- Melin, T.; Pinnekamp, J.; Dohmann, M., 2005  
Membrantechnik in der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung - Perspektiven, Neuentwicklungen und Betriebserfahrungen im In- und Ausland, Membrantechnik 6, 6. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik, Aachen 2005
- Melin, T.; Rautenbach, R. 2004  
Membranverfahren - Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung, Springer Verlag, Berlin, 2004
- Melin, T.; Dohmann, M., 2003  
Membrantechnik in der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung - Perspektiven, Neuentwicklungen und Betriebserfahrungen im In- und Ausland, Membrantechnik 5, 5. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik, Aachen 2003
- Melin, T.; Dohmann, M., 2001  
Membrantechnik in der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung - Perspektiven, Neuentwicklungen und Betriebserfahrungen im In- und Ausland, Membrantechnik 4, 4. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik, Aachen 2001
- Messner, F.; Drechsler, M., 2001  
Monetäre versus multikriterielle Bewertung, in: Horsch, H.; Ring, I.; Herzog, F., Nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Landnutzung, Methoden und Instrumente der Entscheidungsfindung und Umsetzung, Marburg

- Mutschmann, J.; Stimmelmayer, F., 2002  
Taschenbuch der Wasserversorgung, 13. Auflage, Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 2002.
- NBSC, 2004  
Statistischer Jahresbericht 2004, National Bureau of Statistics of China, Beijing, 2004
- Oldenburg, M.; Otterpohl, R., 1997  
Möglichkeiten der dezentralen und semizentralen Abwasserbehandlung, aus Schriftenreihe Wasserforschung 2, 1997, IFV, Wasserforschung e.V.
- Paris, S.; Wilderer, P. A. , 2002  
Integrierte Ver- und Entsorgungskonzepte im internationalen Vergleich, in: GWA 188, 35. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft vom 20.03 – 22.03.2002 in Essen Teil 1
- Prager, J.; Hiessl, H., 2002  
Kosten-Nutzen-Vergleich alternativer Wasserinfrastrukturkonzepte im Projekt AKWA 2100 in: GWA 188, 35. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft vom 20.03 – 22.03.2002 in Essen Teil 1
- Projektpartner, 2004  
Datenblätter sowie Projektdaten, die während des Datenerhebungsaufenthalts 2004 in China von chinesischen Projektpartnern zusammengestellt wurden.
- Rautenbach, R.; Melin, T.; Dohmann, M., 1998  
Membrantechnik in der öffentlichen Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung – Bemessung, Umsetzung, Kosten -, Membrantechnik 2, 2. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik, Aachen 1998
- Reicherter, E. 2003:  
Untersuchungen zu Kennzahlen als Grundlage für Kostenbetrachtungen in der Abwasserentsorgung, Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen, Mitteilungen Heft 84/2003, Kommissionsverlag Oldenburg Industrie-Verlag GmbH, München 2003
- Reuß, A. 2003:  
Mit Nachhaltigkeitsindikatoren die Flächennutzungsplanung steuern. Eine indikatorenbasierte Nachhaltigkeitsprüfung könnte ein Instrument zur Umsetzung der Leitvorstellung „nachhaltige Raumentwicklung“ sein, Raumforschung und Raumordnung, Heft 6/2003, Carl Heymanns Verlag, Köln 2003

- Rohde, C.; Steinberg, I.; Jager, J. 2005  
Environmental Impact Assessment in: Abele E, Anderl R, Birkhofer H (eds.)  
Environmentall-Friendly Product Development – Methods and Tools. Springer,  
Berlin, 2005
- Rose, F.C. 1999  
Consideration of Urban Development Paths and Processes in China since  
1978, with special reference to Shanghai, in: Chapman, G.P., Dutt, A.K. et al.,  
Urban Growth and Development in Asia, Vol. 1: Making the Cities, Aldershot,  
Burlington, Singapore, Sydney
- Sasse, L. 1998  
DEWATS – Dezentrale Abwasserreinigung in Entwicklungsländern, Borda  
Publikation, Druckerei Verwohlt, Bremen 1998
- Scheffold, K. 1995  
Bewertung von Abfallbehandlungsanlagen durch Umweltbilanzen, Müll und  
Abfall 3 S. 181-185
- Selzer, N., Peters, T. (2005):  
Ultrafiltration in der Trinkwasseraufbereitung - Einsatzgebiete und Entwick-  
lungstendenzen, in Membrantechnik, 6. Aachener Tagung Siedlungswasser-  
wirtschaft und Verfahrenstechnik, Aachen 2005
- SEPA China, 2004  
Nationaler Jahresbericht 2004 über den Umweltzustand in China, State of En-  
vironmental Protection Administration of China, Stand Juni 2005.
- SMEDI, 2004  
Gespräch mit Shanghai Municipal Engineering Design Institute (SMEDI) wäh-  
rend des Forschungsaufenthalts in Shanghai, 2004
- SPC (State Planning Commission), SSTC (State Science and Technology  
Commission), 1994  
China's Agenda 21 – White Paper on China's Population, Environment and  
Development in the 21st Century, Beijing
- Speer, A., Kornmann, S., 2001  
Nachhaltiger Städtebau im dynamischen Entwicklungsprozess der Metropole  
Shanghai, in: Informationen zur Raumentwicklung Heft 4/5 2001, S. 227-240

- Sternfeld, E. 1997  
Beijing: Stadtentwicklung und Wasserwirtschaft, Sozioökonomische und ökonomische Aspekte der Wasserkrise und Handlungsperspektiven, Berlin
- Taubmann, W. 1999  
Stadtentwicklung in der VR China – geschlossene und offene Phasen der Urbanisierung, in: Raumforschung und Raumordnung, 2/3, 182-190
- Wasserforschung e.V. Interdisziplinärer Forschungsverbund Berlin (Hrsg.), 2001  
Leitfaden Wasser, Nachhaltige Wasserwirtschaft, Ein Weg zur Entscheidungsfindung
- Wilderer, P. (Hrsg.), 2001  
DESAR Kleine Kläranlagen und Wasserwiederverwendung, 30. Abwassertechnisches Seminar, 13. DECHEMA-Fachgespräch Umweltschutz, Berichte aus der Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Technische Universität München, Berichtsheft Nr. 161, 2001
- Wilhelm, C., 2001  
Regenwassernutzung und Grauwasser-Recycling als Bestandteil einer nachhaltigen Stadtentwässerung in Beijing, aus: Tagungsband zur Konferenz der Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung „Regenwassernutzung und –bewirtschaftung im internationalen Kontext“, Mannheim, 2001
- Xu, J.; Ng, Mee Kam, 1998  
Socialist urban planning in transition, The case of Guangzhou, China, in: Third World Planning Review, 20 (1)
- Zetschmar-Lahl, B. et al, 2000  
Mechanisch-biologische Abfallbehandlung in Europa / Verband der Kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V. (VKS) in Verbindung mit der Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung (ASA) (Hrsg.). Parey Verlag, Berlin, 2000



## **Teil III Erfolgskontrollbericht**

---

### **Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen des Förderprogramms**

Dieses Projekt wurde im Rahmen der Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Thema "Dezentrale Wasserver- und -entsorgungssysteme" im Programm der Bundesregierung "Forschung für die Umwelt" gefördert. In der Ausschreibung dieses Programms wird beschrieben, dass der zukünftige Wasserbedarf nicht mehr durch die alleinige Ausbeutung natürlicher Ressourcen gedeckt werden kann. Er muss vor allem durch Änderung entsprechender Verhaltensweisen im Umgang mit Wasser sowie durch neue technologische Ansätze in der Ver- und Entsorgung sowie im Wassermanagement abgedeckt werden. Weiterhin sollen die neuen Ansätze dazu beitragen, Stoff- und Wasserströme zu reduzieren und vor allem zu entkoppeln. „Ziel der BMBF-Bekanntmachung ist die Förderung von innovativen FuE-Vorhaben, die zu Gesamtkonzepten für eine dezentrale Wasserver- und Entsorgung unterschiedlicher Siedlungsstrukturen und Nutzungstypen im In- und Ausland führen. Der Begriff "Ver- und Entsorgung" ist dabei im Sinne eines integralen Ansatzes nicht allein auf den Wasserbereich beschränkt, sondern kann auch die Abfallverwertung und -entsorgung und die damit verbundene Energienutzung (z.B. Biogas) berücksichtigen, unter Einbeziehung ökonomischer und ökologischer Aspekte.“

Das Projekt „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas, Teilprojekt 1“ erfüllt das oben dargestellte Ziel. Es wurden Varianten entwickelt, die nicht nur den Wassersektor im Fokus der Betrachtung haben, sondern gleichzeitig auch die Abfallentsorgung berücksichtigen. Durch die Entwicklung von semizentralen Ver- und Entsorgungszentren, entsprechend der Untersuchungen innerhalb dieses Projektes (vgl. Kapitel 6.4) können autarke technische Systeme geschaffen werden, die einzelne Stadtteile energieeffizient ver- und entsorgen und die einen nachhaltigen Umgang mit Wasser fördern.

### **Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen**

Durch das Projekt „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas“ konnte ermittelt werden, dass für die untersuchten Varianten von Ver- und Entsorgungssystemen eine geeignete Größenordnung existiert (vgl. Kapitel 11). Wei-

terhin konnte im Rahmen der Bestandsaufnahme bei verschiedenen chinesischen Entscheidungsträgern das Interesse an nachhaltigen integrierten Ver- und Entsorgungssystemen geweckt werden.

## **Fortschreibung des Verwertungsplans**

- Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte  
Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas, Teilprojekt 1“ wurden weder Erfindungen nach Schutzrechte angemeldet. Dies könnte jedoch im Rahmen des Projektes „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas, Teilprojekt 2“, in dem verschiedene Anlagen pilotiert werden, erfolgen
- Wirtschaftliche Erfolgsaussichten  
Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten sollten nur gemeinsam mit der Bearbeitung des Teilprojektes 2 betrachtet werden. Dieses Projekt hat eine Laufzeit bis Anfang 2007. Jedoch muss ergänzt werden, dass einige chinesische Entscheidungsträger bereits jetzt Interesse an den Ergebnissen und Umsetzung des Gesamtprojektes bekundet haben.
- Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten  
Die veröffentlichten Ergebnisse können im Rahmen von Planungen chinesischer Stadterweiterungen genutzt werden. Hier seien zum einen deutsche Architekturbüros, die für China Wohnsiedlungen entwerfen, genannt. Diese können die Projektergebnisse über ihre Auftraggeber umsetzen. Weiterhin besteht nach Abschluss von Teilprojekt 2 die Möglichkeit, dass die dort erprobten technischen Systeme ihren Einsatz zur Ver- und Entsorgung von entsprechenden Wohnsiedlungen in China finden; hier seien vor allen die deutschen Projektpartner des Teilprojektes 2 genannt.
- Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit  
Die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ist vor allem durch die Weiterentwicklung von technologischen Komponenten in der Projektphase 2 geben. Hier werden durch den Bau von Pilotanlagen und der Durchführung von Versuchung die Techniken für die semizentralen Ver- und Entsorgungssysteme angepasst und optimiert. Hierfür wurde eine enge Zusammenarbeit mit Unternehmen aus dem Bereich der Ausrüstung von Abwasserbehandlungsanlagen realisiert.



## **Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas, Teilprojekt 1“ sind keine Punkte, die zu keiner Lösung geführt haben, bearbeitet worden.

## **Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Das Institut WAR hat für das Projekt eine eigene Homepage <http://www.semizentral.de> bzw. <http://www.semicentralized.net> eingerichtet, mit der sich interessierte Nutzer über die Projektergebnisse informieren und die jeweiligen Ansprechpartner kontaktieren können

## **Ausgaben- und Zeitplanung**

Die Ausgaben und der Zeitplan wurden entsprechend den Angaben in der Antragstellung eingehalten.



## Anhang

---

- A - 1: Betrachtung zur potenziellen Regenwassernutzung Binhai Garden (Qingdao)
- A - 2: Bemessung der Ableitungskanäle – gesamte Länge der Schwarzwasserkanalisation
- A - 3: Bemessung der Ableitungskanäle – gesamte Länge der Grauwasserkanalisation
- A - 4: Investitionskosten der Kanalisation
- A - 5: Ökonomische Betrachtung abwassertechnischer Verfahrensmodule
- A - 6: Jahreskosten der Verfahrenskombinationen der abwassertechnischen Varianten
- A - 7: Schematische Darstellung des Platzbedarfs der abwassertechnischen Anlagen der Fälle 1 und 5
- A - 8: Reaktorvolumina Abfallbehandlung
- A - 9: Schematische Darstellung der Abfallbehandlung
- A - 10: Zusammenführung der Bewertung dreier technischer Disziplinen im Rahmen der angewendeten Nutzwertanalyse
- A - 11: Jahreskosten der technischen Varianten der Wasserversorgung
- A - 12: Ranking der kostengünstigsten 12 Varianten
- A - 13: Ranking der teuersten 12 Varianten
- A - 14: Reduktion der Jahreskosten durch Synergienutzungen beim Personaleinsatz (Variante 6)
- A - 15: Ergebnisse der ökologischen Bewertung im Überblick
- A - 16: Ergebnisse der ökologischen Bewertung gemittelt über die Varianten
- A - 17: Ergebnisse der soziokulturellen Bewertung im Überblick
- A - 18: Ergebnisse der soziokulturellen Bewertung gemittelt über die Varianten
- A - 19: Ergebnisse der ökonomischen Bewertung im Überblick
- A - 20: Platzbedarf der Wasseraufbereitungsanlagen
- A - 21: Stoffströme Wasserversorgung
- A - 22: ökologische Bewertung der Wasserversorgung im Gesamtsystem
- A - 23: soziokulturelle Bewertung der Wasserversorgung im Gesamtsystem
- A - 24: Investitionskosten für Rohrnetz, Pumpwerk und Speicher

- A - 25: Investitionskosten für Rohrnetz (Trinkwasser (TW), Brauchwasser (BW)), sowie Speicher und Pumpwerk in [€/E]
- A - 26: Investitionskosten bei den unterschiedlichen Membranverfahren in [€/E]
- A - 27: Gegenüberstellung der Investitionskosten gesamt und der Betriebskosten pro Jahr bei den einzelnen Techniken zur Wasserversorgung
- A - 28: Betriebskosten der verschiedenen Membranverfahren in [€/(E•a)] bei der Wasserversorgung
- A - 29: spezifische Kosten der Versorgungsnetze in [€/E]
- A - 30: ökologische Bewertung der Abwassertechnik im Gesamtsystem
- A - 31: soziokulturelle Bewertung der Abwassertechnik im Gesamtsystem
- A - 32: Transportenergie bei getrennter Bio- und Restabfallsammlung
- A - 33: Transportenergie bei gemeinsamer Bio- und Restabfallsammlung
- A - 34: ökologische Bewertung der Abfalltechnik im Gesamtsystem
- A - 35: soziokulturelle Bewertung der Abfalltechnik im Gesamtsystem
- A - 36: Absolute Investitions-, Betriebs- und Personalkosten Abfallbehandlung

## **A - 1: Betrachtung zur potenziellen Regenwassernutzung Binhai Garden (Qingdao)**

Durchschnittlicher Jahresniederschlag:

775,6 mm (Maximum: 308 mm, Maximum: 1.272,7 mm)

Dachflächen: 50.809 m<sup>2</sup>

Toilettenspülung pro Tag: 33,4l pro Person

Bewässerung der Grünfläche: 6,7l pro Person

berechnete gesammelte Wassermenge:

$0,7756 \text{ m}^3 \times 50.809 \text{ m}^2 = \underline{39.410 \text{ m}^3}$

Berechnung der Toilettenspülung:

$33,4l \times 11.000 \text{ EW} = 367.400l \text{ pro Tag}$

$367,4 \text{ m}^3 \times 365 \text{ Tage} = \underline{134.101 \text{ m}^3} \text{ im Jahr}$

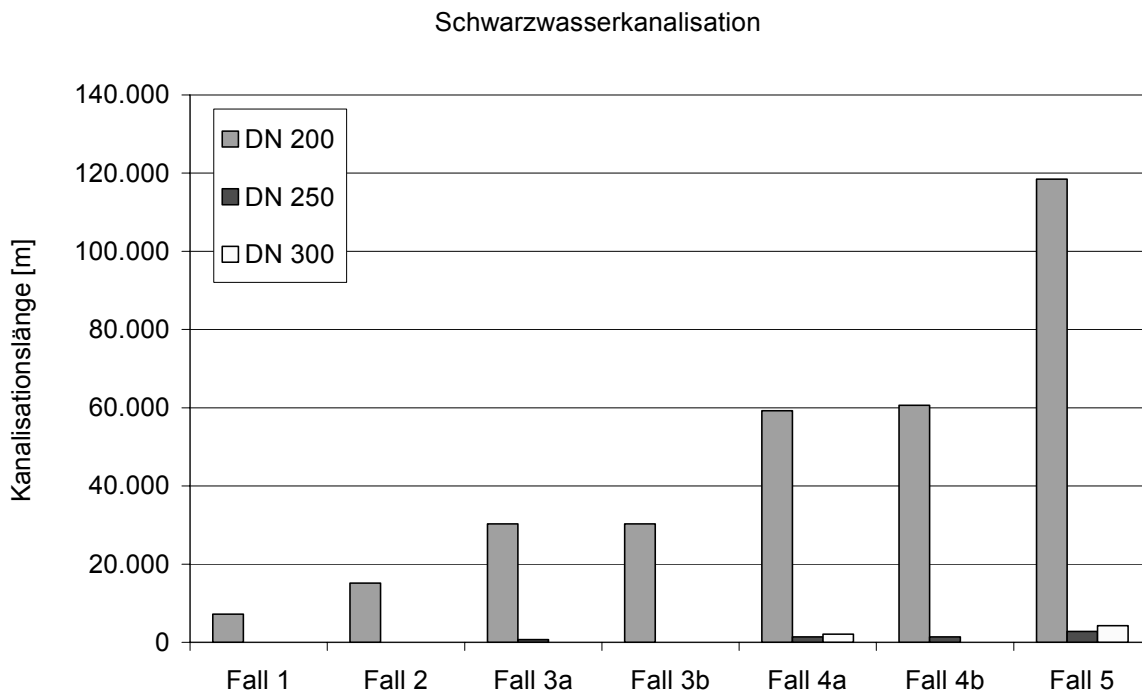
Berechnung der Grünflächenbewässerung:

$6,7l \times 11.000 \text{ EW} = 73.700 \text{ l}$

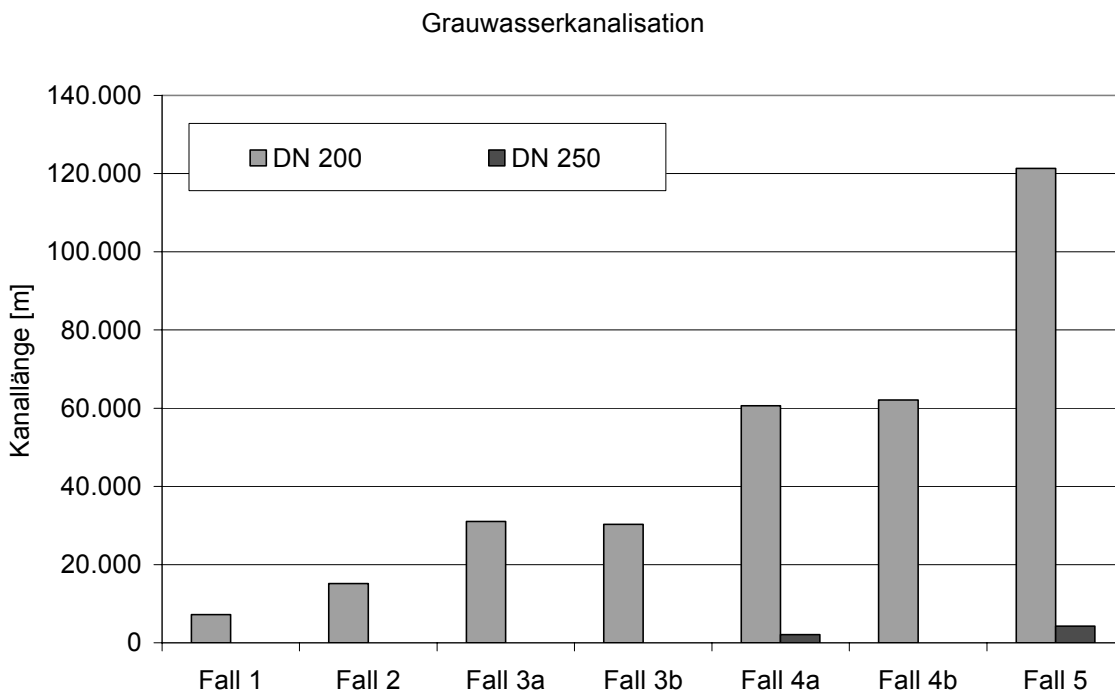
$73,7 \text{ m}^3 \times 365 \text{ Tage} = \underline{26.900,5 \text{ m}^3} \text{ im Jahr.}$

Aufgrund des rechnerisch ermittelten Bedarfs von ca. 135.000 m<sup>3</sup> allein für die Toilettenspülung und einer gleichzeitig anfallenden Niederschlagsmenge von ca. 40.000m<sup>3</sup> ist eine sinnvolle und ökonomische Nutzung von Niederschlagswasser nicht möglich.

