

## DEZENTRALE SANITÄRSYSTEME – EINE VERGLEICHENDE FALLSTUDIE VON PILOTPROJEKTEN MIT STOFFSTROMTRENNUNG UNTER EINBEZUG VON HOTELBAUTEN

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades

**"Master of Arts and Science in Sustainable Development"**

eingereicht an der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel  
von Priska Sacher, Matrikelnummer 08-067-035, p.sacher@gmx.ch

**Hauptbetreuerin:** Prof. Dr. Patricia Holm  
Leiterin des Instituts Mensch Gesellschaft Umwelt (MGU)  
Departement Umwelt Naturwissenschaften, Universität Basel

**Co-Betreuer:** PD Dr. Heiko Gebauer  
Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung CIRUS, Eawag Dübendorf  
Lehrbeauftragter der Universität St. Gallen

Eingereicht am 6. Februar 2012, ergänzte Fassung Juli 2012.

---

## DANK

Prof. Dr. Patricia Holm und PD Dr. Heiko Gebauer danke ich für die Betreuung und die wertvollen Anregungen auf dem Weg zum Ziel, der Eawag, insbesondere der Abteilung CIRUS, für die finanzielle Unterstützung, Birgit Althaler für das Korrektorat.

Im Weiteren gibt es eine Reihe von Personen, die mir vor, während und nach der Datenerfassung für die Fallstudie Red und Antwort standen. Dies sind die Gesprächspartner für die Expertengespräche, die Bezugspersonen für die Pilotprojekte, welche auch die Erfassungsbögen ausfüllten, sowie jene Personen (Behördenvertreter, Hersteller etc.), die mir Fragen bezüglich der Umsetzung von Pilotprojekten beantworteten. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Ferner ist auch den Personen rund um meinen Arbeitsplatz in der Abteilung MGU zu danken, sei es für die technische oder wissenschaftliche Beratung, für Übersetzung oder nur für die Mitleidenschaft. Und nicht zuletzt meinen Liebsten für ihre Unterstützung und ihr entgegengebrachtes Verständnis für das fokussieren auf diese Arbeit.

---

## ABSTRACT

Anhand von 16 Pilotprojekten mit dezentraler Abwasseraufbereitung, mehrheitlich in Mitteleuropa werden sechs unterschiedliche Arten von Stoffstromtrennung untersucht. Gefragt wird, welche neuartigen Sanitärsysteme für Hotels geeignet sind. Es erfolgt eine Analyse über die Charakteristika der Stoffstromsysteme. Auf einer Datenerhebung basierend, werden Vergleichswerte zu den Parametern Wasserverbrauch, Energieverbrauch, Flächenverbrauch, Erstellungskosten, Betriebskosten und Wasserkosten berechnet und verglichen. Für die Forschungs- und angewandten Projekte liegen detaillierte Unterlagen vor. Daneben fließen Expertenmeinungen von Schweizer Planern in die Diskussion ein. Die Hypothese, dass Hotels für eine kommerzielle Markteinführung von dezentralen Abwassersystemen geeignet sind, kann nur teilweise bestätigt werden. Ein Ausblick zeigt, wie dies erfolgen könnte.

*Based on 16 pilot projects with decentralized wastewater treatment mainly in Central Europe, six different types of material flow separation systems are investigated in this research paper to explore if the new sanitation systems are suitable for hotels. An analysis of the characteristics of the material flow systems has been completed. Based on a data collection, comparison values on the parameters of water consumption, energy consumption, land use, construction costs, operating costs and water costs are calculated and compared. For the research and applied projects, detailed documents are available within this work. In addition, expert opinions of Swiss designers are incorporated in the paper. The hypothesis that hotels are suitable for a commercial launch of decentralized wastewater systems can be confirmed only partially. A perspective shows how this could be done.*

---

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>DANK</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>4</b>
<b>ABKÜRZUNGEN</b> .....	<b>7</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>9</b>
1.1 PROBLEMSTELLUNG .....	9
1.2 STAND DES WISSENS.....	12
1.3 MOTIVATION.....	13
1.4 FORSCHUNGSFRAGE.....	14
1.5 METHODE.....	16
1.5.1 <i>Literaturrecherche</i> .....	16
1.5.2 <i>Architektenbefragung und Recherche zu Gebäudezertifizierung</i> .....	17
1.5.3 <i>Experteninterviews</i> .....	17
1.5.4 <i>Analyse der Stoffstromsysteme</i> .....	17
1.5.5 <i>Vergleichende Fallstudie mit Pilotprojekten</i> .....	18
1.5.6 <i>Recherche zum Thema Hotel</i> .....	20
1.5.7 <i>Einschränkung der Fragestellung</i> .....	20
1.5.8 <i>Ergänzte Version der Masterarbeit</i> .....	21
<b>2 THEORIE</b> .....	<b>22</b>
2.1 BEGRIFFE .....	22
2.2 BEZUG ZU NACHHALTIGKEIT .....	26
2.3 ABWASSER .....	27
2.3.1 <i>Definition Abwasser</i> .....	27
2.3.2 <i>Häusliches Abwasser</i> .....	27
2.3.3 <i>Menge des häuslichen Abwassers/Wasserverbrauch</i> .....	28
2.3.4 <i>Zusammensetzung der Stoffströme</i> .....	28
2.4 ABWASSERBEHANDLUNG .....	30
2.4.1 <i>Zentrale Abwasseraufbereitung</i> .....	30
2.4.2 <i>Dezentrale Abwasserbehandlung</i> .....	31
2.4.3 <i>Behandlung von Grauwasser</i> .....	32
2.4.4 <i>Behandlung von Schwarz- und Braunwasser</i> .....	33

---

2.4.5	<i>Behandlung von Fäkalien aus Trockentoiletten</i>	34
2.4.6	<i>Behandlung von Urin, Urintrennung</i>	34
2.4.7	<i>Mikroschadstoffe</i>	35
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>36</b>
3.1	LITERATURRECHERCHE	36
3.2	ARCHITEKTENBEFRAGUNG	38
3.3	EXPERTENINTERVIEWS	38
3.4	DIE SANITÄRSYSTEME	41
3.4.1	<i>Die Systematik</i>	41
3.4.2	<i>Aufbau der Stoffstromsysteme und die Zielprodukte</i>	43
3.4.3	<i>System 1: 1-Stoffstromtrennung</i>	44
3.4.4	<i>System 2: Schwarzwasser 2-Stoffstromtrennung</i>	44
3.4.5	<i>System 3: Urintrennung 2-Stoffstromtrennung</i>	45
3.4.6	<i>System 4: Urintrennung 3-Stoffstromtrennung</i>	45
3.4.7	<i>System 5: Fäkalien 2-Stoffstromtrennung mit Trockentoiletten</i>	48
3.4.8	<i>System 6: Urintrennung 3-Stoffstromtrennung mit Trockentoiletten</i>	50
3.4.9	<i>Platz und Kosten für zusätzliche Leitungen</i>	50
3.5	PILOTPROJEKTE: DATENERHEBUNG	52
3.6	PILOTPROJEKTE: PROJEKTBESCHRIEBE	53
3.7	PILOTPROJEKTE: AUSWERTUNG DER DATEN	54
3.7.1	<i>Aufbau der Pilotprojekte</i>	54
3.7.2	<i>Berechnungsgrundlagen für die Vergleichswerte (Benchmarks)</i>	55
3.7.3	<i>Gegenüberstellung der Vergleichswerte</i>	56
3.7.4	<i>Lehren aus den Pilotprojekten</i>	59
3.7.5	<i>Akzeptanz der Nutzer</i>	60
3.8	MERKMALE VON HOTELS	62
3.8.1	<i>Der Zweck von Hotels</i>	62
3.8.2	<i>Einflussfaktoren für den Wasserverbrauch für Hotels</i>	62
3.8.3	<i>Renovations- und Umbauzyklus</i>	65
3.8.4	<i>Verwendungszwecke von Produkten aus der Stoffstromtrennung</i>	65
3.8.5	<i>Anreize zum Einbezug von Nachhaltigkeitsaspekten in der Hotelbranche</i>	65
<b>4</b>	<b>ANALYSE UND DISKUSSION</b>	<b>66</b>
4.1	ANALYSE DER RESULTATE	66
4.2	EIGNUNG DER SYSTEME FÜR HOTELS	69

---

4.3	HINDERNISSE .....	75
4.4	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN .....	76
4.4.1	<i>Geeignete Systeme für Hotels</i> .....	76
4.4.2	<i>Empfehlungen für Projektbeteiligte</i> .....	77
4.4.3	<i>Entwicklungsperspektive</i> .....	79
4.5	ÜBERPRÜFUNG DER ARBEITSHYPOTHESE .....	80
<b>5</b>	<b>SCHLUSSTEIL .....</b>	<b>81</b>
5.1	ZUSAMMENFASSUNG .....	81
5.2	SCHLUSSFOLGERUNGEN .....	83
<b>6</b>	<b>QUELLENVERZEICHNISSE .....</b>	<b>85</b>
6.1	LITERATURVERZEICHNIS .....	85
6.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	89
6.3	TABELLENVERZEICHNIS .....	89
<b>7</b>	<b>ANHANG A (ALLGEMEIN) .....</b>	<b>91</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG B (EXPERTENINTERVIEWS) .....</b>	
<b>9</b>	<b>ANHANG C (ERFASSUNGSBÖGEN) .....</b>	

---

## ABKÜRZUNGEN

Die Erklärungen zu den Begriffen sind in Kap. 2.1 (Begriffe) zu finden.

Anm.	Anmerkung
Anz.	Anzahl
ARA	Abwasserreinigungsanstalt
AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
B1–B7	Befragter 1–7 (für die Interviews)
Ben.	Benutzer
Bew.	Bewohner
BL	Basel-Landschaft
BSB <sub>5</sub>	biochemischer Sauerstoffbedarf (5 Tage)
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
d	Tag (day)
DIN	Deutsche Industrienorm
Ecosan	"Ecological Sanitation"
EW	Einwohner
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
FH	Fachhochschule
HRAR	"High Rate Anaerobic Reactor"; anaerobes biologisches Hochlastverfahren
HTL	Höhere Technische Lehranstalt
K	Kalium
l	Liter
MBR	Membranbioreaktor
N	Stickstoff
NASS	Neuartige Sanitärsysteme
NH	Nachhaltigkeit
oTS	organische Trockensubstanz
P	Phosphor
p	Person
Proj.	Projekt
P X.X	Projekt X.X (Projektnummer, Kurzbezeichnung für die Pilotprojekte)
PKA	Pflanzenkläranlage
ps	Kürzel der Autorin

---

S	Schwefel
SBR	"Sequencing Batch Reactor"
Sx	System x (Kurzbezeichnung für die Stoffstrom-Trennsysteme)
TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff (total organic carbon), Summenparameter
UV	ultraviolett
Ü	Übernachtung
Vol	Volumen/Volumenstrom
VSA	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
VT	Vakuumtoiletten
WE	Wohneinheiten

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Problemstellung

Ohne Wasser kein Überleben, dessen sind wir uns alle bewusst. Weniger bekannt ist, dass Phosphor ebenso lebenswichtig und eine endliche Ressource<sup>1</sup> ist (Cordell et al., 2009, 13).

### Vom Einweg- zum Kreislaufsystem

Täglich werden Unmengen von Wasser eingesetzt, um Abfälle (Fäkalien) durch das Kanalsystem in die Abwasserreinigungsanlage zu spülen. Dabei dient Wasser nur als Transportmedium für den Abfall. Das verwendete Wasser ist in den meisten Fällen vor dem Spülen des WCs Trinkwasser. In der ARA werden verschiedene Abwässer vermisch (siehe Abb. 1) und unter Anwendung aufwändiger Verfahren aufgetrennt, um möglichst gereinigt dem Ökosystem übergeben werden zu können. In der ARA kann abhängig von der Reinigungsleistung jedoch nur ein Teil der eingetragenen Nährstoffe und Mikroverunreinigungen eliminiert werden, der Rest gelangt mit dem gereinigten ARA-Abwasser in die Gewässer. Diese Verunreinigungen können Einwirkungen auf die Wasserlebewesen und über die Nahrungskette auch auf den Mensch haben. Bei mit ARA-Abwässern vermishtem Flusswasser beispielsweise wurde aufgrund von endokrinen Disruptoren<sup>2</sup> Verweiblichung bei Fischmännchen festgestellt (Burkhardt-Holm, 2010). Die sich in den Gewässern akkumulierenden Nährstoffe Phosphor und Stickstoff führen zu Eutrophierung in Seen und Meeren.

Das Vermischen der unterschiedlichen Abwässer führt zur Verunreinigung des Klärschlammes mit diversen Schad- und Risikostoffen<sup>3</sup>. Dies weckte zunehmend Bedenken bezüglich Lebensmittelsicherheit, Gesundheit und Umweltauswirkungen, was zum politischen Entscheid führte, die Verwendung von Klärschlamm zu beschränken<sup>4</sup>. (Kupper, 2008) Das Ausbringverbot für Klärschlamm führte somit von einem (teilweisen) Kreislaufsystem zu einem Durchflusssystem. Der Klärschlamm wird seither verbrannt, die Nährstoffe verbleiben in der Schlacke und werden anschlies-

---

<sup>1</sup> Je nach Quelle wird prognostiziert, dass die Phosphorreserven in den nächsten 50 bis 100 Jahren erschöpft sein werden

<sup>2</sup> Hormonähnliche Stoffe.

<sup>3</sup> Schwermetalle, BSE-Erreger sowie diverse organische Schadstoffe: polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe; (PAK; Produkte aus unvollständigen Verbrennungsprozessen von Kohlenstoffwasserstoffen), polychlorierte Biphenyle (PCB; Weichmacher für Kunststoffe), Organochlor-Pestizide (OPC; u.a. Lindan, DDT sowie auch "Persistant Organic Pollutants", POPs), Phtalate (Weichmacher), UV-Filter (in Sonnenschutzmitteln und Kunststoffprodukten), Biozide, polyzyklische Moschus-Verbindungen (PMV; synthetische Duftstoffe), polybromierte Flammschutzmittel, Nonylphenolpolyethoxylate (NPnEO). (Kupper, 2008)

<sup>4</sup> 1992 wurde die Verwendung von Klärschlamm auf Dauergrünflächen, Obst- und Gemüsebauflächen in Deutschland, 2003 in der Schweiz verboten. Ab 1997 war Klärschlamm für die Bioproduktion nicht mehr zugelassen, ab 2006 wurde die Verwendung des Klärschlammes als Dünger aufgrund nicht kalkulierbarer gesundheitlicher und ökotoxikologisch abschätzbarer Risiken (Lebensmittelsicherheit, Gesundheit und Umweltauswirkung) gänzlich verboten. (Kupper, 2008)

send deponiert. Die Rückgewinnung von Phosphor aus der Klärschlammasche wird erforscht, ist aber noch nicht reif für die grossmassstäbliche Umsetzung.