**A - 2: Bemessung der Ableitungskanäle – gesamte Länge der Schwarzwasserkanalisation**



**A - 3: Bemessung der Ableitungskanäle – gesamte Länge der Grauwasserkanalisation**



**A - 4: Investitionskosten der Kanalisation**

	<b>Kanalisation</b>	<b>Pumpwerke</b>	<b>Betriebskosten</b>
Fall 1	2.762.035,59 €	196.230,51 €	55.241 €
Fall 2	5.794.207,18 €	248.931,60 €	115.884 €
Fall 3a	11.866.902,50 €	497.863,21 €	237.338 €
Fall 3b	11.588.414,35 €	315.786,48 €	231.768 €
Fall 4a	24.080.659,65 €	971.020,13 €	481.613 €
Fall 4b	23.733.805,00 €	768.039,63 €	474.676 €
Fall 5	48.161.319,31 €	1.454.707,29 €	963.226 €

## A - 5: Ökonomische Betrachtung abwassertechnischer Verfahrensmodule

### Abkürzungen:

BAF: Biofilterverfahren

MBR: Membranbelebungsverfahren

SBR: Sequencing Batch Reaktor

SW: Schwarzwasserbehandlung

GrW: Grauwasserbehandlung

Fall 1	Bautechnik	Anlagentechnik	Membrankosten	Betriebs- und Personalkosten
BAF (SW)	1.646.968 €	1.347.519 €		116.462 €
BAF (GrW)	401.035 €	328.120 €		73.446 €
MBR (SW)	1.471.149 €	250.279 €	737.755 €	88.494 €
MBR (GrW)	477.802 €	102.138 €	248.546 €	53.737 €
SBR (GrW)	414.550 €	339.177 €		43.113 €
Schlammbehandlung	1.002.791 €	820.465 €		
Brauchwasserspeicher	266.112 €			



<b>Fall 2</b>	Bautechnik	Anlagentechnik	Membran	Betriebs- und Personalkosten
BAF (SW)	2.500.146 €	2.045.574 €		221.002 €
BAF (GrW)	608.783 €	498.095 €		139.373 €
MBR (SW)	2.202.010 €	363.579 €	1.099.538 €	176.989 €
MBR (GrW)	677.909 €	145.503 €	352.891 €	107.474 €
SBR (GrW)	704.278 €	576.227 €		70.452 €
Schlammbehandlung	1.457.279 €	1.192.319 €		
Brauchwasserspeicher	511.488 €			

<b>Fall 3a/b</b>	Bautechnik	Anlagentechnik	Membran	Betriebs- und Personalkosten
BAF (SW)	3.795.295 €	3.105.242 €		419.381 €
BAF (GrW)	924.151 €	756.123 €		264.478 €
MBR (SW)	3.354.587 €	535.023 €	1.666.976 €	353.977 €
MBR (GrW)	979.653 €	210.266 €	509.965 €	214.949 €
SBR (GrW)	1.196.497 €	978.952 €		115.126 €
Schlammbehandlung	2.127.641 €	1.740.798 €		
Brauchwasserspeicher	775.008 €			

<b>Fall 4a/b</b>	Bautechnik	Anlagentechnik	Membran	Betriebs- und Personalkosten
BAF (SW)	5.761.371 €	4.713.849 €		795.830 €
BAF (GrW)	1.402.888 €	1.147.818 €		501.881 €
MBR (SW)	5.193.742 €	797.265 €	2.567.574 €	707.954 €
MBR (GrW)	1.442.043 €	308.232 €	750.118 €	429.897 €
SBR (GrW)	2.032.727 €	1.663.140 €		188.127 €
Schlammbehandlung	3.119.267 €	2.552.127 €		
Brauchwasserspeicher	920.000 €			

<b>Fall 5</b>	Bautechnik	Anlagentechnik	Membran	Betriebs- und Personalkosten
BAF (SW)	8.745.932 €	7.155.763 €		1.510.193 €
BAF (GrW)	2.129.626 €	1.742.421 €		952.386 €
MBR (SW)	8.157.996 €	1.202.363 €	4.011.583 €	1.415.908 €
MBR (GrW)	2.161.022 €	458.179 €	1.122.515 €	859.794 €
SBR (GrW)	3.453.398 €	2.825.507 €		307.419 €
Schlammbehandlung	4.589.834 €	3.755.319 €		
Brauchwasserspeicher	1.667.500 €			

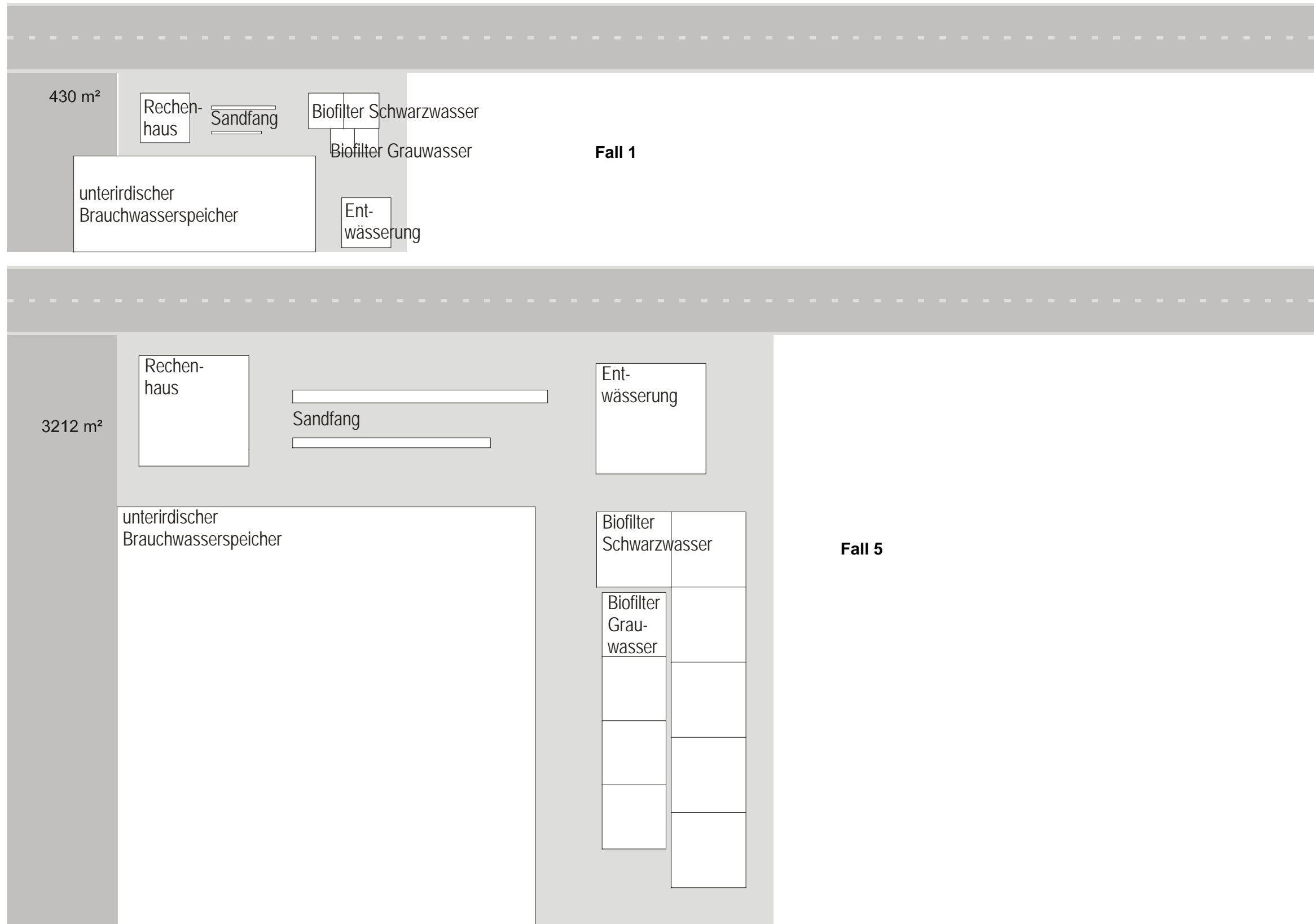
**A - 6: Jahreskosten der Verfahrenskombinationen der abwassertechnischen Varianten**

	Fall 1	Fall 2	Fall 3a	Fall 3b	Fall 4a	Fall 4b	Fall 5
Variante	€/( $E \cdot d$ )						
1, 2, 13, 14, 25, 26	0,156	0,139	0,127	0,124	0,112	0,110	0,105
3, 10, 15, 22, 27, 34	0,159	0,140	0,121	0,118	0,116	0,114	0,107
4, 11, 16, 23, 28, 35	0,150	0,133	0,121	0,118	0,110	0,108	0,100
5, 12, 17, 24, 29, 36	0,149	0,133	0,122	0,117	0,119	0,108	0,107
6, 18, 30	0,161	0,141	0,127	0,124	0,117	0,115	0,108
7, 19, 31	0,152	0,133	0,121	0,118	0,111	0,109	0,102
8, 20, 32	0,190	0,162	0,143	0,140	0,129	0,127	0,115
9, 21, 33	0,196	0,166	0,144	0,141	0,128	0,126	0,115

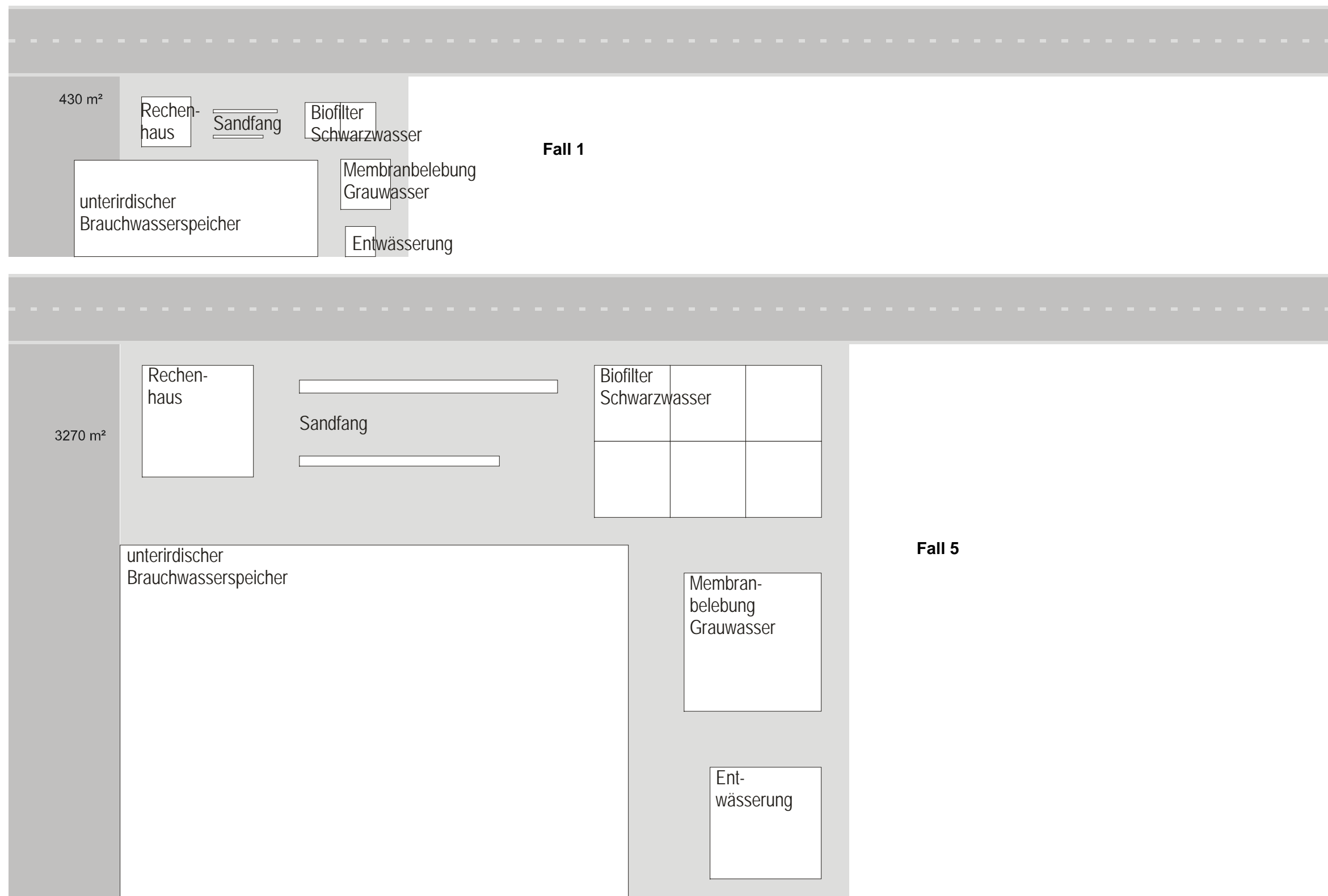


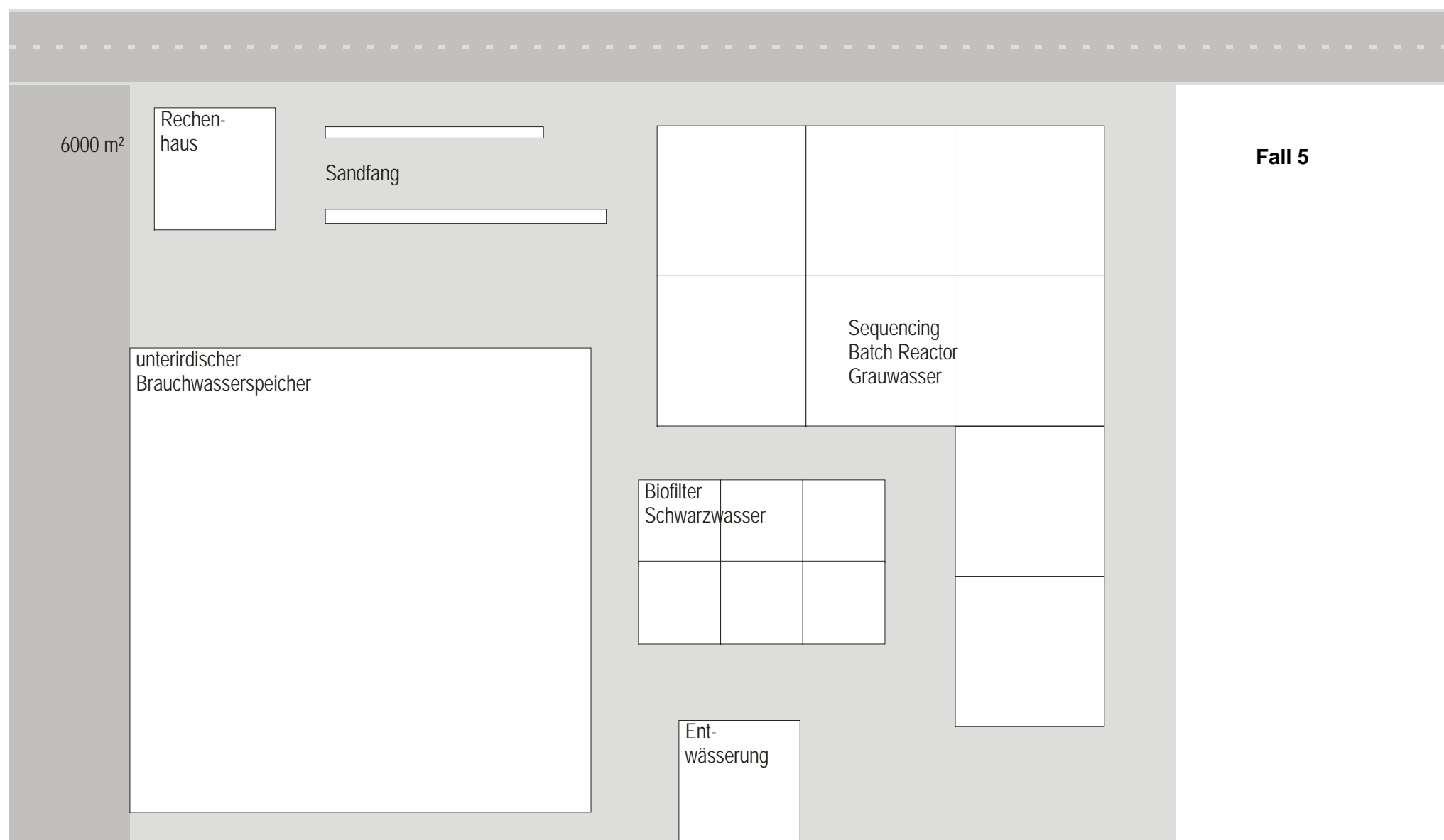
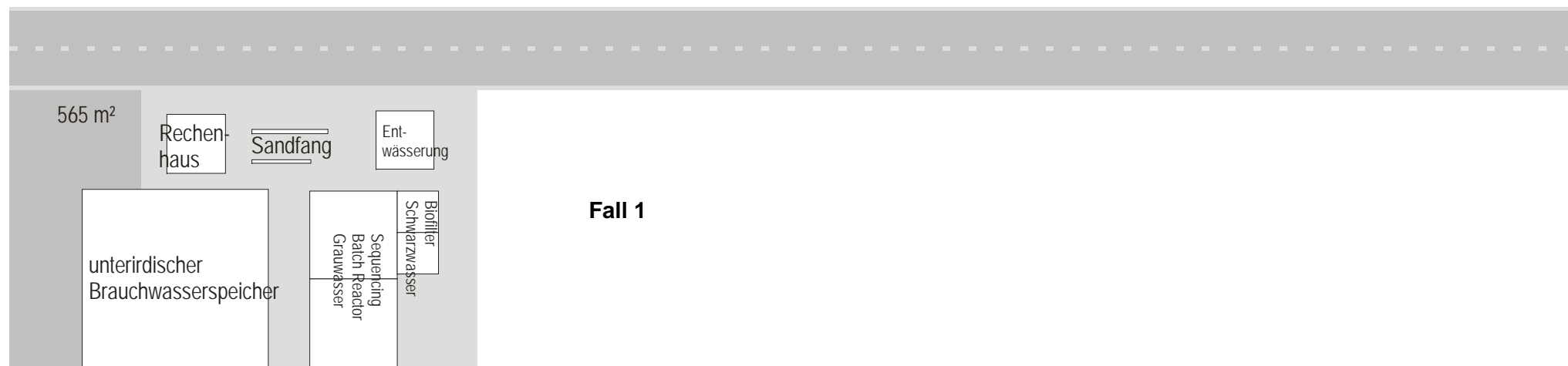
**A - 7: Schematische Darstellung des Platzbedarfs der abwassertechnischen Anlagen der Fälle 1 und 5**

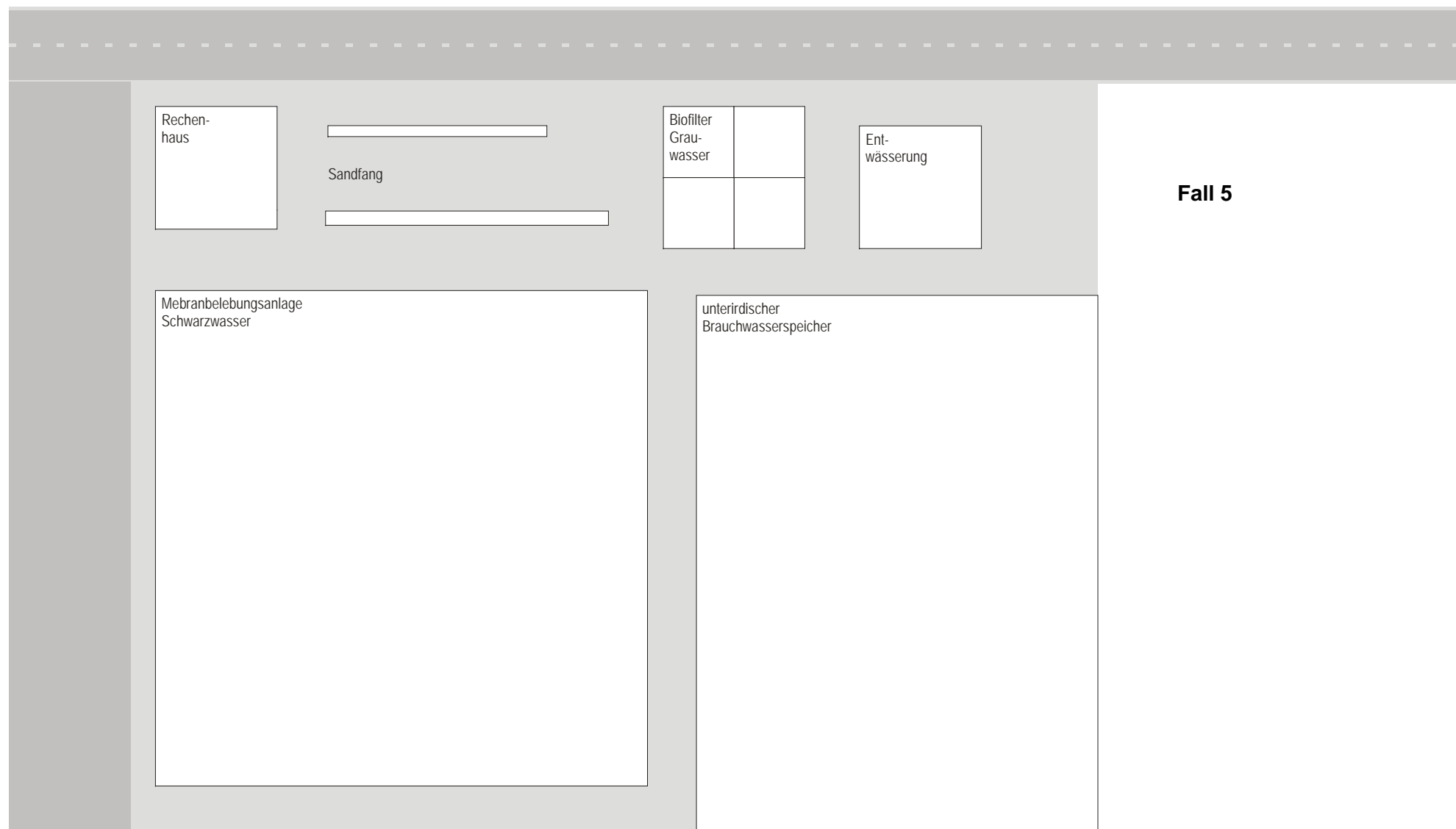
Variante 1, 2, 13, 14, 25, 26



Variante 3, 10, 15, 22, 27, 34

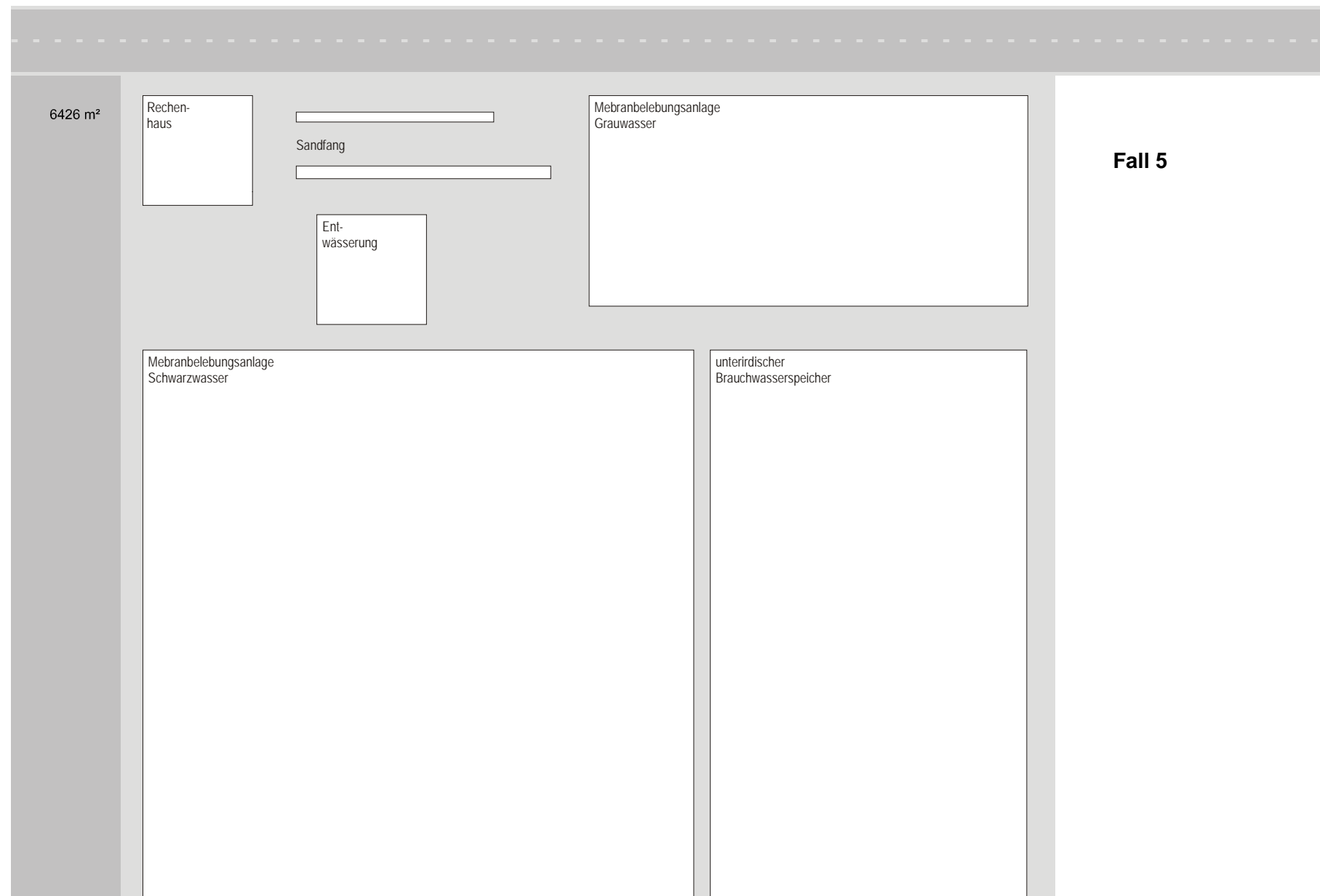
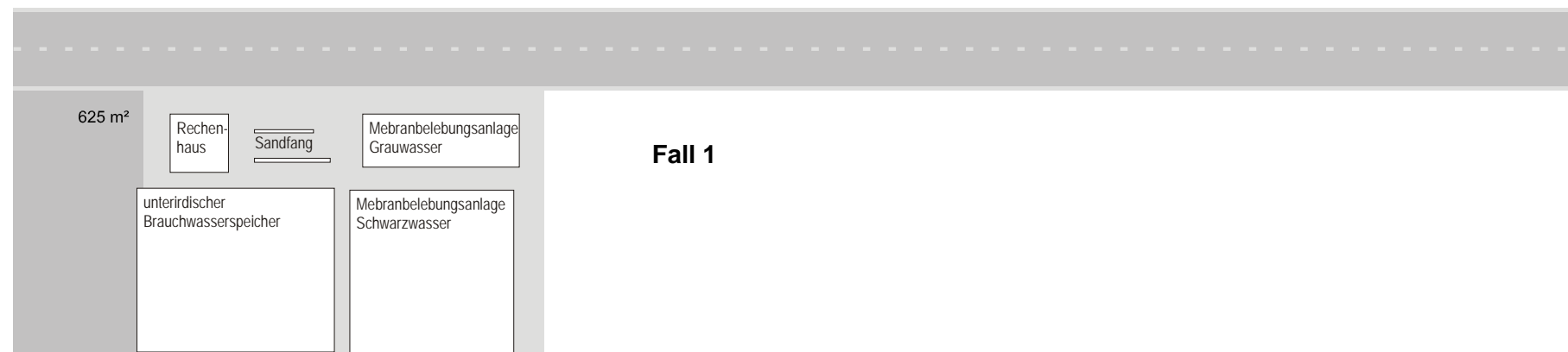




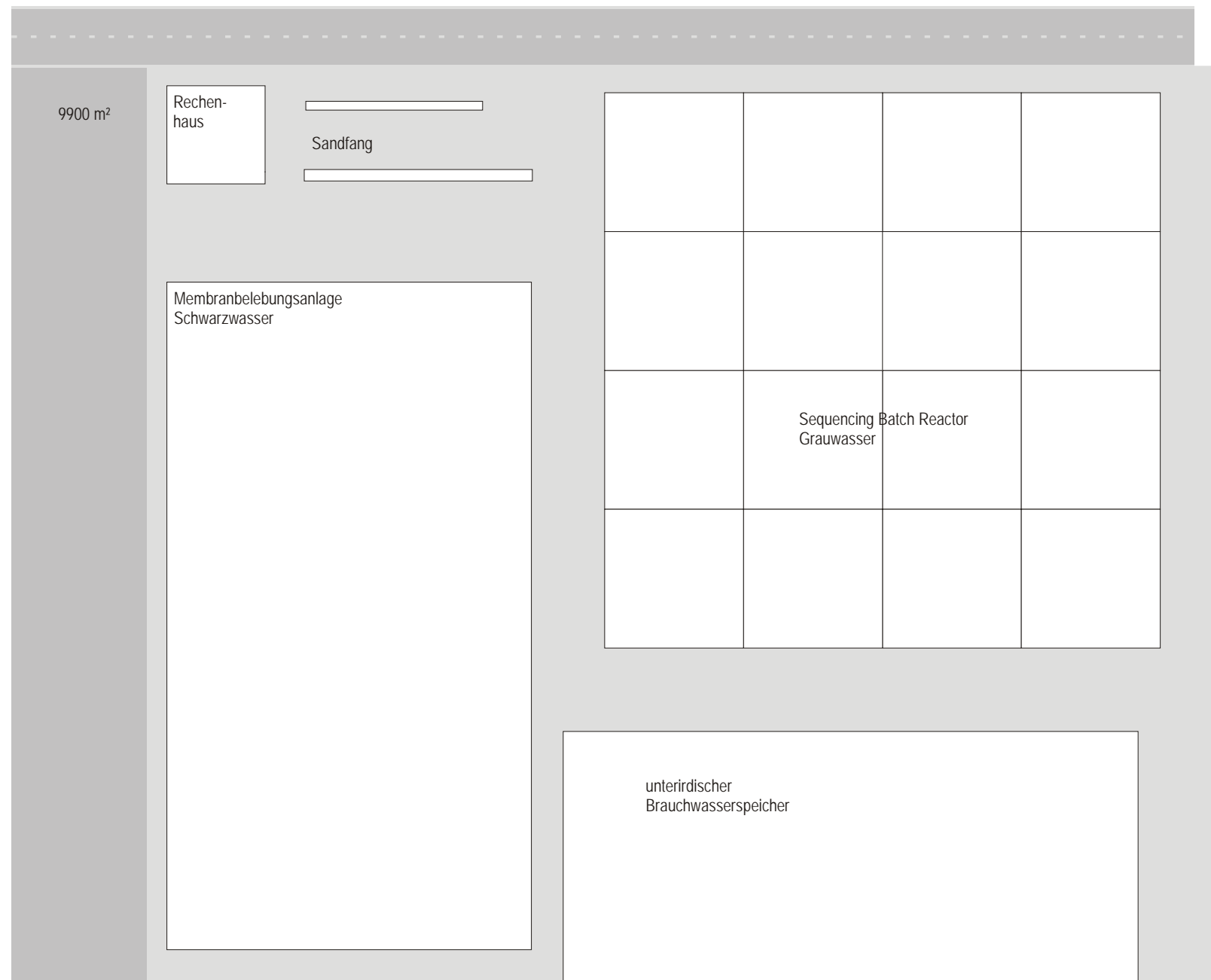
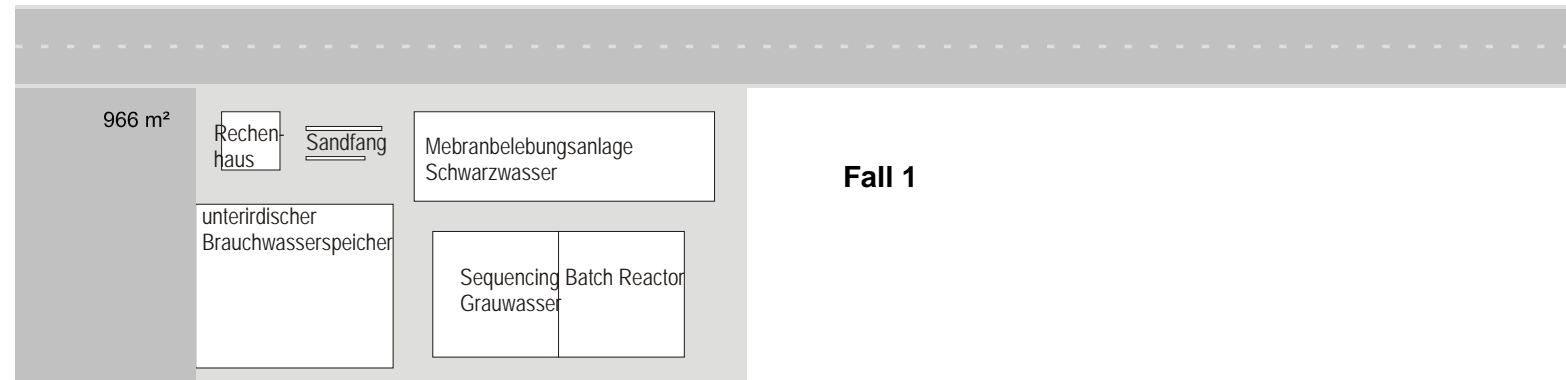




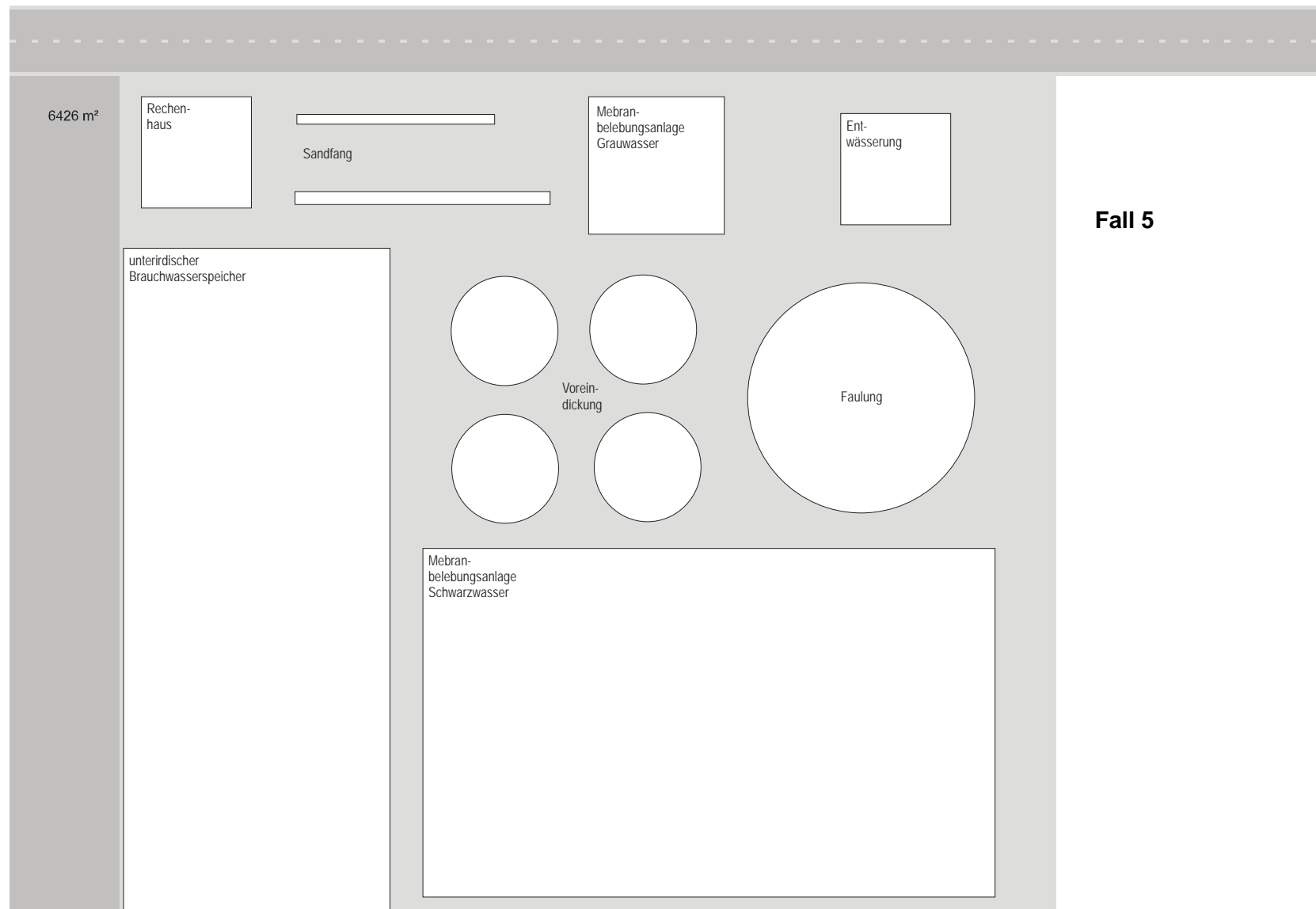
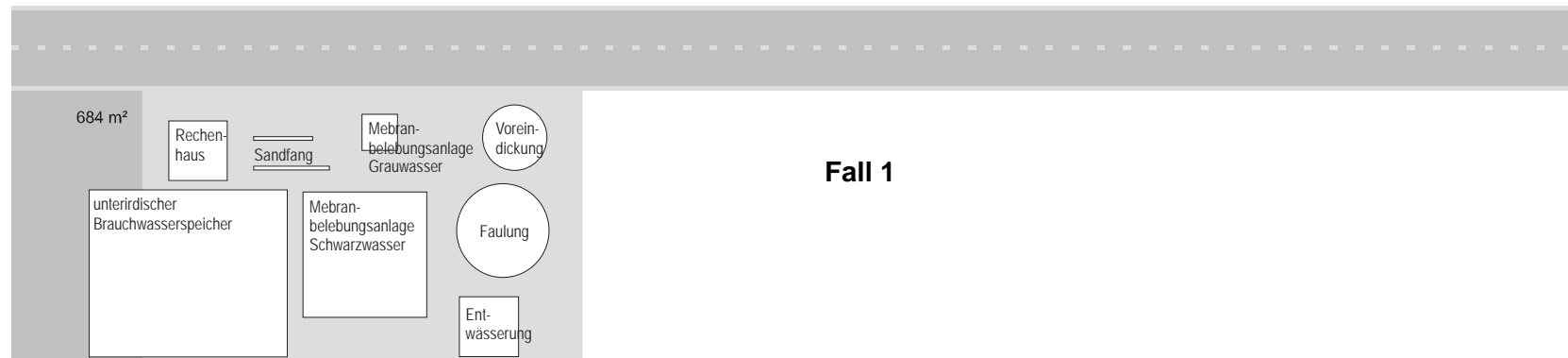
Variante 6, 18, 30