### Getrennt aufbereiten statt vermischen und wiederverwenden

Umso stärker verdünnt eine Lösung ist, umso schwieriger und aufwändiger wird es, die gelösten Stoffe zurückzugewinnen respektive zu eliminieren. So auch bei Abwasser. Einfacher ist es, die Stoffe gar nicht erst mit Wasser zu vermischen, denn wesentliche Anteile des vom Menschen ausgeschiedenen Stickstoffes und des Phosphors sind im Urin enthalten. Beispielsweise könnte Urin vor dem Vermischen mit dem Abwasser separiert und zu Dünger aufbereitet werden. Gleichzeitig würden dadurch auch die Mikroschadstoffe im ARA-Abwasser reduziert, denn durchschnittlich zwei Drittel der pharmazeutischen Produkte, die wir einnehmen, werden mit dem Urin wieder ausgeschieden. (Larsen/Lienert, 2007) Das Einbringen von Mikroschadstoffen in den Boden ist noch wenig erforscht. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass ihr Eintrag in den Boden weniger problematisch ist, als ins Wasser, da diese Substanzen in aeroben, biologisch aktiven Bodenschichten (in hohen Konzentrationen und mit langer Aufenthaltsdauer) besser abgebaut werden als in Gewässern (mit relativ niedrigen Konzentrationen und kurzer Aufenthaltsdauer). (Von Münch, 2009) Die Urintrennung ist ein Ansatz unter weiteren der neuartigen Sanitärsystemen.

### Knappe Ressourcen

Das Bevölkerungswachstum führt zur Verknappung verschiedener Ressourcen, insbesondere von sauberem Wasser zum Trinken und zur Nahrungsproduktion. Längst basiert die Lebensgrundlage vieler Menschen auf Grundwasserreserven, welche immer stärker genutzt werden. Wird mehr Wasser entnommen, als nachfließt, besteht die Gefahr, dass sich der Wasserspeicher entleert oder in Küstenregionen mit salzhaltigem Meerwasser auffüllt und damit unbrauchbar wird. Verunreinigungen der Süsswasserreserven (Flüsse, Seen, Aquifere) durch verunreinigtes Wasser sowie die Klimaerwärmung verschärfen die Ressourcenknappheit. Ein geringer Wasserverbrauch hält die Probleme wie auch die dadurch entstehenden Kosten in Grenzen.

Zur Nahrungsmittelproduktion braucht es neben Wasser und Boden auch Nährstoffe (N, P, K). Stickstoff kann unter hohem Energieeinsatz aus der Luft gewonnen werden. Phosphor hingegen kommt in der Erdkruste mehrheitlich in gebundener Form als Phosphat vor. Die grössten Vorkommen sind in Marokko, China und USA. Verschiedene Studien zeigen auf, dass die Phosphorreserven in den nächsten 50 bis 100 Jahren erschöpft sein werden. (Cordell et al., 2009)

### Einschränkungen des konventionellen Abwassersystems

Um Abwasser mit dem herkömmlichen System aufzubereiten, braucht es eine entsprechende Infrastruktur: die ausreichende Versorgung mit fließendem Spülwasser, eine funktionstüchtige, richtig dimensionierte<sup>5</sup> ARA und ein wasserdichtes Kanalnetz, das alle Abwassererzeuger anbindet.

Eine ARA wird auf eine erwartete Abwassermenge ausgelegt und hat eine obere Kapazitätsgrenze. Wenn ein Stadtteil unkontrolliert und schnell wächst, wie dies bei informellen Siedlungen oft der Fall ist, ist möglicherweise die Kapazität der Infrastruktur bereits vor Fertigstellung der Anlage zu klein. Einen Stadtteil im Nachhinein an eine ARA anschliessen, ist aufwändig und mit hohen Kosten verbunden. Um das Leitungsnetz wasserdicht zu erhalten, muss es fortlaufend gewartet werden, was ebenfalls Kosten verursacht. Gerade in Ländern mit hohem Zuwachs fehlt es jedoch meist an Geld, an Wasser oder an beidem um ein solches Abwasserinfrastruktursystem zu erstellen. Folglich fliesst das ungereinigte Abwasser in offenen Gräben in den nächsten Fluss oder versickert vorweg, was oft zu Verschmutzung, Eutrophierung, Hygieneproblemen und folglich zu Krankheiten führt.

Gegen unten gibt es die Grenze der Wirtschaftlichkeit. Bei sinkenden Einwohnerzahlen in schrumpfenden Regionen (beispielsweise im Osten Deutschlands) wird die Wasseraufbereitung immer teurer, da die Kosten<sup>6</sup> unter immer weniger Einwohnern aufgeteilt werden müssen.

### Grundvoraussetzungen

Die Voraussetzungen zum Einsatz einer Technologie in einem Industrie- oder Entwicklungsland sind unterschiedlich. In einem Entwicklungsland muss eine Anlage günstig und einfach zu betreiben und robust sein, in einem Industrieland können teurere Technologien mit einem höheren Wartungs- und Überwachungsaufwand eingesetzt werden. Geografische, klimatische und kulturelle Bedingungen müssen ebenso beachtet werden.

### Gebäudetyp/Nutzung

Die Wahl des Gebäudes spielt eine entscheidende Rolle dabei, ob eine dezentrale Abwasseraufbereitungsanlage effizient betrieben werden kann. Je nach Grösse und Nutzung variiert die Zusammensetzung und Menge des anfallenden Wassers sowie der Fokus auf die Produkte zur Wiederverwendung. Eher als beim Kleinverbraucher kann sie bei einem Grossverbraucher kostendeckend eingesetzt werden. Ein Hotel beispielsweise weist einen hohen Wasserverbrauch auf. Einerseits verbraucht der Gast im Hotel (300–600 l) (Ronstedt/Frey, 2011) weit mehr Wasser zur Körperhygiene als Zuhause (140–180 l), andererseits gehören mit steigender Sternenzahl Anlagen mit hohem Wasserverbrauch zur Hotelinfrastruktur, wie beispielsweise Saunen, Pools oder Grünflächen. Nicht jede

<sup>5</sup> Nicht zu gross, nicht zu klein: Die Durchflussmenge für einen optimalen Betrieb entspricht der Anzahl der angeschlossenen Einwohner.

<sup>6</sup> Fixkosten und laufende Kosten werden aufgeteilt, wobei vor allem die Fixkosten (jene Kosten, die unabhängig von der behandelten Wassermenge anfallen) ins Gewicht fallen.

Wassernutzung benötigt Trinkwasserqualität, und so ist die Idee naheliegend, in Hotels Wasser zur Zweitnutzung aufzubereiten. Ferienhotels befinden sich grösstenteils in Ländern mit wenig Niederschlag und oft an ökologisch sensiblen Standorten. Sie sind jedoch auf die Verfügbarkeit von Frischwasser angewiesen. Der Einsatz von neuartigen Sanitärsystemen kann helfen, den Frischwasserverbrauch zu reduzieren und damit negative Umwelteinflüsse wie auch die Konkurrenz gegenüber anderen Nutzungen zu reduzieren.