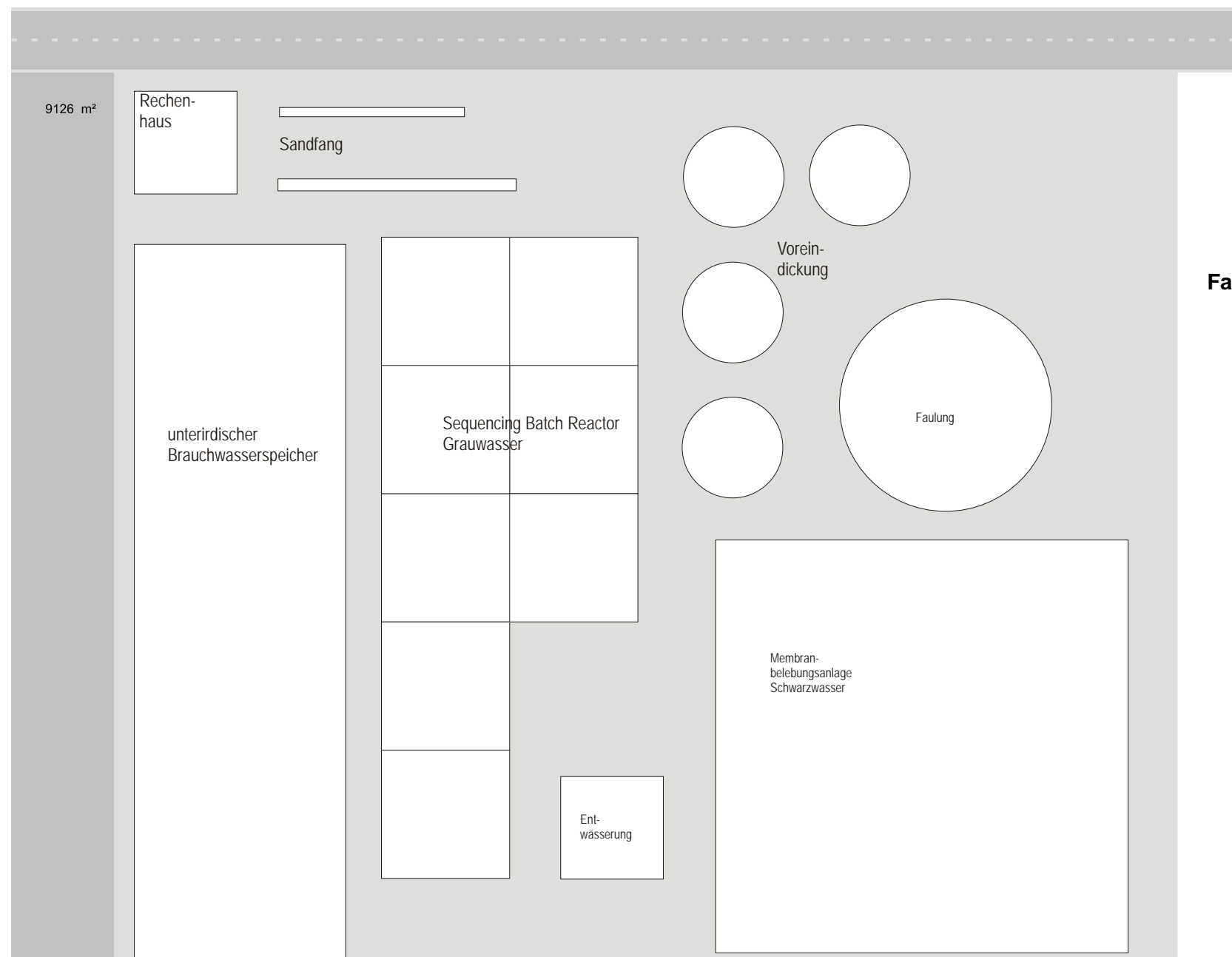
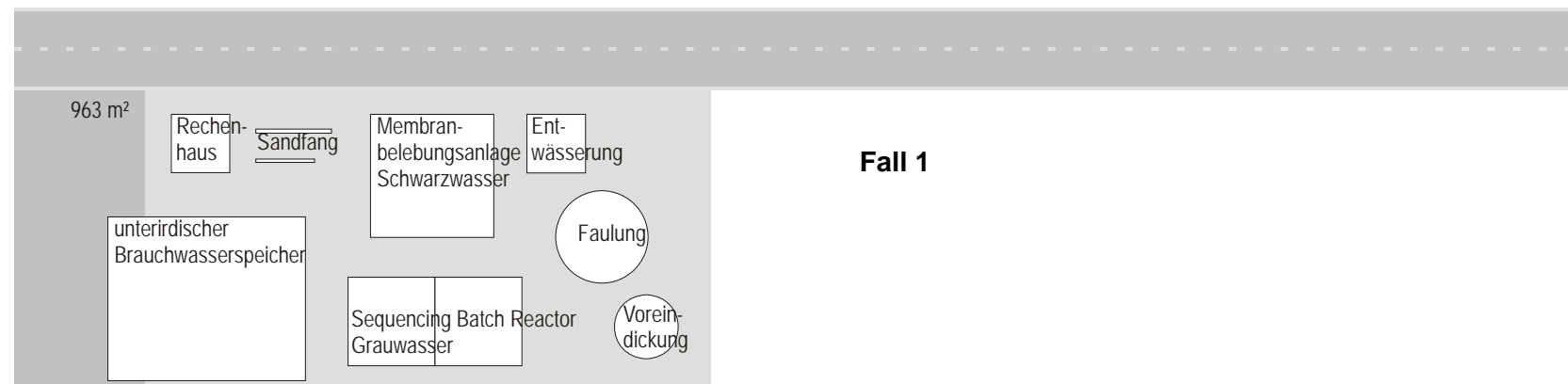
Variante 7, 19, 31



Variante 8, 20, 32



Variante 9, 21, 33



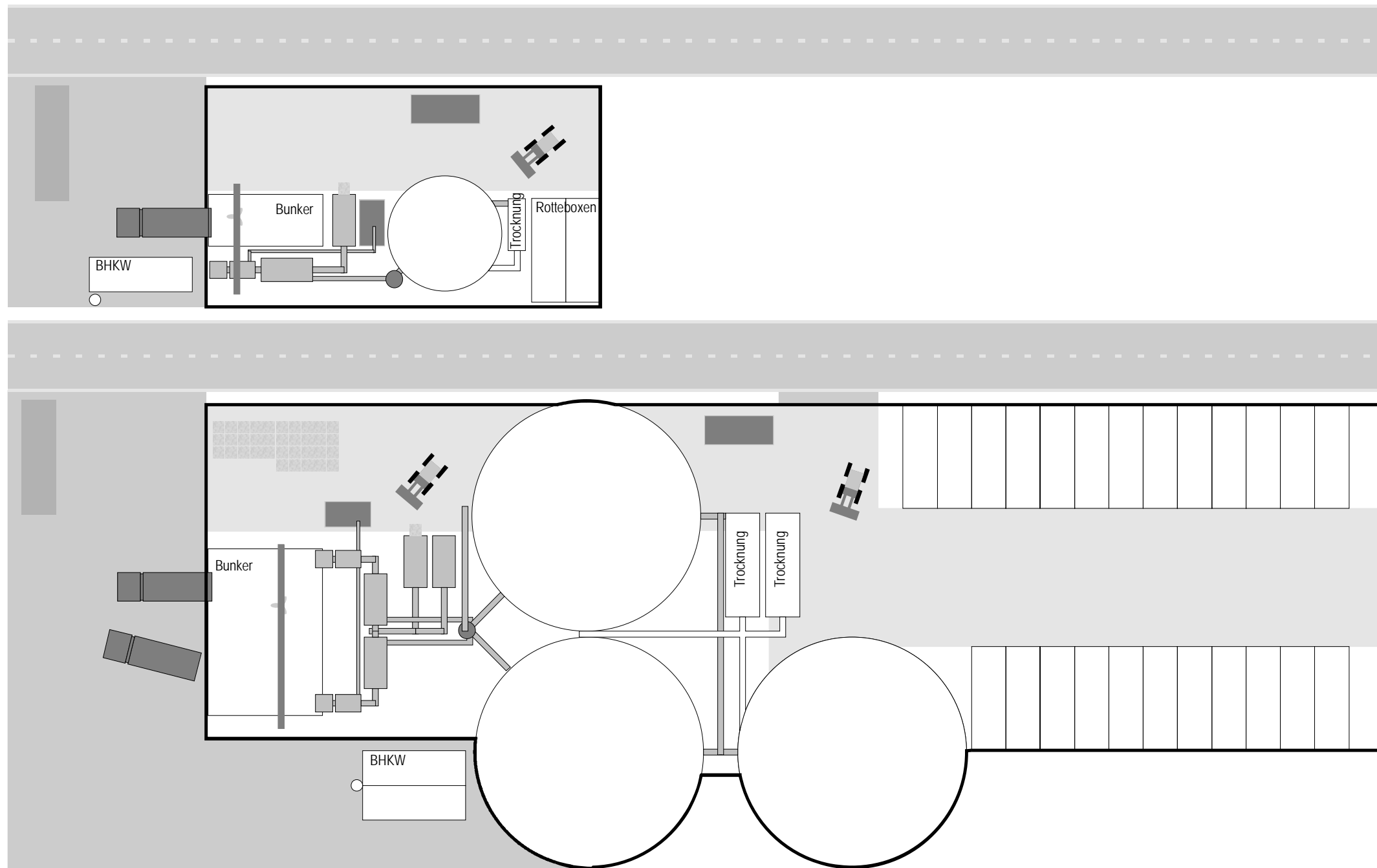
**A - 8: Reaktorvolumina Abfallbehandlung**

Varianten	Reaktortyp	Fälle				
		1	2	3a/b	4a/b	5
		<i>m<sup>3</sup></i>				
1, 10, 11, 12, 13, 22, 23, 24, 25, 34, 35, 36	Gärreaktor für Abfall und Klär- schlamm	529	1059	2118	4236	8471
	Nachrottebox für Gärrest	129	257	515	1030	2059
8, 9, 20, 21, 32, 33	Rottebox für Ab- fall	143	285	571	1142	2283
2, 3, 4, 5, 14, 15, 16, 17, 26, 27, 28, 29	Gärreaktor für Bioabfall und Klärschlamm	393	786	1573	3146	6292
	Nachrottebox für Gärrest	120	239	478	957	1913
	Rottebox für Restabfall	31	63	126	252	503
6, 7, 18, 19, 30, 31	Rottebox für Bio- abfall und Klär- schlamm	167	333	667	1334	2668
	Rottebox für Restabfall	31	63	126	252	503



**A - 9: Schematische Darstellung der Abfallbehandlung**

Varianten 1, 10, 11, 12, 13, 22, 23, 24, 25, 34, 35, 36, Fälle 1 und 5

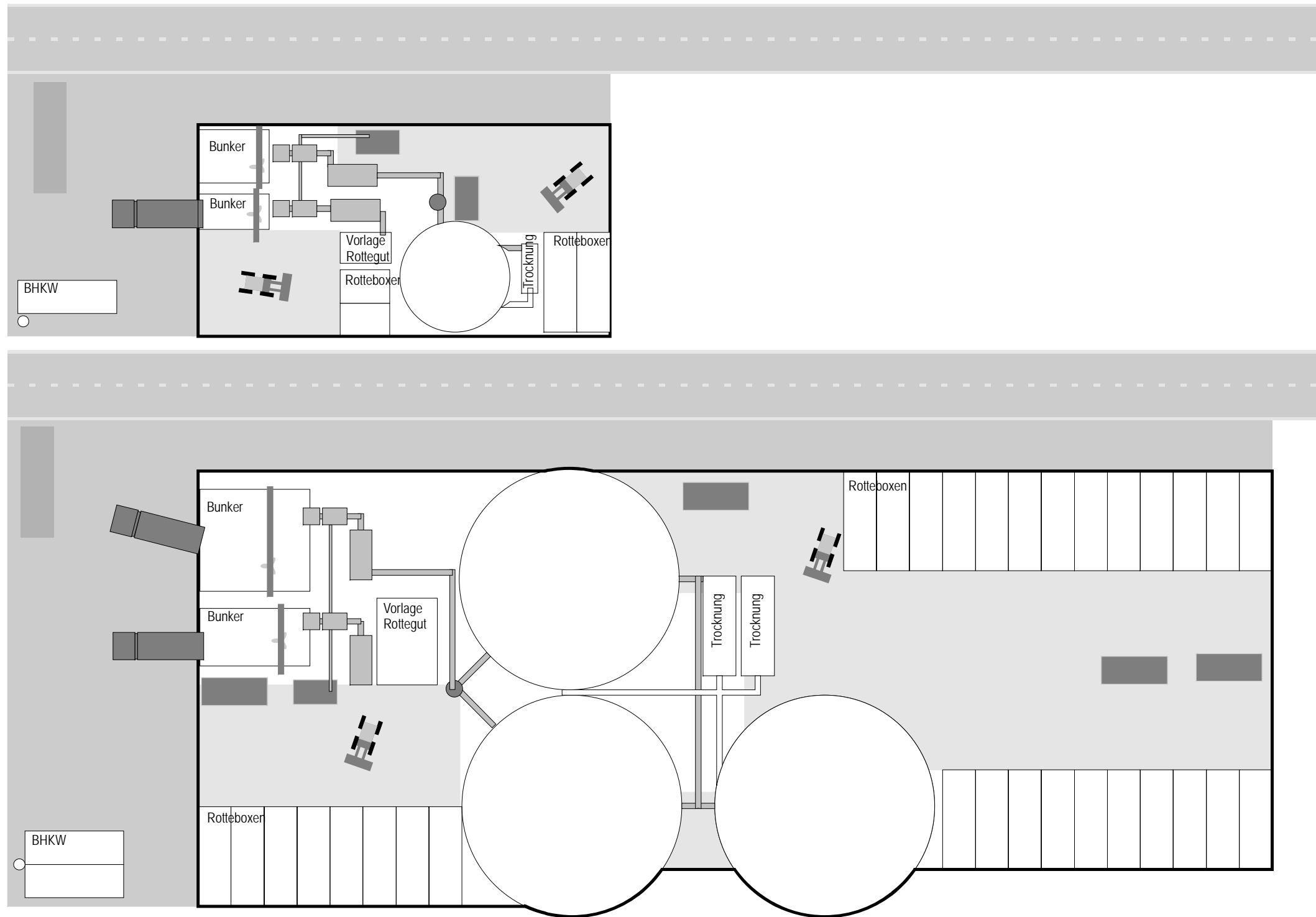


Varianten 8, 9, 20, 21, 32, 33, Fälle 1 und 5

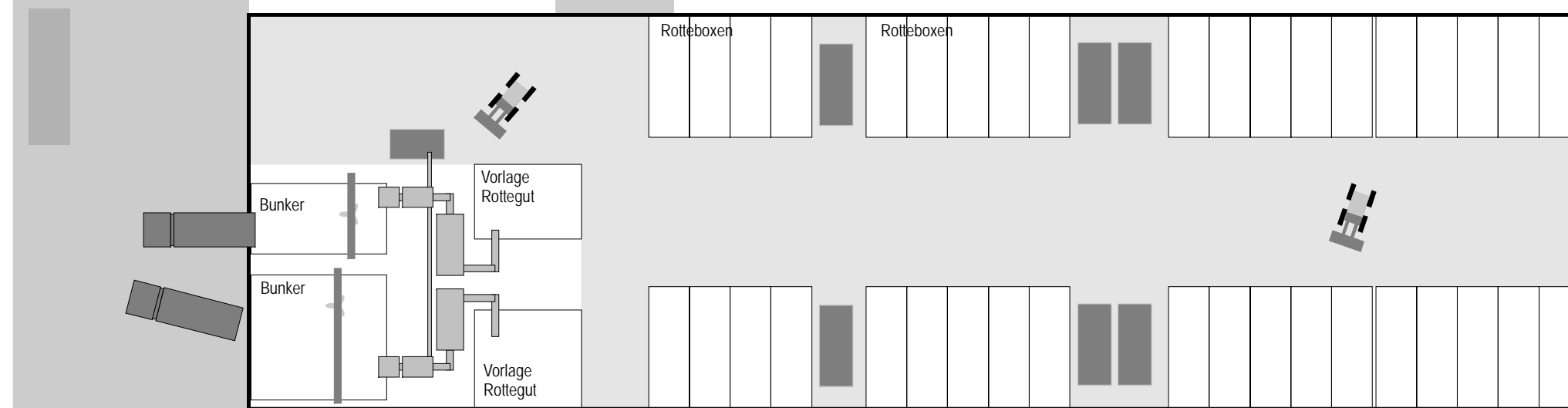
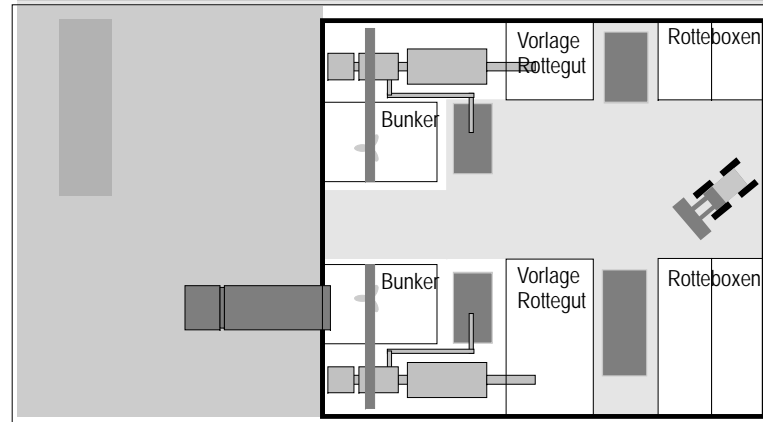




Varianten 2, 3, 4, 5, 14, 15, 16, 17, 26, 27, 28, 29, Fälle 1 und 5



Varianten 6, 7, 18, 19, 30, 31, Fälle 1 und 5



**A - 10: Zusammenführung der Bewertung dreier technischer Disziplinen im Rahmen der angewendeten Nutzwertanalyse**

**A Prinzipskizze der ökologischen und soziokulturellen Bewertung – Bewertung „Schritt 1“**

Jedes Kriterium wird einzeln von den drei technischen Disziplinen mit einer Note von 1 „sehr gut“ bis 5 „mangelhaft“ bewertet (vgl. vorhergehende Anhänge). Die Zusammenführung der drei Einzelnoten eines Kriteriums erfolgt durch eine Mittelwertbildung, d.h. alle drei Einzelbewertungen der technischen Disziplinen fließen gleichberechtigt in die Notenbildung ein. Dies erfolgt nacheinander für alle Kriterien der ökologischen und soziokulturellen Bewertung einer Variante. Synonym dazu werden die weiteren Varianten (bis 36) bewertet. Das Verfahren wird entsprechend auf alle Fälle (1, 2, 3a, 3b, 4a, 4b, 5) angewendet.

<b>Fall 1</b>	<b>Kriterium 1 Wasserversorgung</b>	<b>Kriterium 1 Abwassertechnik</b>	<b>Kriterium 1 Abfalltechnik</b>	<b>Kriterium 1 Mittelwert</b>	<b>Kriterium x Wasserversorgung</b>	<b>Kriterium x Abwassertechnik</b>	<b>Kriterium x Abfalltechnik</b>	<b>Kriterium x Mittelwert</b>
Variante 1	2	1	1	1,3	2	1	3	2,0
Variante 2	1	1	3	1,7	1	1	3	1,7
Variante n	2	1	2	1,7	2	1	1	1,3
<b>Fall y</b>	<b>Kriterium 1 Wasserversorgung</b>	<b>Kriterium 1 Abwassertechnik</b>	<b>Kriterium 1 Abfalltechnik</b>	<b>Kriterium 1 Mittelwert</b>	<b>Kriterium x Wasserversorgung</b>	<b>Kriterium x Abwassertechnik</b>	<b>Kriterium x Abfalltechnik</b>	<b>Kriterium x Mittelwert</b>
Variante 1	3	1	2	2,0	3	3	2	2,7
Variante 2	1	3	3	2,3	1	2	3	2,0
Variante n	1	2	1	1,7	2	2	1	1,7

## B Prinzipskizze der ökologischen und soziokulturellen Bewertung – Bewertung „Schritt 2“

Die im „Schritt 1“ ermittelten Noten für die einzelnen Kriterien werden in einem zweiten Schritt gewichtet. Die Gewichtungsfaktoren liegen zwischen 10 für eine „weniger wichtige“ Einschätzung des Kriteriums und 50 für eine „besonders wichtige“ Einschätzung des Kriteriums. Die einzelnen Gewichtungsfaktoren werden mit den zugehörigen Noten multipliziert. Die Gesamtnote einer Variante errechnet sich dann, indem die Summe aller Gewichtungswerte durch die Summe aller Multiplikatorwerte geteilt wird. Ebenso wie in „Schritt 1“ erfolgt das Prozedere sowohl für alle Kriterien der ökologischen und soziokulturellen Bewertung als auch für alle Fälle.

<b>Fall 1</b>	<b>Kriterium 1 (Mittelwert)</b>	<b>Faktor der Gewichtung</b>	<b>Wert</b>	<b>Kriterium 2 (Mittelwert)</b>	<b>Faktor der Gewichtung</b>	<b>Wert</b>	<b>Kriterium x (Mittelwert)</b>	<b>Faktor der Gewichtung</b>	<b>Wert</b>	<b>Note (<math>\Sigma</math> Wert/<math>\Sigma</math> Gewichtung)</b>
Variante 1	1,3	10	13	2,7	30	81	2,0	50	100	2,2
Variante 2	1,7	10	17	1,3	30	39	1,7	50	85	1,6
Variante n	1,7	10	17	1,7	30	51	1,3	50	65	1,5
<b>Fall y</b>	<b>Kriterium 1 (Mittelwert)</b>	<b>Faktor der Gewichtung</b>	<b>Wert</b>	<b>Kriterium 2 (Mittelwert)</b>	<b>Faktor der Gewichtung</b>	<b>Wert</b>	<b>Kriterium x (Mittelwert)</b>	<b>Faktor der Gewichtung</b>	<b>Wert</b>	<b>Note (<math>\Sigma</math> Wert/<math>\Sigma</math> Gewichtung)</b>
Variante 1	2,0	10	20	2,3	30	69	2,7	50	135	3,0
Variante 2	2,3	10	23	2,0	30	60	2,0	50	100	2,0
Variante n	1,7	10	17	2,7	30	81	1,7	50	71	1,9

**C Zusammenführung der Teilergebnisse ökologisch, soziokulturell und ökonomisch zum Gesamtergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung – Bewertung „Schritt 3“**

In diesem abschließenden Bewertungsschritt werden die Ergebnisse der soziokulturellen, ökologischen und ökonomischen Bewertung zusammengeführt. Im Sinne des Projekt übergeordneten Ziels der Nachhaltigkeit wurden dabei alle drei Teilbereiche gleichberechtigt berücksichtigt. Grundsätzlich ist jedoch auch eine Veränderung dieser Gewichtung möglich. So könnten bspw. im Rahmen einer Variantenauswahl für ein ökologisches Modellgebiet ökologische Aspekte wichtiger sein als soziokulturelle oder ökonomische. Entsprechend könnte die Bewertung von  $\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}$  auch auf  $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}$  verändert werden.

Wie in den beiden vorangegangenen Bewertungsschritten erfolgt die Zusammenführung der Teilergebnisse auch Variantenweise und getrennt nach den untersuchten Fällen.

<b>Fall 1</b>	<b>Ergebnis ökologische Bewertung</b>	<b>Gewichtungsfaktor</b>	<b>Ergebnis soziokulturelle Bewertung</b>	<b>Gewichtungsfaktor</b>	<b>Ergebnis ökonomische Bewertung</b>	<b>Gewichtungsfaktor</b>	<b>Note</b>
Variante 1	2,2	33	2,0	33	1,8	33	<b>2,00</b>
Variante 2	1,6	33	2,0	33	3,8	33	<b>2,46</b>
Variante n	1,5	33	2,9	33	1,6	33	<b>2,00</b>
<b>Fall y</b>	<b>Ergebnis ökologische Bewertung</b>	<b>Gewichtungsfaktor</b>	<b>Ergebnis soziokulturelle Bewertung</b>	<b>Gewichtungsfaktor</b>	<b>Ergebnis ökonomische Bewertung</b>	<b>Gewichtungsfaktor</b>	<b>Note</b>
Variante 1	3,0	33	1,2	33	2,5	33	<b>2,23</b>
Variante 2	2,0	33	2,5	33	3,6	33	<b>2,70</b>
Variante n	1,9	33	1,6	33	2,4	33	<b>1,96</b>

**A - 11: Jahreskosten der technischen Varianten der Wasserversorgung**

	Fall 1	Fall 2	Fall 3a	Fall 3b	Fall 4a	Fall 4b	Fall 5
Variante	€/( $E \cdot d$ )						
Varianten 1-12	0,051	0,042	0,034	0,033	0,032	0,030	0,029
Varianten 13-24	0,071	0,058	0,051	0,050	0,049	0,047	0,045
Varianten 25-36	0,090	0,075	0,068	0,067	0,065	0,064	0,061

**A - 12: Ranking der kostengünstigsten 12 Varianten**

Ranking	Variante	Fall	Kosten in €( $E \cdot d$ )	Kosten in €( $E \cdot a$ )
1	11	Fall 5	0,190	69,35
2	1	Fall 5	0,195	71,18
2	12	Fall 5	0,195	71,18
4	10	Fall 5	0,197	71,91
5	11	Fall 4b	0,200	73,00
6	1	Fall 4b	0,202	73,73
7	4	Fall 5	0,206	75,19
7	23	Fall 5	0,206	75,19
7	10	Fall 4b	0,206	75,19
10	12	Fall 4b	0,209	76,29
11	2	Fall 5	0,211	77,02
11	5	Fall 5	0,211	77,02
11	13	Fall 5	0,211	77,02
11	24	Fall 5	0,211	77,02

**A - 13: Ranking der teuersten 12 Varianten**

<b>Ranking</b>	<b>Variante</b>	<b>Fall</b>	<b>Kosten in €(E•d)</b>	<b>Kosten in €(E•a)</b>
1	31	Fall 1	0,554	202,21
2	27	Fall 1	0,539	196,74
3	26	Fall 1	0,536	195,64
4	32	Fall 1	0,531	193,82
5	28	Fall 1	0,53	193,45
6	29	Fall 1	0,529	193,09
7	30	Fall 1	0,525	191,63
8	15	Fall 1	0,52	189,80
8	14	Fall 1	0,517	188,71
10	21	Fall 1	0,512	186,88
11	16	Fall 1	0,511	186,52
12	17	Fall 1	0,51	186,15

**A - 14: Reduktion der Jahreskosten durch Synergienutzungen beim Personaleinsatz (Variante 6)**

	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
	<i>Kosten ohne Synergienutzung in €/(E•d)</i>						
Wasserversorgung	0,05	0,08	0,14	0,13	0,25	0,24	0,03
Abwassertechnik	0,16	0,14	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11
Abfalltechnik	0,27	0,18	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12
Gesamt	0,49	0,41	0,40	0,39	0,50	0,47	0,26
	<i>Kosten mit Synergienutzung in €/(E•d)</i>						
Wasserversorgung	0,05	0,08	0,13	0,13	0,25	0,24	0,03
Abwassertechnik	0,16	0,14	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
Abfalltechnik	0,26	0,18	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12
Gesamt	0,47	0,40	0,39	0,38	0,49	0,46	0,25
	<i>Reduktion der Kosten durch Synergienutzung</i>						
Reduktion	-3,4%	-3,2%	-2,8%	-2,9%	-2,1%	-2,2%	-2,3%

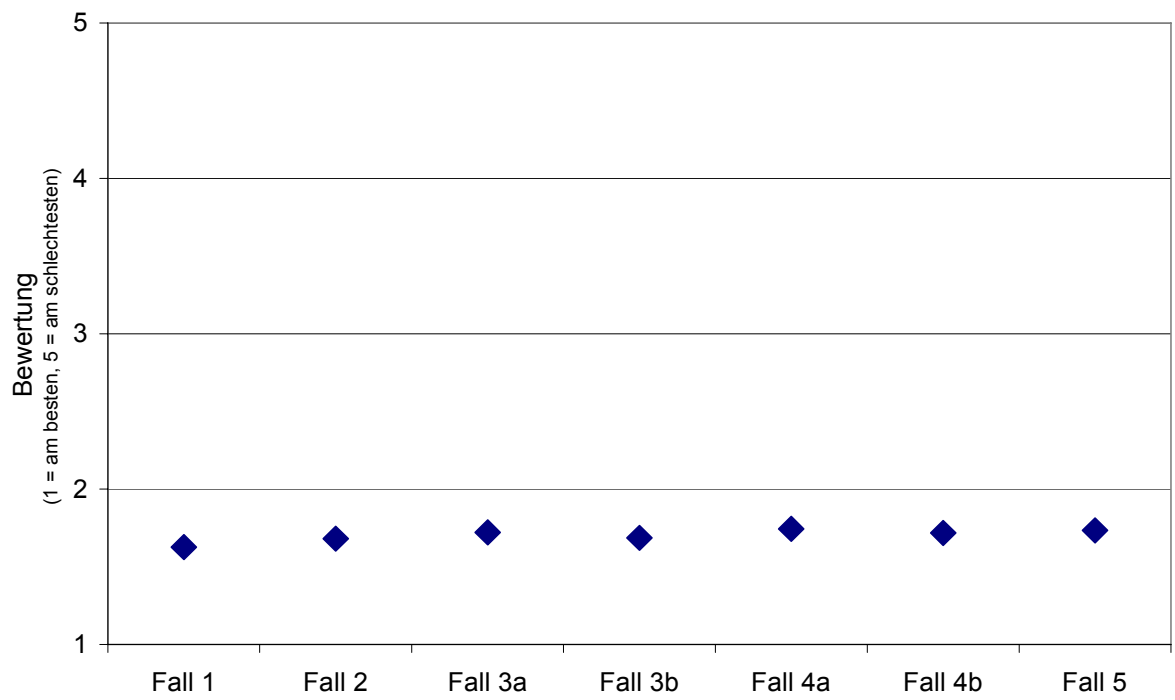


**A - 15: Ergebnisse der ökologischen Bewertung im Überblick**

	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
Varianten	Bewertung (Noten 1-5)						
1	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6
2	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6
3	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
4	1,6	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,7
6	1,6	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8
8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
9	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
10	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6	1,6	1,7
11	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,7
12	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6	1,6	1,7
13	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6
14	1,5	1,5	1,7	1,5	1,7	1,7	1,6
15	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
16	1,6	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8
17	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
18	1,6	1,6	1,8	1,6	1,8	1,8	1,8
19	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8
20	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
21	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
22	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6	1,5	1,7
23	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,7
24	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6	1,6	1,7
25	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8	1,7
26	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7
27	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8
28	1,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
29	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8
30	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
31	1,8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
32	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,9
33	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
34	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8
35	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8	1,9
36	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8

	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
Varianten	Ranking (Platz 1-36)						
1	13	6	1	6	12	2	3
2	9	14	13	15	8	13	1
3	1	8	3	8	1	4	5
4	11	30	25	30	23	25	25
5	1	8	3	8	14	4	16
6	21	28	21	28	19	21	21
7	30	23	30	23	29	30	29
8	25	17	13	15	8	13	12
9	19	26	19	25	17	19	19
10	5	1	9	1	4	10	8
11	17	12	7	12	15	8	17
12	5	1	9	1	4	10	8
13	13	6	1	6	12	2	3
14	9	5	13	5	8	13	1
15	1	8	3	8	1	4	5
16	11	19	25	19	23	25	25
17	1	8	3	8	1	4	5
18	21	14	21	14	19	21	21
19	30	23	30	23	29	30	29
20	25	17	13	15	8	13	12
21	19	26	19	25	17	19	19
22	5	1	9	1	4	1	8
23	17	12	7	12	15	8	17
24	5	1	9	1	4	10	8
25	29	20	29	20	26	29	15
26	27	31	27	31	25	27	14
27	15	21	17	21	27	17	27
28	28	35	35	35	35	35	35
29	15	21	17	21	27	17	27
30	33	34	34	34	33	34	33
31	35	36	36	36	36	36	36
32	34	32	27	31	34	27	34
33	36	33	33	33	32	33	32
34	23	16	23	18	21	23	23
35	32	25	32	27	31	32	31
36	23	29	23	29	21	23	23

**A - 16: Ergebnisse der ökologischen Bewertung gemittelt über die Varianten**

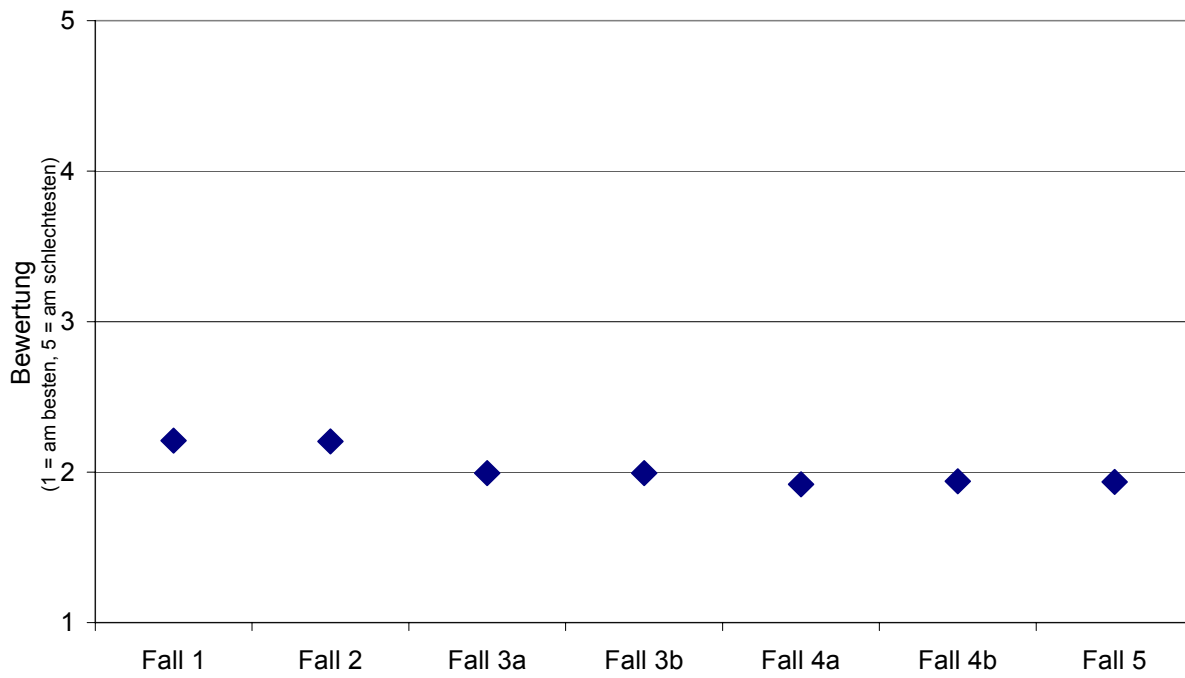


## A - 17: Ergebnisse der soziokulturellen Bewertung im Überblick

	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
Varianten	Bewertung (Noten 1-5)						
1	2,4	2,4	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1
2	2,4	2,4	2,2	2,2	2,1	2,2	2,2
3	2,4	2,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
4	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
5	2,4	2,4	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1
6	2,1	2,1	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
7	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7
8	2,0	2,0	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7
9	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
10	2,4	2,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
11	2,2	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9
12	2,4	2,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
13	2,4	2,4	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1
14	2,4	2,4	2,2	2,2	2,1	2,2	2,2
15	2,4	2,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
16	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
17	2,4	2,4	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1
18	2,1	2,1	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
19	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7
20	2,0	2,0	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7
21	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
22	2,4	2,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
23	2,2	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9
24	2,4	2,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
25	2,4	2,4	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1
26	2,4	2,4	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1
27	2,4	2,3	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
28	2,2	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9
29	2,4	2,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
30	2,0	2,0	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8
31	1,9	1,9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
32	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7
33	1,8	1,8	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6
34	2,3	2,3	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1
35	2,2	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9
36	2,3	2,3	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1

	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
Varianten	Ranking (Platz 1-36)						
1	33	33	33	33	33	33	33
2	35	35	35	35	35	35	35
3	27	23	23	23	28	23	23
4	17	17	17	17	17	17	17
5	27	29	29	29	28	29	29
6	11	11	11	11	11	11	11
7	6	6	6	6	8	6	6
8	8	8	8	8	6	8	8
9	2	2	2	2	2	2	2
10	23	23	25	25	23	25	23
11	15	15	15	15	15	15	15
12	23	23	25	25	23	25	23
13	33	33	33	33	33	33	33
14	35	35	35	35	35	35	35
15	27	23	23	23	28	23	23
16	17	17	17	17	17	17	17
17	27	29	29	29	28	29	29
18	11	11	11	11	11	11	11
19	6	6	6	6	8	6	6
20	8	8	8	8	6	8	8
21	2	2	2	2	2	2	2
22	23	23	25	25	23	25	23
23	15	15	15	15	15	15	15
24	23	23	25	25	23	25	23
25	31	31	31	31	27	31	31
26	32	32	32	32	32	32	32
27	21	19	19	19	21	19	19
28	14	14	14	14	14	14	14
29	21	22	22	22	21	22	22
30	10	10	10	10	10	10	10
31	4	4	4	4	5	4	4
32	5	5	5	5	4	5	5
33	1	1	1	1	1	1	1
34	19	20	20	20	19	20	19
35	13	13	13	13	13	13	13
36	19	20	20	20	19	20	19