### Lösungsansatz dezentrale Systeme

Dem konventionellen System der ARA stehen dezentrale Systeme gegenüber, welche in kleinen Einheiten eigenständig funktionieren und das Abwasser vor Ort zur Wiederverwendung aufbereiten. Mittels unterschiedlicher Systeme und Verfahren werden die Teilströme des häuslichen Abwassers (meist nur einer) zur Wiederverwendung einzelner Inhaltsstoffe aufbereitet. In letzter Konsequenz zielen dezentrale Systeme auf die vollständige Unabhängigkeit der Abwasserentsorgung, wozu es jedoch kaum Projektbeispiele gibt.

## 1.2 Stand des Wissens

### Wissensdiffusion

In Fachkreisen sind alternative Sanitärsysteme seit längerem ein Thema. Bei Planern und in der breiten Öffentlichkeit sind sie jedoch noch wenig bekannt, Massnahmen zum Wassersparen hingegen schon. In der Gebäudezertifizierung für nachhaltiges Bauen (LEEDS, DGNB, BREEAM etc.) sind bezüglich der Ressource Wasser der Wasserverbrauch sowie der Einsatz von Systemen zur Wasserwiederverwendung die am häufigsten eingesetzten Prüfkriterien. Von Experten wurde in den Interviews die Relevanz des Wassersparens neben dem vorrangigen Thema des Energiesparens bestätigt, ihre Erfahrung mit solchen Projekten in der Praxis ist jedoch noch spärlich.

### Erfahrung in der Praxis

Bisher wurden diverse Pilotprojekte mit Stoffstromtrennung umgesetzt und Erfahrungen daraus gesammelt. Die Erfahrungen reichen von Aufbereitungsverfahren einzelner Stoffströme im Labor bis zur gesamten Verarbeitungskette des Abwassers eines Stadtquartiers. Im Internet ist diverse Literatur über die Notwendigkeit des Wassersparens, das Schliessen der Ressourcenkreisläufe (Wasser, Nährstoffe), die Geschichte der Abwasserwirtschaft und von Sanitärprodukten sowie über Aufbereitungstechniken zu finden. In den Entwicklungsländern überwiegen Erfahrungen zu Low-Cost Ecosan-Projekten, in den Industrieländern, vorwiegend in Deutschland, befindet sich eine grosse Zahl an Pilotprojekten auf einem höheren Technologiestand, wozu meist umfangreiche Forschungsberichte vorliegen, siehe dazu auch Kap. 3.1 (Literaturrecherche).

Die quantitative Beschreibung der Projekte wird selektiv vorgenommen und ist daher für Vergleiche oft nur lückenhaft vorhanden. Die Erhebung von Vergleichsparametern<sup>7</sup> dient dazu, Projekte zu vergleichen und bei der Auswahl von Technologien gezielt einsetzen zu können.

Die Akzeptanz ist entscheidend für eine erfolgreiche Einführung von neuartigen Sanitärsystemen. Diese hängt von mehreren Faktoren ab. Ob beispielsweise Verhaltensänderungen für die Benützung des WCs in Kauf genommen werden, ob Produkte aus menschlichen Fäkalien als Dünger für die Nahrungsmittelproduktion akzeptiert werden, ist nicht zuletzt eine Frage kultureller Gepflogenheiten und definiert, welche Ressourcen aufbereitet werden sollen. Dazu liegen für viele Forschungsprojekte Ergebnisse aus Begleitstudien zur Akzeptanz vor. Die erfragten Themen sind jedoch heterogen und für vergleichende Studien schwer verwendbar.

### Forschungslücke

Die heterogene Datenlage sollte verbessert werden, um Vergleiche zu ermöglichen.

Diverse Forschungsergebnisse sind vorhanden für:

- einzelne Pilotprojekte ausgerichtet auf eine bestimmte Technologie oder eine Kette von Verarbeitungsprozessen
- Vergleiche zwischen Systemen mit Stoffstromtrennung und dem konventionellen System, vorwiegend bezogen auf ökonomische, teilweise auch ökologische oder soziale Parameter
- neue Verfahren im Bereich der Nährstoffrückgewinnung, viele davon als erste Laborerfahrungen

Noch wenig erforscht sind:

- spezifische Gebäudetypen/Nutzungen mit hohem Wasserverbrauch
- ganze Verarbeitungsketten inkl. der Wiederverwendung

Fehlend sind:

- Fallstudien, bei denen mehrere Projekte untereinander verglichen werden
- Standardisierte Parametersets, welche sich an der Nachhaltigkeitsbewertung<sup>8</sup> orientieren und zum Vergleich von Projekten, Systemen, Komponenten und Endprodukten dienen
- standardisierte Kernfragen zur Erfassung der Akzeptanz
- Datenbanken, die solche Parameter erfassen und zum Vergleich anbieten

## 1.3 Motivation

Die Gestaltung der Sanitärprozesse ist ein Schlüssel zum Schutz des sauberen Wassers, zur Sicherung der Nahrungsmittelproduktion und zu einer hygienischen Umwelt, die Krankheiten verhindert. Die Reduktion des Wasserverbrauchs durch den Einsatz von wassersparenden Sanitärzubehör ist ein erster Schritt. Ein zweiter Schritt ist die Wiederverwendung von Produkten aus der Abwasser-

<sup>7</sup> Erstellungskosten, Unterhaltskosten, Energieverbrauch, Platzverbrauch etc.

<sup>8</sup> zu den Dimensionen Ökonomie, Ökologie, Soziales, Technik (siehe auch Anhang A, Nr. 9–12).

aufbereitung vor Ort, die das Schliessen von Kreisläufen (Wasser und Nährstoffe) ermöglicht und somit das Ökosystem entlastet.

Die Erfahrungen und Erkenntnisse aus Forschungsprojekten zur Dezentralisierung von Abwasserprozessen sollten einem grösseren praxisorientierten Fachpublikum (Architekten, Planern, Bauherren Investoren und Politikern) nähergebracht werden<sup>9</sup>, um den Einsatz dezentraler Systeme zu fördern. Anhand von Vergleichsparametern aus bestehenden Pilotprojekten sollten dezentrale Sanitärsysteme untereinander verglichen und auf ihre Eignung für Hotels geprüft werden.

## 1.4 Forschungsfrage

### Hypothese

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Problemstellung stellt sich die Frage, wie der Einsatz von dezentralen Sanitärsystemen gefördert werden könnte, da ohne entsprechende Nachfrage auch keine guten Produkte entwickelt werden. Die Hypothese geht davon aus, dass das Hotel aufgrund der hohen Wasserverbrauche und der spezifischen Standorte ein geeigneter Gebäudetypus ist, um dezentrale Sanitärsysteme nutzbringend einzubauen.

**WENN DEZENTRALE ABWASSERSYSTEME KOMMERZIELL AUF DEM MARKT EINGEFÜHRT WERDEN SOLLEN, SIND HOTELS DAFÜR GEEIGNET.**

### Hauptfragestellung

Überzeugend umgesetzte Beispielprojekte können die Marktnachfrage steigern und dadurch einer Technologie zum Durchbruch verhelfen. Daher ist es von Interesse herauszufinden, welche Technologien sich für eine spezifische Nutzung am besten eignen, da ihre Chancen, sich am Markt zu etablieren, am grössten sind.