**A - 18: Ergebnisse der soziokulturellen Bewertung gemittelt über die Varianten**



## A - 19: Ergebnisse der ökonomischen Bewertung im Überblick

	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
Varianten	€(E•d)						
1	0,43	0,31	0,25	0,24	0,22	0,20	0,20
2	0,50	0,35	0,27	0,26	0,24	0,22	0,21
3	0,50	0,35	0,27	0,25	0,24	0,23	0,21
4	0,49	0,34	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21
5	0,49	0,34	0,27	0,26	0,25	0,23	0,21
6	0,49	0,37	0,30	0,29	0,28	0,26	0,26
7	0,48	0,36	0,30	0,28	0,28	0,26	0,25
8	0,49	0,35	0,28	0,27	0,25	0,24	0,22
9	0,49	0,35	0,28	0,27	0,25	0,23	0,22
10	0,43	0,31	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20
11	0,43	0,30	0,24	0,23	0,22	0,20	0,19
12	0,42	0,30	0,24	0,23	0,23	0,21	0,20
13	0,45	0,33	0,26	0,25	0,24	0,22	0,21
14	0,52	0,37	0,29	0,28	0,26	0,24	0,23
15	0,52	0,37	0,28	0,27	0,26	0,24	0,23
16	0,51	0,36	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22
17	0,51	0,36	0,29	0,27	0,26	0,25	0,23
18	0,51	0,38	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27
19	0,50	0,38	0,31	0,30	0,29	0,27	0,27
20	0,51	0,37	0,29	0,28	0,27	0,29	0,24
21	0,51	0,37	0,30	0,29	0,27	0,29	0,24
22	0,45	0,33	0,26	0,25	0,24	0,22	0,21
23	0,45	0,32	0,26	0,25	0,23	0,22	0,21
24	0,44	0,32	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21
25	0,47	0,34	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23
26	0,54	0,38	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24
27	0,54	0,38	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25
28	0,53	0,38	0,30	0,29	0,27	0,25	0,24
29	0,53	0,38	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24
30	0,53	0,40	0,34	0,32	0,32	0,30	0,29
31	0,55	0,39	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28
32	0,53	0,38	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25
33	0,49	0,39	0,31	0,30	0,28	0,27	0,25
34	0,47	0,34	0,27	0,26	0,26	0,24	0,23
35	0,46	0,34	0,27	0,26	0,25	0,23	0,22
36	0,46	0,34	0,28	0,27	0,26	0,24	0,23

	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
Varianten	Ranking (Platz 1-36)						
1	3	3	4	4	2	2	2
2	20	16	12	12	8	8	9
3	22	17	9	9	11	10	12
4	18	12	9	9	7	7	5
5	17	12	11	11	12	12	9
6	14	24	29	29	30	28	32
7	13	19	25	23	27	25	29
8	14	15	16	16	15	15	13
9	19	18	17	17	14	13	13
10	4	4	1	1	3	3	4
11	2	1	1	1	1	1	1
12	1	1	3	3	4	4	2
13	7	7	8	8	6	6	7
14	28	23	22	22	19	18	17
15	29	24	19	19	21	20	21
16	26	20	19	19	17	16	15
17	25	20	21	21	22	22	17
18	23	31	34	34	34	32	34
19	20	27	33	31	33	31	33
20	23	22	23	23	24	35	23
21	27	26	24	25	23	33	23
22	8	8	5	5	8	9	11
23	6	5	5	5	5	5	5
24	5	5	7	7	10	11	7
25	11	11	18	18	15	16	19
26	34	31	30	30	26	24	26
27	35	33	26	26	28	26	28
28	32	28	26	26	25	23	25
29	31	28	28	28	29	27	26
30	30	36	36	36	36	36	36
31	36	35	35	35	35	33	35
32	33	30	31	32	32	30	30
33	16	34	32	33	31	29	30
34	12	12	13	13	18	19	22
35	10	9	13	13	13	13	16
36	9	9	15	15	20	21	19



**A - 20: Platzbedarf der Wasseraufbereitungsanlagen**

	<b>Speicher</b>	<b>Pumpwerk (2)</b>	<b>Aufbereitung Cross-Flow</b>	<b>Aufbereitung Dead-End</b>	<b>Aufbereitung Nano- filtration</b>
<b>Fall 1</b>	512 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	21 m <sup>2</sup>	63,55 m <sup>2</sup>	66,5 m <sup>2</sup>
<b>Fall 2</b>	648 m <sup>2</sup>	300 m <sup>2</sup>	45,5 m <sup>2</sup>	94,55 m <sup>2</sup>	126 m <sup>2</sup>
<b>Fall 3a</b>	800 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>	73,5 m <sup>2</sup>	162,7 m <sup>2</sup>	231 m <sup>2</sup>
<b>Fall 3b</b>	800 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>	73,5 m <sup>2</sup>	162,7 m <sup>2</sup>	231 m <sup>2</sup>
<b>Fall 4a</b>	1250 m <sup>2</sup>	580 m <sup>2</sup>	129,5 m <sup>2</sup>	346,5 m <sup>2</sup>	462 m <sup>2</sup>
<b>Fall 4b</b>	1250 m <sup>2</sup>	580 m <sup>2</sup>	129,5 m <sup>2</sup>	346,5 m <sup>2</sup>	462 m <sup>2</sup>
<b>Fall 5</b>	1800 m <sup>2</sup>	950 m <sup>2</sup>	259 m <sup>2</sup>	757,55 m <sup>2</sup>	917 m <sup>2</sup>

## A - 21: Stoffströme Wasserversorgung

### Ultrafiltration Dead-End, Fall 1

	<b>gesamte Mengen</b>	<b>einwohnerspezifische Mengen</b>
Tageswasserbedarf	1170 m <sup>3</sup> /d	0,09 m <sup>3</sup> /(E•d)
Energiebedarf	163,8 kWh/d	0,0126 kWh/(E•d)
Volumenstrom-Wasserwerks-Abwasser	23,4 m <sup>3</sup> /d	0,0018 m <sup>3</sup> /(E•d)
Massenstrom-Wasserwerks Abwasser	26,91 kg/d	0,00207 kg/(E•d)

### Ultrafiltration Dead-End, Fall 5

	<b>gesamte Mengen</b>	<b>einwohnerspezifische Mengen</b>
Tageswasserbedarf	18.720 m <sup>3</sup> /d	0,09 m <sup>3</sup> /(E•d)
Energiebedarf	2.621 kWh/d	0,0126 kWh/(E•d)
Volumenstrom-Wasserwerks-Abwasser	374,4 m <sup>3</sup> /d	0,0018 m <sup>3</sup> /(E•d)
Massenstrom-Wasserwerks-Abwasser	430,56 kg/d	0,00207 kg/(E•d)

### Ultrafiltration Cross-Flow, Fall 1

	<b>gesamte Mengen</b>	<b>einwohnerspezifische Mengen</b>
Tageswasserbedarf	1170 m <sup>3</sup> /d	0,09 m <sup>3</sup> /(E•d)
Energiebedarf	292,5 kWh/d	0,0225 kWh/(E•d)
Volumenstrom-Wasserwerks-Abwasser	23,4 m <sup>3</sup> /d	0,0018 m <sup>3</sup> /(E•d)
Massenstrom-Wasserwerks Abwasser	26,91 kg/d	0,00207 kg/(E•d)

Ultrafiltration Cross-Flow, Fall 5

	<b>gesamte Mengen</b>	<b>einwohnerspezifische Mengen</b>
Tageswasserbedarf	18.720 m <sup>3</sup> /d	0,09 m <sup>3</sup> /(E•d)
Energiebedarf	4.680 kWh/d	0,0225 kWh/(E•d)
Volumenstrom-Wasserwerks-Abwasser	374,4 m <sup>3</sup> /d	0,0018 m <sup>3</sup> /(E•d)
Massenstrom-Wasserwerks-Abwasser	430,56 kg/d	0,00207 kg/(E•d)

Nanofiltration, Fall 1

	<b>gesamte Mengen</b>	<b>einwohnerspezifische Mengen</b>
Tageswasserbedarf	1170 m <sup>3</sup> /d	0,09 m <sup>3</sup> /(E•d)
Energiebedarf	760,5 kWh/d	0,0585 kWh/(E•d)
Volumenstrom-Wasserwerks-Abwasser	175,5 m <sup>3</sup> /d	0,0135 m <sup>3</sup> /(E•d)
Massenstrom-Wasserwerks Abwasser	105,3 kg/d	0,0081 kg/(E•d)

Nanofiltration, Fall 5

	<b>gesamte Mengen</b>	<b>einwohnerspezifische Mengen</b>
Tageswasserbedarf	18.720 m <sup>3</sup> /d	0,09 m <sup>3</sup> /(E•d)
Energiebedarf	12.168 kWh/d	0,0585 kWh/(E•d)
Volumenstrom-Wasserwerks-Abwasser	2.808 m <sup>3</sup> /d	0,0135 m <sup>3</sup> /(E•d)
Massenstrom-Wasserwerks-Abwasser	1.684,8 kg/d	0,0081 kg/(E•d)

A - 22: ökologische Bewertung der Wasserversorgung im Gesamtsystem

Fall 1

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Wasserverbrauch (benötigte Rohwassermenge)	Flächenverbrauch	Energiebilanz
							$m^3/(E \cdot d)$	$m^2/E$	$kWh/(E \cdot d)$
Variante 1-12	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,047	-0,067
Variante 13-24	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,052	-0,057
Variante 25-36	2	1	2	3	1	1	0,1035	0,052	-0,103

Fall 2

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Wasserverbrauch (benötigte Rohwassermenge)	Flächenverbrauch	Energiebilanz
							$m^3/(E \cdot d)$	$m^2/E$	$kWh/(E \cdot d)$
Variante 1-12	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,032	-0,057
Variante 13-24	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,034	-0,048
Variante 25-36	2	1	2	3	1	1	0,1035	0,036	-0,093

Fall 3a

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Wasserverbrauch (benötigte Rohwassermengen)	Flächenverbrauch	Energiebilanz
							$m^3/(E \cdot d)$	$m^2/E$	$kWh/(E \cdot d)$
Variante 1-12	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,021	-0,058
Variante 13-24	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,022	-0,048
Variante 25-36	2	1	2	3	1	1	0,1035	0,024	-0,094

Fall 3b

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Wasserverbrauch (benötigte Rohwassermenge)	Flächenverbrauch	Energiebilanz
							$m^3/(E \cdot d)$	$m^2/E$	$kWh/(E \cdot d)$
Variante 1-12	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,021	-0,058
Variante 13-24	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,022	-0,048
Variante 25-36	2	1	2	3	1	1	0,1035	0,024	-0,094

Fall 4a

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Wasserverbrauch (benötigte Rohwassermengen)	Flächenverbrauch	Energiebilanz
							$m^3/(E \cdot d)$	$m^2/E$	$kWh/(E \cdot d)$
Variante 1-12	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,016	-0,058
Variante 13-24	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,018	-0,048
Variante 25-36	2	1	2	3	1	1	0,1035	0,019	-0,094



Fall 4b

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Wasserverbrauch (benötigte Rohwasser- menge)	Flächenverbrauch	Energiebilanz
							$m^3/(E \cdot d)$	$m^2/E$	$kWh/(E \cdot d)$
Variante 1-12	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,016	-0,058
Variante 13-24	2	1	2	2	1	1	0,0918	0,018	-0,047
Variante 25-36	2	1	2	3	1	1	0,1035	0,019	-0,093

Fall 5

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Wasserverbrauch (benötigte Rohwassermenge)	Flächenverbrauch	Energiebilanz
							$m^3/(E \cdot d)$	$m^2/E$	$kWh/(E \cdot d)$
Variante 1-12	2	1	2	2	1	1	0,918	0,012	-0,058
Variante 13-24	2	1	2	2	1	1	0,918	0,015	-0,048
Variante 25-36	2	1	2	3	1	1	0,1035	0,015	-0,094

**A - 23: soziokulturelle Bewertung der Wasserversorgung im Gesamtsystem**

**Fall 1**

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>Permanente Wasserversorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1-12	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 13-24	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 25-36	2	1	1	1	2	3	1	1	2

Fall 2

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>Permanente Wasserversorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1-12	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 13-24	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 25-36	2	1	1	1	2	3	1	1	2

**Fall 3a**

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>Permanente Wasserversorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1-12	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 13-24	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 25-36	2	1	1	1	2	3	1	1	2

Fall 3b

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>Permanente Wasserversorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1-12	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 13-24	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 25-36	2	1	1	1	2	3	1	1	2

Fall 4a

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>Permanente Wasserversorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1-12	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 13-24	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 25-36	2	1	1	1	2	3	1	1	2

Fall 4b

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>Permanente Wasserversorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1-12	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 13-24	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 25-36	2	1	1	1	2	3	1	1	2



**Fall 5**

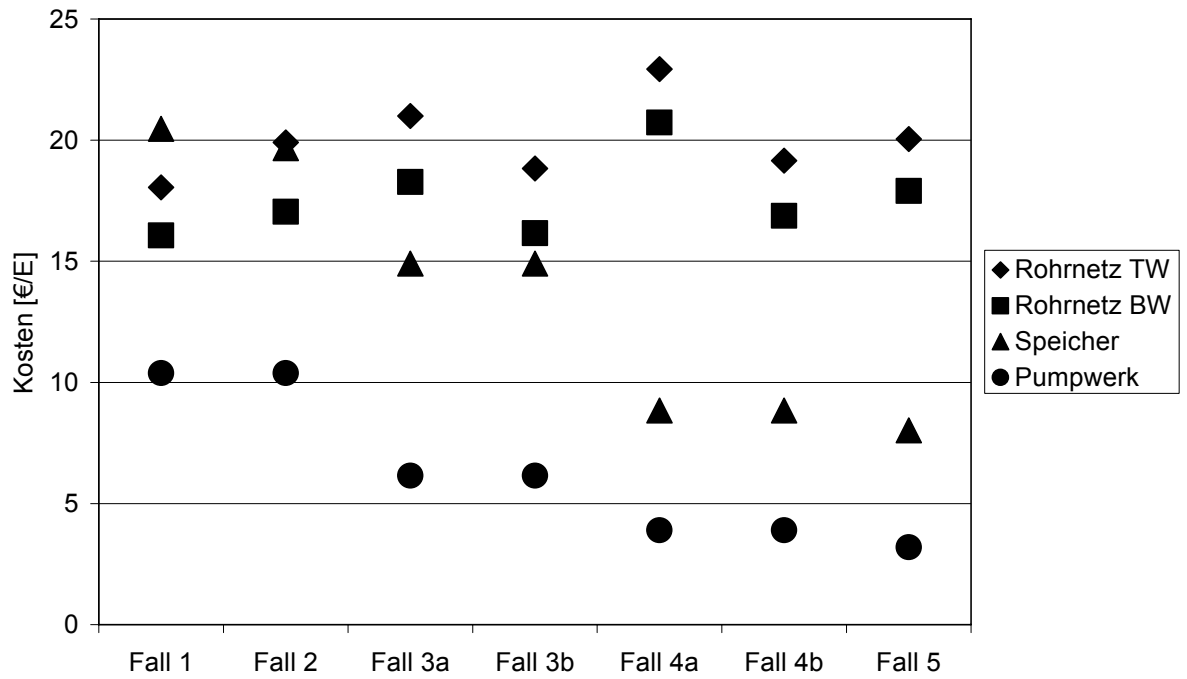
	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>Permanente Wasserversorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1-12	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 13-24	2	1	2	1	2	3	1	1	2
Variante 25-36	2	1	1	1	2	3	1	1	2

#### **A - 24: Investitionskosten für Rohrnetz, Pumpwerk und Speicher**

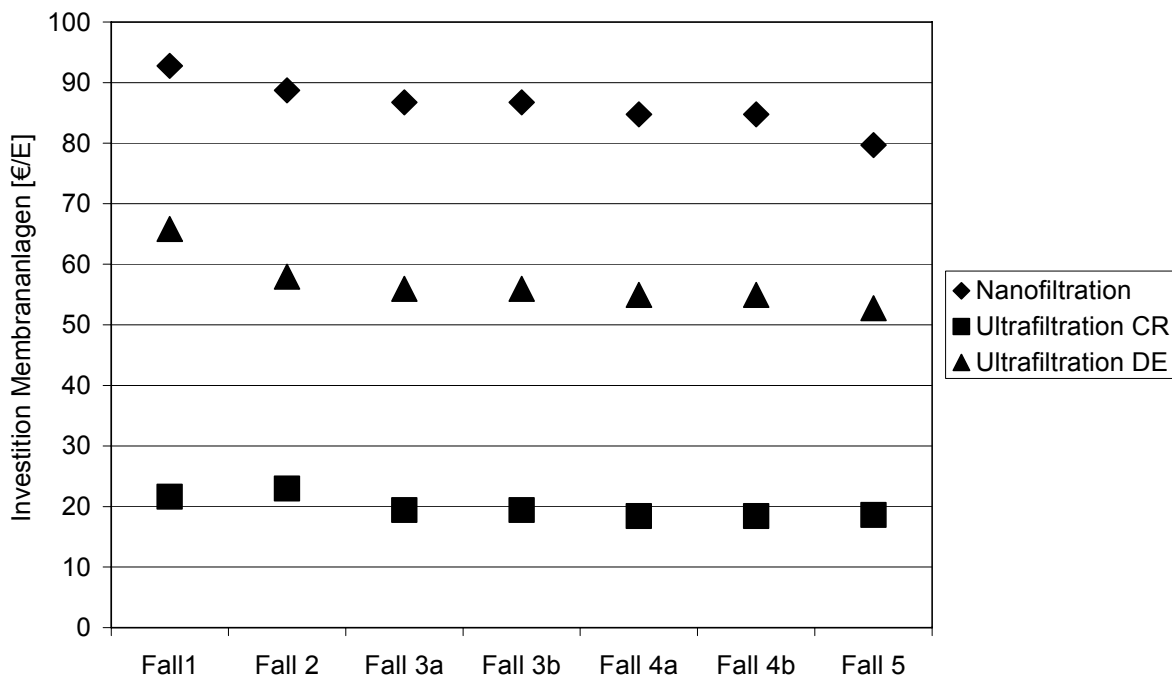
Es handelt sich bei den verschiedenen Fällen um jeweils zwei Rohrnetze (Trink- und Grauwasser), Pumpwerke für die Versorgung mit Trink- und Brauchwasser und Speicher (nur Trinkwasser).

	<b>Rohrnetz</b>	<b>Pumpwerk</b>	<b>Speicher</b>
Fall 1	443.542 €	135.000 €	266.112 €
Fall 2	960.661 €	270.000 €	511.488 €
Fall 3a	2.042.057 €	320.000 €	775.008 €
Fall 3b	1.806.130 €	320.000 €	775.008 €
Fall 4a	4.541.491 €	406.000 €	920.000 €
Fall 4b	3.747.163 €	406.000 €	920.000 €
Fall 5	7.892.302 €	665.000 €	1.667.500 €

**A - 25: Investitionskosten für Rohrnetz (Trinkwasser (TW), Brauchwasser (BW)), sowie Speicher und Pumpwerk in [€/E]**



**A - 26: Investitionskosten bei den unterschiedlichen Membranverfahren in [€/E]**



**A - 27: Gegenüberstellung der Investitionskosten gesamt und der Betriebskosten pro Jahr bei den einzelnen Techniken zur Wasserversorgung**

Die Investitionskosten beinhalten die Investition für Bautechnik sowie Maschinen- und Anlagentechnik. Die Betriebskosten beinhalten Wartung, Energie-, Chemikalien- und Personalkosten.