**WELCHE NEUARTIGEN SANITÄRSYSTEME SIND GEEIGNET FÜR DEN EINSATZ IN HOTELS?**

### Teilfragestellungen

Um die Hauptfragestellung beantworten zu können, ist es hilfreich, sie in Teilfragestellungen zu unterteilen. Die Teilfragestellungen A sollen dazu beitragen, die Vielfalt von neuartigen Abwassersystemen zu kategorisieren und generelle Fragen zu klären, um eine Übersicht über die verschiedenen Systeme zu schaffen.

**A: WELCHE DEZENTRALEN ABWASSERSYSTEME GIBT ES UND WELCHE EIGENSCHAFTEN BRINGEN SIE MIT SICH?**

**A1: WELCHE CHARAKTERISTIKA WEISEN DIE DEZENTRALEN SYSTEME AUF?**

**A2: WELCHE VOR- UND NACHTEILE BRINGEN DIESE SYSTEME MIT SICH?**

**A3: WO SIND MÖGLICHE EINSATZFELDER?**

---

<sup>9</sup> Die Autorin, aus ihrer früheren Tätigkeit selbst Architektin, kennt dieses Umfeld der Planer.

**A4: WELCHE EINFLÜSSE HABEN DIE EINZELNEN SYSTEME AUF DIE UMWELT?**

Die Teilfragestellungen B gehen auf die Praxiserfahrungen ein, da diese als Entscheidungsgrundlage für den Einsatz weiterer Projekte in Zukunft hilfreich sein können. Die Teilfragestellungen A und B dienen dazu, Vergleiche zwischen den Systemen respektive den Projekten herzustellen.

**B: WELCHE ERFAHRUNGEN WURDEN IN DER PRAXIS MIT DEZENTRALEN ABWASSERSYSTEMEN GEMACHT?**

**B1: WIE WURDEN DIE SYSTEME UMGESETZT UND WO FINDEN SIE VERWENDUNG?**

**B2: WELCHE VERGLEICHSWERTE ERGEBEN SICH AUS DEN UNTERSUCHTEN PILOTPROJEKTEN?**

**B3: WELCHE LEHREN KÖNNEN AUS DEN PILOTPROJEKTEN GEZOGEN WERDEN?**

**B4: WIE WAR DIE AKZEPTANZ DER NUTZER GEGENÜBER DEN NEUARTIGEN SANITÄRSYSTEMEN?**

Die Teilfragestellungen C dienen zur Überprüfung der allgemeinen Aussagen für den spezifischen Einsatz von Sanitärsystemen in Hotels.

**C: AUS WELCHEN GRÜNDEN KÖNNEN DEZENTRALE ABWASSERSYSTEME FÜR HOTELBETRIEBE VON INTERESSE SEIN?**

**C1: WAS IST DER ZWECK VON HOTELS UND WELCHE HOTELARTEN GIBT ES?**

**C2: FÜR WELCHE ZWECKE KANN DEZENTRAL AUFBEREITETES WASSER WIEDERVERWENDET WERDEN UND WELCHE SPEZIFISCHEN VERBRAUCHSMENGEN SIND IN HOTELS ZU ERWARTEN?**

**C3: WELCHE ANREIZE BESTEHEN FÜR HOTELIERS ZUR VERBESSERUNG DER NACHHALTIGKEIT IHRES BETRIEBES?**

**C4: WELCHE EIGENSCHAFTEN DER NEUARTIGEN SANITÄRSYSTEME WEISEN FÜR HOTELS VORTEILE (NACHTEILE) AUF?**

## 1.5 Methode

Die Idee eine vergleichende Fallstudie mit Versuchsprojekten zu machen entstand bereits zu Beginn der Arbeit. Teil des Arbeitsprozesses war die Erlangung detaillierter Kenntnisse über das Thema zur Formulierung einer Forschungsfrage. Dies erfolgte einerseits durch das Einlesen in die Grundlagenliteratur andererseits anhand von Experteninterviews. Danach wurden Daten zu 16 Pilotprojekten mittels Erfassungsbogen für die vergleichende Fallstudie gesammelt, ausgewertet und verglichen. Gleichzeitig sollten aus der Erhebung Informationen gezogen werden können, um gemachte Erfahrungen zu teilen sowie Folgerungen und Handlungsempfehlungen bezüglich Hotels herleiten zu können.

### 1.5.1 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche wurde vorerst auf die Suche nach Berichten zu Pilotprojekten mit Stoffstromtrennung sowie nach Grundlagenliteratur zum Thema ausgerichtet. Bei der Ausleuchtung bestimmter Themen während der Arbeit wurde weitere spezifische Literatur verwendet, siehe dazu auch Kap. 3.1 (Ergebnisse Literaturrecherche).

#### Grundlagenliteratur

Bibliothekskataloge wurden nach Basiswerken (Schlagworte: dezentrale Abwassersysteme, nachhaltige Wasserwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft, Wasser- und Abwasserbehandlung, Abwassertechnik, Grauwasseranlagen, Ecological Sanitation, Cleantech etc.) durchsucht. Ein Gang in Freihand-Fachbibliotheken (Empa-Eawag-Bibliothek und Grüne Bibliothek der ETHZ) ergab weitere Treffer zum Einlesen ins Thema.

Im Internet wurde nach folgenden Informationen zum Thema gesucht:

- Informationsplattformen
- Herstellerfirmen von Produkten für neuartige Sanitärsysteme
- Forschungs- und Bildungsinstitute
- wichtige (prägende, zentrale) Personen
- Pilotprojekte generell, detaillierte Suche nach interessanten Projekten
- wissenschaftliche Texte, Masterarbeiten und Dissertationen

#### Pilotprojekte

Auf unterschiedlichen Recherchepfaden (Referenzlisten von Sanitärherstellern, Übersichtslisten von Literatur zu NASS und nachhaltiger Architektur) wurde gesucht. Geeignete Projekte wurden in eine Liste aufgenommen. Es sollte eine umfassende Sammlung aus Pilotprojekten erstellt werden als Grundlage für die Auswahl für die vergleichende Fallstudie. Aus der Liste von über 50 Pilotprojekten wurde eine Auswahl getroffen, über die eine Erhebung anhand eines Erfassungsbogens erstellt

wurde. Ziel war es, aus den einzelnen Projekten vergleichbare Werte zu erhalten und diese in Relation zu stellen.

### 1.5.2 Architektenbefragung und Recherche zu Gebäudezertifizierung

Um den Wissensstand bei praktizierenden Architekten bezüglich dezentraler Sanitärsysteme abzuklären, wurde anfänglich eine kleine Umfrage mit zehn Architekten durchgeführt. Eine weitere kleine Recherche anhand Ebert et al. (2010) fand statt, um zu sehen, inwiefern das Thema Wasser in der NH-Bewertung und Zertifizierung einbezogen wird. Zu beiden Themen sind eine Auswertung sowie ein kurzer Text im Anhang A (Nr. 1–3 und 6–7) zu finden.

### 1.5.3 Experteninterviews

Die Experteninterviews sollten einen Überblick über den Informationsstand in Fachkreisen verschaffen sowie Einstellungen und Meinungen von Experten gegenüber dem Thema dezentrale Sanitärsysteme aufzeigen, als Ergänzung zum Einstieg über die Literatur. Dazu wurden sechs semistrukturierte Leitfadeninterviews mit explorativem und teilweise themenorientiertem Charakter anhand offener Fragen geführt. Die Gespräche fanden im Arbeitsumfeld der Befragten (Besprechungszimmer, Büro) statt und dauerten zwischen ein und zwei Stunden. Die Gespräche wurden aufgezeichnet, transkribiert und den Befragten zum Korrekturlesen vorgelegt. Die rund 100 Seiten Transkript wurden mit einer Software für die sozialwissenschaftliche Analyse von Datenmaterial<sup>10</sup> nach bestimmten Fragestellungen (Codes) ausgewertet.

Die Fragen bezogen sich auf die Personen selbst, auf ihre Meinungen bezüglich der knappen Ressource Wasser, möglicher Massnahmen zu deren Linderung sowie zu dezentralen Sanitärsystemen. Der Bezug zu nachhaltigem Bauen und Energie wurde erfragt, Vorschläge zu politischen Massnahmen und die Verbreitung des Themas in der Lehre wurden ausgelotet. Die themenorientierten Fragen bezogen sich auf Inhalte zu denen sich die Autorin bereits Wissen angeeignet hatte und suchten nach Argumenten für und gegen neuartige Sanitärsysteme.

### 1.5.4 Analyse der Stoffstromsysteme

Die Stoffstromsysteme aus DWA (2008) wurden auf ihre Eigenschaften hin untersucht (Aufbau, primären Anwendungszielen, Vor- und Nachteilen, Umwelteinflüssen und Einsatzbereichen). Aus diesem Profil wurden Folgerungen bezüglich der Eignung für Hotels hergeleitet.

---

<sup>10</sup> MAXQda.

### 1.5.5 Vergleichende Fallstudie mit Pilotprojekten

#### Kategorisierung

Um sich einen Überblick zu verschaffen, wurden die rund 50 recherchierte Pilotprojekte mit dezentralen Sanitärsystemen in einer Liste festgehalten, mit Angaben zu Standort, Baujahr, Zweck, Grösse, Projektpartner, Technologien und Quellen. Gleichzeitig wurde ein Kurzbeschrieb erstellt. Nachdem ein geeignetes System zur Kategorisierung der Projekte (anhand der Stoffstromtrennung) bestimmt worden war, wurden die erfassten Pilotprojekte sortiert. Davon wurden zu jedem System mindestens zwei, insgesamt 15 Projekte für die vergleichende Fallstudie ausgewählt. Für die Auswahl der Projekte, die im Folgenden mit Px.x bezeichnet werden, galten folgende Kriterien:

- Wohngebäude wurden Bürogebäuden vorgezogen, bei sonst vergleichbaren Kriterien
- Projekte im Raum Deutschland wurden anderen vorgezogen, da die Datenvergleichbarkeit von Projekten aus derselben Region wurde als besser beurteilt als von internationalen Projekten mit unterschiedlichen (kulturellen, politischen, klimatischen) Bedingungen. Ebenso war hier die Auswahl gross und die Reisedistanz für eine geplante Exkursion klein.
- ältere Projekte wurden aufgrund ihrer längeren Bewährungsfriste und Erfahrung bevorzugt
- Forschungsprojekte wurden angewandten Projekten vorgezogen, da aufgrund der wissenschaftlichen Begleitung eine bessere Datenverfügbarkeit erwartet wurde
- Hotel-ähnliche Projekte, wurden nach Möglichkeit einbezogen

#### Erfassungsbogen

In einem zweiten Schritt wurde ein Erfassungsbogen erstellt, der dazu diente, systematisch erfasste, möglichst aktuelle und vergleichbare Daten zu den Projekten zu erhalten. Dies erfolgte mittels eines Word-Files, welches danach in ein bearbeitbares PDF-Formular konvertiert wurde. Der Erfassungsbogen wurde einem Sanitärplaner zum Feedback vorgelegt und einem Pretest unterzogen, um die Kompatibilität auf Windows und Mac OS X zu prüfen.

#### Erfassung der Parameter

Einerseits wurden Stammdaten allgemein zum Projekt wie Gebäudetyp, Baujahr, Gebäudenutzung, Grösse erhoben. Andererseits sollten Stammdaten zur Abwasseraufbereitungs- resp. Sanitäranlage wie Einbaujahr, Typ der Anlage mit den einzelnen Prozesskomponenten, Art der Stoffstromtrennung etc. erfasst werden. Weiter wurden der Energie-, der Material- und der Flächenverbrauch sowie Daten zu den resultierenden Endprodukten abgefragt. Die Erstellungs-, Betriebs- und Unterhaltskosten wurden ebenfalls erfasst. Ein weiterer Teil des Erfassungsbogens widmete sich den Produktdaten wie beispielsweise der resultierenden Wasserqualität. Schlussendlich wurden auch Fragen zur Akzeptanz der Nutzer gegenüber der Anlage respektive der Benutzerschnittstelle gestellt.

Es war im Voraus schwer abzuschätzen, zu welchen Fragen Daten vorhanden sein würden, weshalb eine umfangreiche Anzahl an Angaben erfragt wurde. Die Fragen im Erfassungsbogen wurden unter anderem in Anlehnung an die Indikatorensets (Anhang A, Nr. 9–12) zusammengestellt. Anhang A, Nr. 8 zeigt den Bezug der Fragen zu den Dimensionen der Nachhaltigkeit.

### Ausfüllen der Erfassungsbogen

Der Erfassungsbogen sollte im Idealfall von einer Bezugsperson ausgefüllt werden, welche stark in das Projekt involviert war und Zugriff auf die erfragten Daten hatte. In erster Linie sollten die Sanitärplaner dafür angefragt werden. In typischen Forschungsprojekten war es jedoch meist Mitglied des Forschungsteams welches Auskunft gab. Weitere mögliche Kontaktpersonen waren Architekten, Hausmeister oder Kommunikationsverantwortliche. Die Personen wurden im Voraus telefonisch kontaktiert und zur Teilnahme angefragt.

### Das Prozedere

Nachdem eine geeignet und gewillte Bezugsperson gefunden worden war, wurde der Erfassungsbogen per Mail zugestellt. Vorgesehen war eine Bearbeitungszeit innert Wochenfrist. Das PDF-Formular sollte mit möglichst vielen Angaben ausgefüllt und retourniert werden. Klar war, dass für diese Studie nur vorhandene Daten erfasst und keine neuen Daten erhoben werden konnten. Somit war mit Lücken zu rechnen. In allen Fällen musste der Erfassungsbogen nachbearbeitet werden, mussten offene Fragen geklärt und meist weitere Quellen oder Personen konsultiert werden, um eine möglichst gute Datenbasis zu erhalten. Da zu den Projekten P 2.1, P 2.2 und P 6.1 keine Bezugsperson gefunden werden konnte und die Zeit für eine vertiefte Recherche fehlte, wurden die drei Projekte für Tab. 4 (Aufbau der Stoffstromsysteme) und Tab. 8 (Aufbau der Pilotprojekte) in einer Schnellaktion von der Autorin erfasst.

### Vergleichbarkeit

Aufgrund der erfassten Daten wurde ein kurzer Projektbescrieb erstellt.<sup>11</sup> Die Hauptinformation zum späteren Vergleich sollte aus folgenden Untersuchungsparametern herausgezogen werden können: 2.3 Wasserverbrauch, 2.5 Energieverbrauch, 2.7 Flächenbedarf für die Anlage, 2.6 Materialverbrauch, 6.1 Erstellungskosten, 6.5 jährliche Betriebskosten, 6.7 Mehr-/Minderkosten Bau. Weiter sollten Erfahrungen der Nutzer und Planer aufgearbeitet sowie die Nutzerakzeptanz der einzelnen Systeme (7.0) ausgewertet werden können. Schlussendlich sollte zu jedem Projekt ein Datenblatt erstellt werden können mit einem Kurzbescrieb und Bildmaterial (Fliessschema, wichtige Grundrisse, Schnitte etc.). Anhand der erfassten Parameter sollten einfache Vergleiche zwischen den Werten vorgenommen werden können.