**Technik 1: Ultrafiltration Cross-Flow**

	<b>Investitionskosten</b>	<b>Jährliche Betriebskosten</b>
Fall 1	1.266.686 €	137.277 €
Fall 2	2.631.783 €	186.723 €
Fall 3a	4.340.223 €	281.918 €
Fall 3b	4.104.295 €	279.558 €
Fall 4a	8.635.761 €	480.425 €
Fall 4b	7.841.434 €	467.226 €
Fall 5	15.680.752 €	863.239 €

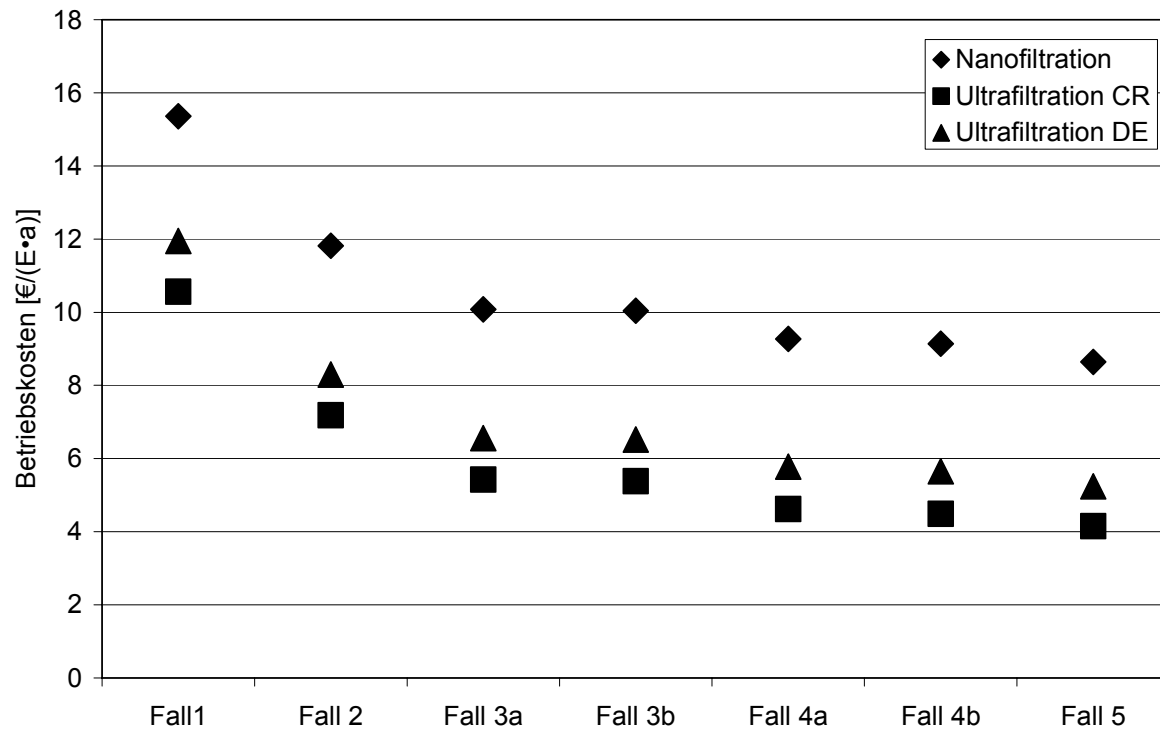
## Technik 2: Ultrafiltration Dead-End

	<b>Investitionskosten</b>	<b>Jährliche Betriebskosten</b>
Fall 1	1.841.686 €	155.381 €
Fall 2	3.541.783 €	215.730 €
Fall 3a	6.240.223 €	341.284 €
Fall 3b	6.004.295 €	338.924 €
Fall 4a	12.435.761 €	601.259 €
Fall 4b	11.641.434 €	588.060 €
Fall 5	22.780.752 €	1.089.904 €

### Technik 3: Nanofiltration

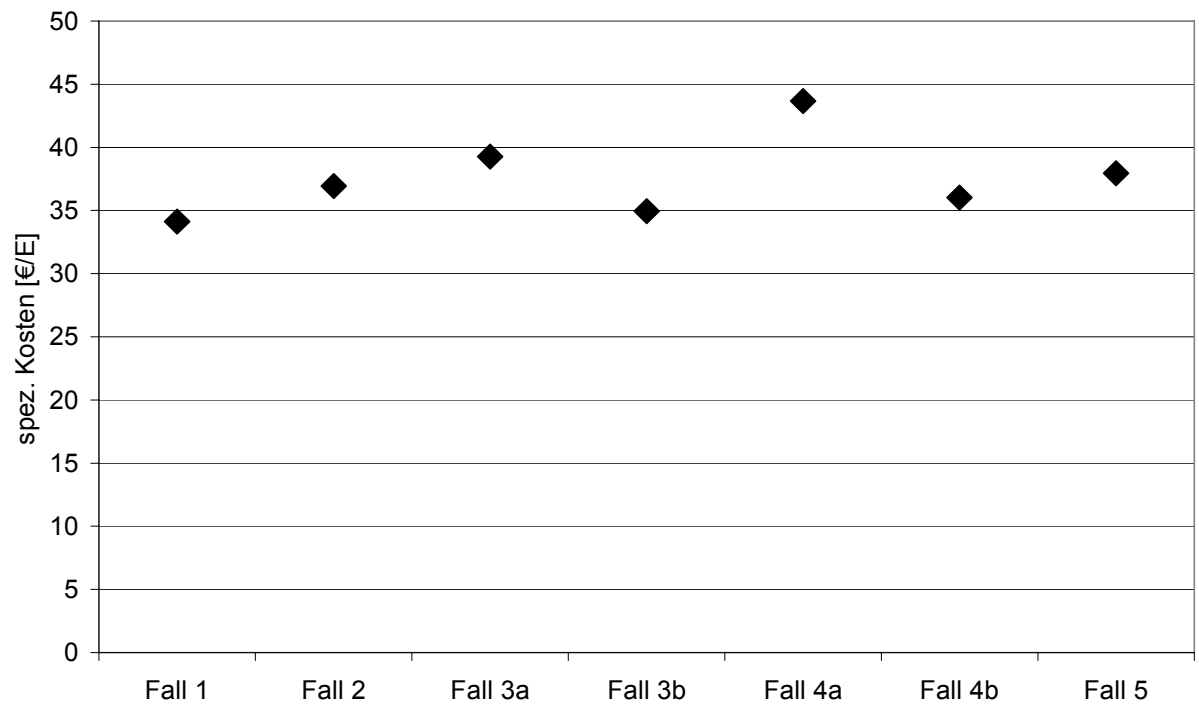
	<b>Investitionskosten</b>	<b>Jährliche Betriebskosten</b>
Fall 1	2.191.680 €	199.618 €
Fall 2	4.341.783 €	307.205 €
Fall 3a	7.840.223 €	524.231 €
Fall 3b	7.604.295 €	521.871 €
Fall 4a	15.535.761 €	964.154 €
Fall 4b	14.741.343 €	950.955 €
Fall 5	28.380.752 €	1.797.696 €

**A - 28: Betriebskosten der verschiedenen Membranverfahren in [€/(E•a)] bei der Wasserversorgung**





**A - 29: spezifische Kosten der Versorgungsnetze in [€/E]**



**A - 30: ökologische Bewertung der Abwassertechnik im Gesamtsystem**

**Fall 1**

	<b>Lärmmissionen</b>	<b>Geruchsemissionen</b>	<b>Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe</b>	<b>Störfallwahrscheinlichkeit</b>	<b>Reversibilität und Intensität des Störfalls</b>	<b>Luftbelastung</b>	<b>Wasserbelastung</b>	<b>Beeinträchtigung von Natur und Landschaft</b>	<b>Flächenverbrauch</b>	<b>Energiebilanz</b>
						<i>g CO<sub>2</sub>/(E•d)</i>			<i>m<sup>2</sup>/E</i>	<i>kWh/(E•d)</i>
Variante 1	2	2	3	3	1	97	2	2	0,03308	-0,0627
Variante 2	2	2	3	3	1	108	2	2	0,03308	-0,0627
Variante 3	2	2	3	3	1	108	2	2	0,03308	-0,1122
Variante 4	3	3	2	3	1	253	3	3	0,04346	-0,0628
Variante 5	2	2	3	3	1	264	2	2	0,04192	-0,1450
Variante 6	2	2	3	3	1	264	1	1	0,04808	-0,1945
Variante 7	3	3	2	3	1	264	2	2	0,07431	-0,1451
Variante 8	2	2	3	3	1	264	1	1	0,05262	-0,1945
Variante 9	3	3	2	3	1	108	2	2	0,07408	-0,1451
Variante 10	2	2	3	3	1	108	2	2	0,03308	-0,1122
Variante 11	3	3	2	3	1	253	3	3	0,04346	-0,0628
Variante 12	2	2	3	3	1	97	2	2	0,04192	-0,1450

**Fall 2**

	<b>Lärmmissionen</b>	<b>Geruchsemissionen</b>	<b>Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe</b>	<b>Störfallwahrscheinlichkeit</b>	<b>Reversibilität und Intensität des Störfalls</b>	<b>Luftbelastung</b>	<b>Wasserbelastung</b>	<b>Beeinträchtigung von Natur und Landschaft</b>	<b>Flächenverbrauch</b>	<b>Energiebilanz</b>
						$g\ CO_2/(E \cdot d)$			$m^2/E$	$kWh/(E \cdot d)$
Variante 1	2	2	3	3	1	97	2	2	0,03292	-0,0572
Variante 2	2	2	3	3	1	108	2	2	0,03292	-0,0572
Variante 3	2	2	3	3	1	108	2	2	0,03154	-0,1012
Variante 4	3	3	2	3	1	253	3	3	0,04846	-0,0572
Variante 5	2	2	3	3	1	264	2	2	0,04500	-0,1304
Variante 6	2	2	3	3	1	264	1	1	0,05415	-0,1745
Variante 7	3	3	2	3	1	264	2	2	0,07081	-0,1305
Variante 8	2	2	3	3	1	264	1	1	0,05500	-0,1745
Variante 9	3	3	2	3	1	108	2	2	0,07038	-0,1305
Variante 10	2	2	3	3	1	108	2	2	0,03154	-0,1012
Variante 11	3	3	2	3	1	253	3	3	0,04846	-0,0572
Variante 12	2	2	3	3	1	97	2	2	0,04500	-0,1304

Fall 3a

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Luftbelastung g CO <sub>2</sub> /(E•d)	Wasserbelastung	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Flächenverbrauch m <sup>2</sup> /E	Energiebilanz kWh/(E•d)
Variante 1	2	2	3	3	1	97	2	2	0,02327	-0,0566
Variante 2	2	2	3	3	1	108	2	2	0,02327	-0,0566
Variante 3	2	2	3	3	1	108	1,5	1,5	0,02144	-0,0987
Variante 4	2,5	2,5	2	2,5	1	253	2,5	2,5	0,04231	-0,0567
Variante 5	2	2	3	3	1	264	1,5	1,5	0,03346	-0,1266
Variante 6	2	2	3	3	1	264	1	1	0,03831	-0,1686
Variante 7	2,5	2,5	2	2,5	1	264	2	2	0,06154	-0,1267
Variante 8	2	2	3	3	1	264	1	1	0,03750	-0,1686
Variante 9	2,5	2,5	2	2,5	1	108	2	2	0,05346	-0,1267
Variante 10	2	2	3	3	1	108	1,5	1,5	0,02144	-0,0987
Variante 11	2,5	2,5	2	2,5	1	253	2,5	2,5	0,04231	-0,0567
Variante 12	2	2	3	3	1	97	1,5	1,5	0,03346	-0,1266

Fall 3b

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Luftbelastung g CO <sub>2</sub> /(E•d)	Wasserbelastung	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Flächenverbrauch m <sup>2</sup> /EW	Energiebilanz kWh/(E•d)
Variante 1	2	2	3	3	1	97	2	2	0,02327	-0,0548
Variante 2	2	2	3	3	1	108	2	2	0,02327	-0,0548
Variante 3	2	2	3	3	1	108	1,5	1,5	0,02144	-0,0968
Variante 4	2	2,5	2	2,5	1	253	2,5	3	0,04231	-0,0548
Variante 5	2	2	3	3	1	264	1,5	1,5	0,03346	-0,1247
Variante 6	2	2	3	3	1	264	1	1	0,03831	-0,1668
Variante 7	2	2,5	2	2,5	1	264	2	2,5	0,06154	-0,1248
Variante 8	2	2	3	3	1	264	1	1	0,03750	-0,1668
Variante 9	2	2,5	2	2,5	1	108	2	2,5	0,05346	-0,1248
Variante 10	2	2	3	3	1	108	1,5	1,5	0,02144	-0,0968
Variante 11	2	2,5	2	2,5	1	253	2,5	3	0,04231	-0,0548
Variante 12	2	2	3	3	1	97	1,5	1,5	0,03346	-0,1247

Fall 4a

	Lärmemissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Luftbelastung g CO <sub>2</sub> /(E•d)	Wasserbelastung	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Flächenverbrauch m <sup>2</sup> /E	Energiebilanz kWh/(E•d)
Variante 1	2	2	3	3	1	97	2	2	0,01675	-0,0539
Variante 2	2	2	3	3	1	108	2	2	0,01675	-0,0539
Variante 3	2	2	3	3	1	108	2	2	0,01942	-0,0945
Variante 4	3	3	2	3	1	253	3	3	0,02885	-0,0540
Variante 5	2	2	3	3	1	264	2	2	0,02385	-0,1214
Variante 6	2	2	3	3	1	264	1	1	0,03224	-0,1620
Variante 7	3	3	2	3	1	264	2	2	0,04904	-0,1215
Variante 8	2	2	3	3	1	264	1	1	0,03224	-0,1620
Variante 9	3	3	2	3	1	108	2	2	0,04327	-0,1215
Variante 10	2	2	3	3	1	108	2	2	0,01942	-0,0945
Variante 11	3	3	2	3	1	253	3	3	0,02885	-0,0540
Variante 12	2	2	3	3	1	97	2	2	0,02385	-0,1214

Fall 4b

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Luftbelastung g CO <sub>2</sub> /(E•d)	Wasserbelastung	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Flächenverbrauch m <sup>2</sup> /E	Energiebilanz kWh/(E•d)
Variante 1	2	2	3	3	1	97	2	2	0,01675	-0,0539
Variante 2	2	2	3	3	1	108	2	2	0,01675	-0,0539
Variante 3	2	2	3	3	1	108	2	2	0,01942	-0,0945
Variante 4	3	3	2	3	1	253	3	3	0,02885	-0,0540
Variante 5	2	2	3	3	1	264	2	2	0,02385	-0,1214
Variante 6	2	2	3	3	1	264	1	1	0,03224	-0,1620
Variante 7	3	3	2	3	1	264	2	2	0,04904	-0,1215
Variante 8	2	2	3	3	1	264	1	1	0,03224	-0,1620
Variante 9	3	3	2	3	1	108	2	2	0,04327	-0,1215
Variante 10	2	2	3	3	1	108	2	2	0,01942	-0,0945
Variante 11	3	3	2	3	1	253	3	3	0,02885	-0,0540
Variante 12	2	2	3	3	1	97	2	2	0,02385	-0,1214

Fall 5

	Lärmemissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Luftbelastung g CO <sub>2</sub> /(E•d)	Wasserbelastung	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Flächenverbrauch m <sup>2</sup> /E	Energiebilanz kWh/(E•d)
Variante 1	2	2	3	3	1	97	2	2	0,01544	-0,0513
Variante 2	2	2	3	3	1	108	2	2	0,01544	-0,0513
Variante 3	2	2	3	3	1	108	2	2	0,01572	-0,0884
Variante 4	3	3	2	3	1	253	3	3	0,02885	-0,0514
Variante 5	2	2	3	3	1	264	2	2	0,02322	-0,1130
Variante 6	2	2	3	3	1	264	1	1	0,03089	-0,1501
Variante 7	3	3	2	3	1	264	2	2	0,04760	-0,1131
Variante 8	2	2	3	3	1	264	1	1	0,03089	-0,1501
Variante 9	3	3	2	3	1	108	2	2	0,04375	-0,1131
Variante 10	2	2	3	3	1	108	2	2	0,01572	-0,0884
Variante 11	3	3	2	3	1	253	3	3	0,02885	-0,0514
Variante 12	2	2	3	3	1	97	2	2	0,02322	-0,1130



**A - 31: soziokulturelle Bewertung der Abwassertechnik im Gesamtsystem**

**Fall 1**

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abwasserentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	3	3	1,5	2	4	3	3,5	3,5	4
Variante 2	3	3	1,5	2	4	3	3,5	3,5	4
Variante 3	2,5	2,5	1,25	2	3	3	3,5	3,5	4
Variante 4	2	2	1,75	1,5	3	2,5	3	3	3,5
Variante 5	2,5	2,5	1,25	2	3,5	3	3,5	3,5	4
Variante 6	2	2	1	2	3	3	3,5	3,5	4
Variante 7	1,5	1,5	3	1,5	2,5	2,5	3	3	3,5
Variante 8	2	2	1	2	3	3	3,5	3,5	4
Variante 9	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	3	3	3,5
Variante 10	2,5	2,5	1,25	2	3,5	3	3,5	3,5	4
Variante 11	2	2	1,75	1,5	3	2,5	3	3	3,5
Variante 12	2,5	2,5	1,25	2	3,5	3	3,5	3,5	4

Fall 2

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abwasserentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	3	3	1,5	2	4	3	3,5	3,5	4
Variante 2	3	3	1,5	2	4	3	3,5	3,5	4
Variante 3	2,5	2,5	1,25	2	3	3	3,5	3,5	4
Variante 4	2	2	1,75	1,5	3	2,5	3	3	3,5
Variante 5	2,5	2,5	1,25	2	3,5	3	3,5	3,5	4
Variante 6	2	2	1	2	3	3	3,5	3,5	4
Variante 7	1,5	1,5	3	1,5	2,5	2,5	3	3	3,5
Variante 8	2	2	1	2	3	3	3,5	3,5	4
Variante 9	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	3	3	3,5
Variante 10	2,5	2,5	1,25	2	3,5	3	3,5	3,5	4
Variante 11	2	2	1,75	1,5	3	2,5	3	3	3,5
Variante 12	2,5	2,5	1,25	2	3,5	3	3,5	3,5	4

**Fall 3a**

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abwasserentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	3	3	1,5	2	3,5	3	3	3	4
Variante 2	3	3	1,5	2	3,5	3	3	3	4
Variante 3	2,5	2,5	1,25	2	2,5	3	3	3	4
Variante 4	2	2	1,75	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5
Variante 5	2,5	2,5	1,25	2	3	3	3	3	4
Variante 6	2	2	1	2	2,5	3	3	3	4
Variante 7	1,5	1,5	3	1,5	2	2,5	2,5	2,5	3,5
Variante 8	2	2	1	2	2,5	3	3	3	4
Variante 9	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2,5	2,5	2,5	3,5
Variante 10	2,5	2,5	1,25	2	3	3	3	3	4
Variante 11	2	2	1,75	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5
Variante 12	2,5	2,5	1,25	2	3	3	3	3	4

Fall 3b

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abwasserentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	3	3	1,5	2	0	3,5	3	3	3
Variante 2	3	3	1,5	2	0	3,5	3	3	3
Variante 3	2,5	2,5	1,25	2	0	2,5	3	3	3
Variante 4	2	2	1,75	1,5	0	2,5	2,5	2,5	2,5
Variante 5	2,5	2,5	1,25	2	0	3	3	3	3
Variante 6	2	2	1	2	0	2,5	3	3	3
Variante 7	1,5	1,5	3	1,5	0	2	2,5	2,5	2,5
Variante 8	2	2	1	2	0	2,5	3	3	3
Variante 9	1,5	1,5	1,5	1,5	0	2	2,5	2,5	2,5
Variante 10	2,5	2,5	1,25	2	0	3	3	3	3
Variante 11	2	2	1,75	1,5	0	2,5	2,5	2,5	2,5
Variante 12	2,5	2,5	1,25	2	0	3	3	3	3

**Fall 4a**

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abwasserentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	3	3	1,5	2	3	3	2,5	2,5	4
Variante 2	3	3	1,5	2	3	3	2,5	2,5	4
Variante 3	2,5	2,5	1,25	2	2	3	2,5	2,5	4
Variante 4	2	2	1,75	1,5	2	2,5	2	2	3,5
Variante 5	2,5	2,5	1,25	2	2,5	3	2,5	2,5	4
Variante 6	2	2	1	2	2	3	2,5	2,5	4
Variante 7	1,5	1,5	3	1,5	1,5	2,5	2	2	3,5
Variante 8	2	2	1	2	2	3	2,5	2,5	4
Variante 9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2	2	3,5
Variante 10	2,5	2,5	1,25	2	2,5	3	2,5	2,5	4
Variante 11	2	2	1,75	1,5	2	2,5	2	2	3,5
Variante 12	2,5	2,5	1,25	2	2,5	3	2,5	2,5	4

Fall 4b

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abwasserentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	3	3	1,5	2	0	3	3	2,5	2,5
Variante 2	3	3	1,5	2	0	3	3	2,5	2,5
Variante 3	2,5	2,5	1,25	2	0	2	3	2,5	2,5
Variante 4	2	2	1,75	1,5	0	2	2,5	2	2
Variante 5	2,5	2,5	1,25	2	0	2,5	3	2,5	2,5
Variante 6	2	2	1	2	0	2	3	2,5	2,5
Variante 7	1,5	1,5	3	1,5	0	1,5	2,5	2	2
Variante 8	2	2	1	2	0	2	3	2,5	2,5
Variante 9	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	2,5	2	2
Variante 10	2,5	2,5	1,25	2	0	2,5	3	2,5	2,5
Variante 11	2	2	1,75	1,5	0	2	2,5	2	2
Variante 12	2,5	2,5	1,25	2	0	2,5	3	2,5	2,5

## Fall 5

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abwasserentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	3	3	1,5	2	3	3	2	2	4
Variante 2	3	3	1,5	2	3	3	2	2	4
Variante 3	2,5	2,5	1,25	2	2	3	2	2	4
Variante 4	2	2	1,75	1,5	2	2,5	1,5	1,5	3,5
Variante 5	2,5	2,5	1,25	2	2,5	3	2	2	4
Variante 6	2	2	1	2	2	3	2	2	4
Variante 7	1,5	1,5	3	1,5	1,5	2,5	1,5	1,5	3,5
Variante 8	2	2	1	2	2	3	2	2	4
Variante 9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5	1,5	3,5
Variante 10	2,5	2,5	1,25	2	2,5	3	2	2	4
Variante 11	2	2	1,75	1,5	2	2,5	1,5	1,5	3,5
Variante 12	2,5	2,5	1,25	2	2,5	3	2	2	4

**A - 32: Transportenergie bei getrennter Bio- und Restabfallsammlung**

Varianten	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
1, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 32, 33, 34, 35, 36							
	<i>Wh/(E•d)</i>						
Transport innerhalb der Suprazelle	71	71	71	71	71	71	71
Transport vom Rand der Suprazelle zur Behandlung	0	64	127	64	254	127	254
Summe Transport zur Behandlung	71	134	198	134	325	198	325
Ferntransport	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Summe Transport	72	135	199	135	326	199	326



**A - 33: Transportenergie bei gemeinsamer Bio- und Restabfallsammlung**

Varianten	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
4, 5, 6, 7, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 26, 27, 28, 29, 30, 31							
	<i>Wh/(E•d)</i>						
Transport innerhalb der Suprazelle	110	110	110	110	110	110	110
Transport vom Rand der Suprazelle zur Behandlung	0	61	121	61	243	121	243
Summe Transport zur Behandlung	0	57	85	57	114	85	114
Summe Transport zur Behandlung	110	228	317	228	466	317	466
Ferntransport	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Summe Transport	110	228	317	228	467	317	467

A - 34: ökologische Bewertung der Abfalltechnik im Gesamtsystem

Fall 1

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Bodenbelastung	Luftbelastung g CO <sub>2</sub> /(E•d)	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Entstehung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle kg/(E•d)	Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle kg/(E•d)	Flächenverbrauch m <sup>2</sup> /E	Energiebilanz kWh/(E•d)
Variante 1	3	2	2	1	1	4	480	2	0	0,07	0,08	0,46
Variante 2	4	2,5	2	1	1	2	577	2	0	0,08	0,10	0,42
Variante 3	4	2,5	2	1	1	2	577	2	0	0,08	0,10	0,42
Variante 4	4	2,5	2	1	1	2	577	2	0	0,08	0,10	0,42
Variante 5	4	2,5	2	1	1	2	577	2	0	0,08	0,10	0,42
Variante 6	4	3	1	1	1	2	495	1,5	0	0,07	0,08	-0,09
Variante 7	4	3	1	1	1	2	495	1,5	0	0,07	0,08	-0,09
Variante 8	3	3	1	1	1	3	553	1,5	0	0,07	0,07	0,05
Variante 9	3	3	1	1	1	3	553	1,5	0	0,07	0,07	0,05
Variante 10	3	2	2	1	1	4	480	2	0	0,07	0,08	0,46
Variante 11	3	2	2	1	1	4	480	2	0	0,07	0,08	0,46
Variante 12	3	2	2	1	1	4	480	2	0	0,07	0,08	0,46

Fall 2

	Lärmemissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Bodenbelastung	Luftbelastung	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Entstehung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle	Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle	Flächenverbrauch	Energiebilanz
							$g\ CO_2/(E \cdot d)$		$kg/(E \cdot d)$	$kg/(E \cdot d)$	$m^2/E$	$kWh/(E \cdot d)$
Variante 1	3	2	2	1	1	4	512	1	0	0,07	0,05	0,40
Variante 2	4	3	2	1	1	2	635	1	0	0,08	0,06	0,30
Variante 3	4	3	2	1	1	2	635	1	0	0,08	0,06	0,30
Variante 4	4	3	2	1	1	2	635	1	0	0,08	0,06	0,30
Variante 5	4	3	2	1	1	2	635	1	0	0,08	0,06	0,30
Variante 6	4	3	1	1	1	2	554	1	0	0,07	0,05	-0,20
Variante 7	4	3	1	1	1	2	554	1	0	0,07	0,05	-0,20
Variante 8	3	3	1	1	1	3	584	1	0	0,07	0,04	-0,01
Variante 9	3	3	1	1	1	3	584	1	0	0,07	0,04	-0,01
Variante 10	3	2	2	1	1	4	512	1	0	0,07	0,05	0,40
Variante 11	3	2	2	1	1	4	512	1	0	0,07	0,05	0,40
Variante 12	3	2	2	1	1	4	512	1	0	0,07	0,05	0,40

Fall 3a

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Bodenbelastung	Luftbelastung <i>g CO<sub>2</sub>/(E•d)</i>	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Entstehung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle <i>kg/(E•d)</i>	Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle <i>kg/(E•d)</i>	Flächenverbrauch <i>m<sup>2</sup>/E</i>	Energiebilanz <i>kWh/(E•d)</i>
Variante 1	3	2	2	1	1	4	543	2	0	0,07	0,04	0,34
Variante 2	4	3	2	1	1	2	679	2	0	0,08	0,04	0,21
Variante 3	4	3	2	1	1	2	679	2	0	0,08	0,04	0,21
Variante 4	4	3	2	1	1	2	679	2	0	0,08	0,04	0,21
Variante 5	4	3	2	1	1	2	679	2	0	0,08	0,04	0,21
Variante 6	4	3	1	1	1	2	598	1	0	0,07	0,04	-0,29
Variante 7	4	3	1	1	1	2	598	1	0	0,07	0,04	-0,29
Variante 8	3	3	1	1	1	3	616	1	0	0,07	0,03	-0,08
Variante 9	3	3	1	1	1	3	616	1	0	0,07	0,03	-0,08
Variante 10	3	2	2	1	1	4	543	2	0	0,07	0,04	0,34
Variante 11	3	2	2	1	1	4	543	2	0	0,07	0,04	0,34
Variante 12	3	2	2	1	1	4	543	2	0	0,07	0,04	0,34

Fall 3b

	Lärmemissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Bodenbelastung	Luftbelastung	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Entstehung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle	Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle	Flächenverbrauch	Energiebilanz
							$g\ CO_2/(E \cdot d)$		$kg/(E \cdot d)$	$kg/(E \cdot d)$	$m^2/E$	$kWh/(E \cdot d)$
Variante 1	3	2	2	1	1	4	512	2	0	0,07	0,04	0,40
Variante 2	4	3	2	1	1	2	635	2	0	0,08	0,04	0,30
Variante 3	4	3	2	1	1	2	635	2	0	0,08	0,04	0,30
Variante 4	4	3	2	1	1	2	635	2	0	0,08	0,04	0,30
Variante 5	4	3	2	1	1	2	635	2	0	0,08	0,04	0,30
Variante 6	4	3	1	1	1	2	554	1	0	0,07	0,04	-0,20
Variante 7	4	3	1	1	1	2	554	1	0	0,07	0,04	-0,20
Variante 8	3	3	1	1	1	3	584	1	0	0,07	0,03	-0,01
Variante 9	3	3	1	1	1	3	584	1	0	0,07	0,03	-0,01
Variante 10	3	2	2	1	1	4	512	2	0	0,07	0,04	0,40
Variante 11	3	2	2	1	1	4	512	2	0	0,07	0,04	0,40
Variante 12	3	2	2	1	1	4	512	2	0	0,07	0,04	0,40

Fall 4a

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Bodenbelastung	Luftbelastung <i>g CO<sub>2</sub>/(E•d)</i>	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Entstehung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle <i>kg/(E•d)</i>	Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle <i>kg/(E•d)</i>	Flächenverbrauch <i>m<sup>2</sup>/E</i>	Energiebilanz <i>kWh/(E•d)</i>
Variante 1	3	2	2	1	1	4	606	2	0	0,07	0,03	0,21
Variante 2	4	3	2	1	1	2	753	2	0	0,08	0,03	0,06
Variante 3	4	3	2	1	1	2	753	2	0	0,08	0,03	0,06
Variante 4	4	3	2	1	1	2	753	2	0	0,08	0,03	0,06
Variante 5	4	3	2	1	1	2	753	2	0	0,08	0,03	0,06
Variante 6	4	3	1	1	1	2	672	1	0	0,07	0,02	-0,44
Variante 7	4	3	1	1	1	2	672	1	0	0,07	0,02	-0,44
Variante 8	3	3	1	1	1	3	679	1	0	0,07	0,02	-0,20
Variante 9	3	3	1	1	1	3	679	1	0	0,07	0,02	-0,20
Variante 10	3	2	2	1	1	4	606	2	0	0,07	0,03	0,21
Variante 11	3	2	2	1	1	4	606	2	0	0,07	0,03	0,21
Variante 12	3	2	2	1	1	4	606	2	0	0,07	0,03	0,21

Fall 4b

	Lärmemissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Bodenbelastung	Luftbelastung	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Entstehung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle	Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle	Flächenverbrauch	Energiebilanz
							g CO <sub>2</sub> /(E•d)		kg/(E•d)	kg/(E•d)	m <sup>2</sup> /E	kWh/(E•d)
Variante 1	3	2	2	1	1	4	543	2	0	0,07	0,03	0,34
Variante 2	4	3	2	1	1	2	679	2	0	0,08	0,03	0,21
Variante 3	4	3	2	1	1	2	679	2	0	0,08	0,03	0,21
Variante 4	4	3	2	1	1	2	679	2	0	0,08	0,03	0,21
Variante 5	4	3	2	1	1	2	679	2	0	0,08	0,03	0,21
Variante 6	4	3	1	1	1	2	598	1	0	0,07	0,02	-0,29
Variante 7	4	3	1	1	1	2	598	1	0	0,07	0,02	-0,29
Variante 8	3	3	1	1	1	3	616	1	0	0,07	0,02	-0,08
Variante 9	3	3	1	1	1	3	616	1	0	0,07	0,02	-0,08
Variante 10	3	2	2	1	1	4	543	2	0	0,07	0,03	0,34
Variante 11	3	2	2	1	1	4	543	2	0	0,07	0,03	0,34
Variante 12	3	2	2	1	1	4	543	2	0	0,07	0,03	0,34

Fall 5

	Lärmmissionen	Geruchsemissionen	Risiko durch eingesetzte / verwendete Stoffe	Störfallwahrscheinlichkeit	Reversibilität und Intensität des Störfalls	Bodenbelastung	Luftbelastung <i>g CO<sub>2</sub>/(E•d)</i>	Beeinträchtigung von Natur und Landschaft	Entstehung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle <i>kg/(E•d)</i>	Entstehung überwachungsbedürftiger Abfälle <i>kg/(E•d)</i>	Flächenverbrauch <i>m<sup>2</sup>/E</i>	Energiebilanz <i>kWh/(E•d)</i>
Variante 1	3	2	2	1	1	4	606	1	0	0,07	0,08	0,21
Variante 2	4	2,5	2	1	1	2	753	1	0	0,08	0,10	0,06
Variante 3	4	2,5	2	1	1	2	753	1	0	0,08	0,10	0,06
Variante 4	4	2,5	2	1	1	2	753	1	0	0,08	0,10	0,06
Variante 5	4	2,5	2	1	1	2	753	1	0	0,08	0,10	0,06
Variante 6	4	3	1	1	1	2	672	1	0	0,07	0,08	-0,44
Variante 7	4	3	1	1	1	2	672	1	0	0,07	0,08	-0,44
Variante 8	3	3	1	1	1	3	679	1	0	0,07	0,07	-0,20
Variante 9	3	3	1	1	1	3	679	1	0	0,07	0,07	-0,20
Variante 10	3	2	2	1	1	4	606	1	0	0,07	0,08	0,21
Variante 11	3	2	2	1	1	4	606	1	0	0,07	0,08	0,21
Variante 12	3	2	2	1	1	4	606	1	0	0,07	0,08	0,21



**A - 35: soziokulturelle Bewertung der Abfalltechnik im Gesamtsystem**

**Fall 1**

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abfallentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	1	1	1	3	3	4	2	1	4
Variante 2	2	2	2	3	3	3	1	1	3
Variante 3	2	2	2	3	3	3	1	1	3
Variante 4	2	2	2	3	3	3	1	1	3
Variante 5	2	2	2	3	3	3	1	1	3
Variante 6	2	2	2	2	1	2	1	1	2
Variante 7	2	2	2	2	1	2	1	1	2
Variante 8	1	1	1	2	1	2	2	1	2
Variante 9	1	1	1	2	1	2	2	1	2
Variante 10	1	1	1	3	3	4	2	1	4
Variante 11	1	1	1	3	3	4	2	1	4
Variante 12	1	1	1	3	3	4	2	1	4

## Fall 2

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abfallentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	1	1	1	3	3	4	2	1	4
Variante 2	2	2	2	3	3	3	1	1	3
Variante 3	2	2	2	3	3	3	1	1	3
Variante 4	2	2	2	3	3	3	1	1	3
Variante 5	2	2	2	3	3	3	1	1	3
Variante 6	2	2	2	2	1	2	1	1	2
Variante 7	2	2	2	2	1	2	1	1	2
Variante 8	1	1	1	2	1	2	2	1	2
Variante 9	1	1	1	2	1	2	2	1	2
Variante 10	1	1	1	3	3	4	2	1	4
Variante 11	1	1	1	3	3	4	2	1	4
Variante 12	1	1	1	3	3	4	2	1	4

Fall 3a/b

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abfallentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	1	1	1	2	3	2	2	1	4
Variante 2	2	2	2	2	3	2	1	1	3
Variante 3	2	2	2	2	3	2	1	1	3
Variante 4	2	2	2	2	3	2	1	1	3
Variante 5	2	2	2	2	3	2	1	1	3
Variante 6	2	2	2	1	1	1	1	1	2
Variante 7	2	2	2	1	1	1	1	1	2
Variante 8	1	1	1	1	1	1	2	1	2
Variante 9	1	1	1	1	1	1	2	1	2
Variante 10	1	1	1	2	3	2	2	1	4
Variante 11	1	1	1	2	3	2	2	1	4
Variante 12	1	1	1	2	3	2	2	1	4

Fall 4a/b

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abfallentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	1	1	1	2	3	2	2	1	4
Variante 2	2	2	2	2	3	2	1	1	3
Variante 3	2	2	2	2	3	2	1	1	3
Variante 4	2	2	2	2	3	2	1	1	3
Variante 5	2	2	2	2	3	2	1	1	3
Variante 6	2	2	2	1	1	1	1	1	2
Variante 7	2	2	2	1	1	1	1	1	2
Variante 8	1	1	1	1	1	1	2	1	2
Variante 9	1	1	1	1	1	1	2	1	2
Variante 10	1	1	1	2	3	2	2	1	4
Variante 11	1	1	1	2	3	2	2	1	4
Variante 12	1	1	1	2	3	2	2	1	4

## Fall 5

	<b>Nutzerfreundlichkeit durch einfache Bedienung</b>	<b>Transparenz des Systems</b>	<b>Sicherung des Status-Quo in Sachen Komfort</b>	<b>permanent sichere Abfallentsorgung</b>	<b>Systemtoleranz gegenüber Mengenschwankungen</b>	<b>Systemtoleranz bzgl. Bedienungsfehlern</b>	<b>Personalaufwand</b>	<b>Zeitintensität der Betreuung</b>	<b>Qualitätsintensität der technischen Betreuung</b>
Variante 1	1	1	1	2	2	4	2	1	4
Variante 2	2	2	2	2	2	3	1	1	3
Variante 3	2	2	2	2	2	3	1	1	3
Variante 4	2	2	2	2	2	3	1	1	3
Variante 5	2	2	2	2	2	3	1	1	3
Variante 6	2	2	2	1	1	2	1	1	2
Variante 7	2	2	2	1	1	2	1	1	2
Variante 8	1	1	1	1	1	2	2	1	2
Variante 9	1	1	1	1	1	2	2	1	2
Variante 10	1	1	1	2	2	4	2	1	4
Variante 11	1	1	1	2	2	4	2	1	4
Variante 12	1	1	1	2	2	4	2	1	4

**A - 36: Absolute Investitions-, Betriebs- und Personalkosten Abfallbehandlung**

Varianten	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
8, 9, 20, 21, 32, 33							
Bautechnik	2.776	3.148	3.890	3.890	5.374	5.374	8.343
Anlagentechnik	3.413	3.832	4.670	4.670	6.348	6.348	9.702
Sammelfahrzeuge	340	340	340	340	340	340	340
Radlader	64	127	254	254	509	509	1.018
Summe Investitionskosten	6.593	7.447	9.155	9.155	12.571	12.571	19.403
Betriebs- und Personalkosten	599	737	1.118	997	2.372	1.890	4.135

Varianten	Fälle						
	1	2	3a	3b	4a	4b	5
1, 10, 11, 12, 13, 22, 23, 24, 25, 34, 35, 36							
Bautechnik	6.239	7.171	9.034	9.034	12.761	12.761	20.215
Anlagentechnik	2.431	3.329	5.124	5.124	8.715	8.715	15.896
Sammelfahrzeuge	340	340	340	340	340	340	340
Radlader	64	127	254	254	509	509	1.018
Summe Investitionskosten	9.074	10.967	14.753	14.753	22.325	22.325	37.469
Betriebs- und Personalkosten	399	411	495	375	1.113	631	1.646

<b>Varianten</b>	<b>Fälle</b>						
2, 3, 4, 5, 14, 15, 16, 17, 26, 27, 28, 29	1	2	3a	3b	4a	4b	5
Bautechnik	6.239	7.171	9.034	9.034	12.761	12.761	20.215
Anlagentechnik	5.402	6.276	8.025	8.025	11.524	11.524	18.520
Sammelfahrzeuge	340	340	340	340	340	340	340
Radlader	64	127	254	254	509	509	1.018
Summe Investitionskosten	12.044	13.914	17.654	17.654	25.134	25.134	40.093
Betriebs- und Personalkosten	413	489	698	529	1.605	1.037	2.630

<b>Varianten</b>	<b>Fälle</b>						
6, 7, 18, 19, 30, 31	1	2	3a	3b	4a	4b	5
Bautechnik	3.092	3.778	5.151	5.151	7.898	7.898	13.390
Anlagentechnik	3.769	4.545	6.096	6.096	9.199	9.199	15.404
Sammelfahrzeuge	340	340	340	340	340	340	340
Radlader	64	127	254	254	509	509	1.018
Summe Investitionskosten	7.264	8.790	11.842	11.842	17.945	17.945	30.152
Betriebs- und Personalkosten	681	997	1.686	1.516	3.550	2.982	6.491