---

<sup>11</sup> Auf den Erfassungsbogen jeweils unter "9.0 Weitere Bemerkungen" sind die Quellen für die erhobenen Daten erfasst.

## Interpretation

Die erhobenen Daten wurden zur Erleichterung der Interpretation und dem Vergleich in eine Übersichtsmatrix (Excel-File) übertragen. Daraus wurden thematische Auszüge erstellt, siehe Kap. 3 Ergebnisse (Tab. 4; Aufbau der Stoffstromsysteme, Tab. 8; Aufbau der Pilotprojekte, Tab. 9; Gegenüberstellung der Vergleichswerte). Aus denen konnten darauffolgend Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

### 1.5.6 Recherche zum Thema Hotel

Das Kap. 3.8 (Merkmale von Hotels) entstand aufgrund einer Literaturstudie. Da das Thema dezentrale Sanitärsysteme für Hotels noch kaum untersucht ist, war die Ausbeute an fachspezifischer Literatur mager. Nur eine vertiefte Recherche kann gegebenenfalls Forschungslücken schliessen. Trotzdem wurde anhand des aufgefundenen Materials versucht, die Forschungsfrage C zu beantworten. Als Grundlagen dafür diente das Buch zur Hotelplanung von Ronstedt/Frey (2011), der ausführliche Bericht von Keysers et al. (2008) über das Hotel am Kurpark (P. 2.5) sowie weitere Studien zu Wasserverbrauch, Umbauzyklus, und zur Entwicklung von Ökohotels. (Quellen sind in 3.8 Merkmale von Hotels erwähnt).

### 1.5.7 Einschränkung der Fragestellung

Das Thema "dezentrale Sanitärsysteme" ist sehr breit und komplex. Im Rahmen dieser Arbeit konnten nicht auf alle Themengebiete eingegangen werden. Der Schwerpunkt liegt auf der vergleichenden Fallstudie mit den Pilotprojekten. Der Theorieteil soll als Grundlage und für das bessere Verständnis der Ergebnisse dienen.

- Ziel der Arbeit war es, eine erste Übersicht und Handlungsempfehlungen für Architekten und Fachplaner zum Thema dezentrale Sanitärsysteme zu erarbeiten. Es war nicht die Absicht, eine vollständige Nachhaltigkeitsbewertung der Projekte durchzuführen, das hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.
- Der Fokus der Arbeit liegt in Mitteleuropa. Es sollten Projekte, welche hier zum Einsatz kommen, einbezogen werden, keine Ecosan-Projekte, die in der Regel auf einen tieferen volkswirtschaftlichen Entwicklungsstand ausgerichtet sind.
- Der Fokus liegt bei der räumlichen und technischen Konzeption. Auf die verfahrenstechnischen Prozesse zur Aufbereitung von Abwasser wird nicht im Detail eingegangen, sondern nur, soweit es für das Verständnis der Arbeit notwendig ist.
- Gegenstand der Betrachtung ist häusliches Abwasser, nicht Industrieabwässer, landwirtschaftliche Abwässer etc., auch nicht die Frischwasserversorgung.
- Regenwasserbewirtschaftung ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, obwohl es ein wichtiges Thema für den schonenden Umgang mit Wasser ist und einige Berührungspunkte zu dezentralen Abwassersystemen hat.
- Energiesparen ist kein Hauptaugenmerk und wird nur dort mitberücksichtigt, wo es im Zusammenhang mit Wasser von Bedeutung ist. Der Energieverbrauch der untersuchten Projekte wird jedoch ausgewertet und diskutiert.
- Die Betrachtungen beziehen sich vorwiegend auf die Projektebene und nicht auf einen weiteren Rahmen wie Gemeinde, Stadt etc.

### 1.5.8 Ergänzte Version der Masterarbeit

Mit der Arbeit wurden zwei Ziele verfolgt, einerseits die Beantwortung einer Forschungsfrage zur Erlangung des akademischen Grades des Masters, andererseits die Erarbeitung eines Grundlagenwerks über Projekte mit dezentralen Abwassersystemen als Einstiegshilfe für Bauherren, Architekten und Planer von Gebäuden. Beide Ziele im Rahmen der Masterarbeit zu erfüllen, war nicht möglich. Daher wurden einige Kapitel inhaltlich und zur besseren Verständlichkeit für ein breiteres Publikum ergänzt und strukturiert. Folgende Kapitel wurden überarbeitet: 1.1 Problemstellung (strukturiert, ergänzt), 1.3 Motivation (ergänzt), 3.1 Literaturrecherche (ergänzt), 4.2 Eignung der Systeme für Hotels (strukturiert, ergänzt), 4.4 Handlungsempfehlungen (neu), 5.1 Zusammenfassung (neu), 5.2 Schlussfolgerungen (strukturiert, ergänzt), Anhang A (Nr. 28–27) Projektbeschriebe der Pilotprojekte (ergänzt).

## 2 THEORIE

### 2.1 Begriffe

Aerob	mit Sauerstoff
Anaerob	ohne Sauerstoff
Apparat	auch Sanitärapparat, wie WC-Schüssel, Lavabo etc.
Armaturen	auch Sanitärarmatur, wie Mischbatterie
Belebtschlammverfahren	auch "Activated Sludge": Zur Reinigung von Abwasser werden Mikroorganismen eingesetzt, welche unter Zugabe von Sauerstoff das Wasser von organischen Verunreinigungen befreien. Die organischen Verunreinigungen dienen den Bakterien als Nahrung, die sich laufend vermehren.
Benchmark	Bezugswert zum Vergleich von Ergebnissen
Brauchwasser	auch Betriebswasser: "[...] gewerblichen, industriellen, landwirtschaftlichen oder ähnlichen Zwecken dienendes Wasser mit unterschiedlichen Güteeigenschaften, worin Trinkwassereigenschaft eingeschlossen sein kann" (DIN DIN_4046). Die Anforderungen sind niedriger als bei Pflegewasser.
Braunwasser	Fäzes und Spülwasser ohne Urin respektive Gelbwasser
BSB <sub>5</sub>	Biochemischer Sauerstoffbedarf: Summenparameter, der angibt, wie viel gelöster Sauerstoff (mg/l) innerhalb von fünf Tagen bei 20 °C für den biologischen Abbau (mit Bakterien und Kleinstlebewesen) der organischen Abwasserinhaltsstoffe benötigt wird (Bauhaus-Universität, 2009)
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf: Summenparameter, der angibt, wie viel Sauerstoff zur vollständigen Oxidation der organischen Stoffe durch Chemikalien benötigt wird (Bauhaus-Universität, 2009)
Dezentrale Abwasseraufbereitung	Für dieses Konzept kursieren verschiedene Begriffe in der Literatur wie dezentrale Sanitärsysteme, neuartige Sanitärsysteme (NASS), dezentrale Sanitärkonzepte, innovative Sanitärkonzepte, "Ecological Sanitation" (Ecosan), "Decentralised Sanitation and Reuse" (DESAR), "Resource oriented Sanitation", "Sustainable Sanitation", "On-site-Technologies" (OST)

Ecosan	steht in dieser Arbeit für dezentrale Sanitärsysteme im Low-Cost-Bereich, wie sie in Ländern mit niedrigerem ökonomischen Entwicklungsstand zu finden sind
Einleiten direkt	Einleiten in Gewässer
Einleiten indirekt	Einleiten in das Kanalnetz (Herbst, 2008, 13)
Fäkalien	Urin und Fäzes
Fäzes	Kot; feste menschliche Ausscheidung
Fremdwasser	nicht verschmutztes Wasser aus externen Quellen (Grundwasser, Brunnen, Drainagen etc.), das unerwünscht in die Kanalisation gelangt
Gelbwasser	Urin mit oder ohne Spülwasser, Abwasser aus Trenntoiletten, Urinalen
Grauwasser	Abwasser aus Lavabo, Dusche, Badewanne (Küchenspüle, Waschmaschine und Geschirrspüler)
Häusliches Abwasser	bei Trennsystem: Gemisch aus Urin, Fäzes, Spülwasser, Grauwasser bei Mischsystem: wie bei Trennsystem plus Regenwasser
"High Rate Anaerobic Reactor" (HRAR)	anaerobes biologisches Hochlastverfahren, das für die Behandlung von hoch belastetem Abwasser in der Industrie (Zuckerrohr, Blut etc.) entwickelt wurde. Es benötigt keine Sauerstoffzufuhr, ist preisgünstig und robust. Die Temperatur sollte nicht unter 10 °C fallen (Balkanwaste)
Indikator	Anzeiger, Hinweiszeichen, aus dem ein bestimmter Sachverhalt abgelesen werden kann
Konventionelles System	das heute am weitesten verbreitete Abwassersystem mit Schwarzwasserleitungen, Kanalanschluss und Aufbereitung in der ARA
NoMix-Toilette	Toilette mit Trennsystem
Membranbioreaktor (MBR)	Im MBR wird das Abwasser biologisch gereinigt mittels einer Kombination von Belebtschlammverfahren und Membranfiltration (Mikro- oder Ultrafiltration).
Mikroschadstoffe	auch Mikroverunreinigungen s. Kap. 2.4.7 (Mikroschadstoffe)
Organisch	von lebenden Organismen gebildet
Parameter	charakterisierende Eigenschaft, eine Kenngröße oder Kennzahl
Pflanzenkläranlage	bepflanzter Bodenfilter zur Reinigung von schwach belastetem Abwasser

Pflegewasser	auch Weisswasser, Klarwasser: "Wasser mit hohen Güteanforderungen unterhalb des Trinkwasserniveaus für hohe Nutzungsansprüche" (DWA, 2008); Qualität ausreichend für Wäschewaschen, Baden, Duschen
Produkte aus der Stoffstromtrennung	Ergebnis aus der Behandlung der Stoffströme; Brauchwasser, Flüssigdünger, Kompost etc.
Prozess	Ablauf (spezifisch: gesamter Ablauf von der Erfassung bis zum Endprodukt bestehend aus einzelnen Teilschritten zur Behandlung eines Stoffstromes)
Recycling	auch Wiederverwertung: erneute Nutzung für gleiche oder andere Zwecke (DWA, 2008)
Reinwasser	auch Reinstwasser
Rieselkörper	durchlässiger Bodenfilter, über den das Abwasser verrieselt wird. Die Inhaltsstoffe des verunreinigten Wassers setzen sich am Bodenfilter fest und werden durch sessile aerobe Mikroorganismen abgebaut
Rotationstrauchtropfkörper	auch Tauchtropfkörper: Die Reinigung erfolgt durch halb in vorgereinigtes Wasser eingetauchte Scheiben oder Walzen aus wasserdurchlässigem Strukturmaterial wie Lavaschlacke oder Kunststofffüllkörpern, auf denen Mikroorganismen, sessile Bakterien, wachsen. Durch die Drehung des Rotationstropfkörpers werden die Mikroorganismen kontinuierlich mit Nährstoffen aus dem Abwasser und Sauerstoff aus der Luft versorgt und bauen gleichzeitig die Nährstoffe ab.
Schmutzwasser	Gemisch aus Urin, Fäzes, Spülwasser und Grauwasser
Schwarzwasser	Gemisch aus Urin, Fäzes und Spülwasser inkl. Toilettenpapier
"Sequencing Batch Reactor" (SBR)	Im SBR werden im selben Tank zyklisch folgende Prozessphasen durchgeführt: auffüllen, belüften/umrühren, nachbelüften/rühren, Sedimentation, Klarwasser abpumpen, Schlammabzug
sessil	festsetzend
Stoffstromtrennung	Trennung des Abwassers an der Quelle und separate Leitungsführung für die einzelnen Stoffströme (z. B. Urin, Braunwasser, Grauwasser)
Struvit	Produkt, das unter Zugabe von Magnesium durch Fällung aus dem Urin gewonnen werden kann. Ein weisser, pulverartiger Stoff, der aus einer kristallartigen Verbindung aus Magnesium, Ammonium und

---

	Phosphat (MAP) in einem Molarverhältnis vom 1:1:1 besteht (Ronteltap et al., 2007).
Substitution	Ersatz eines Stoffes durch einen anderen (beispielsweise von Trinkwasser durch Brauchwasser)
Toilette	WC, jedoch auch ohne Wasserspülung; im Text wird generell der Begriff Toilette verwendet
Urinal	Vorrichtung zum Auffangen des Urins beim Urinieren im Stehen
Verfahren	Behandlung eines Produktes (Teil des Behandlungsprozesses)
Verschmutztes Abwasser	Abwasser, das ein Gewässer, in das es gelangt, verunreinigen kann (GSchG, 2006)
Verunreinigung	Nachteilige physikalische, chemische oder biologische Veränderung des Wassers (GSchG, 2006)
Vermikompostierung	Wurmkompostierung, Kompostierung mithilfe von Würmern, z. B. mit <i>Eisenia fetida</i> , <i>Eisenia hortensis</i> .
Wassersparen	unscharfer Ausdruck womit gemeint ist: sparsamer Umgang mit Trinkwasser, Wasser wiederverwenden, wenig Abwasser verursachen
WC	"Water Closet", eine mit Wasser gespülte Toilette

## 2.2 Bezug zu Nachhaltigkeit

Das Verständnis von Nachhaltigkeit<sup>12</sup> basiert auf der Definition von Gro Harlem Brundtland, wie sie dem sogenannten Brundtland-Bericht (WCED, 1987, 54) zu entnehmen ist:

*Sustainability is "to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs".*

Demnach ist eine nachhaltige Entwicklung dann gewährleistet, wenn die heutige Generation ihre Bedürfnisse befriedigen kann, und dabei die Möglichkeit der zukünftigen Generationen, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen, nicht beeinträchtigt wird.

Das Kapitalstockmodell schafft einen konkreteren Zugang zum Konzept der Nachhaltigkeit. Es besagt, dass das vorhandene Kapital, unterteilt in die drei Kapitalstöcke Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft, nicht aufgebraucht werden darf, sondern kontinuierlich erneuert werden muss (ARE, 2008). Um zu messen, ob eine Entwicklung nachhaltig ist, kann eine Nachhaltigkeitsbewertung durchgeführt werden. Dies wird mit Hilfe eines Nachhaltigkeits-Bewertungssystems erstellt, wobei immer alle drei Dimensionen (manchmal auch weitere) möglichst gleichwertig einbezogen werden.

### Einbindung der Parameter in die Nachhaltigkeit

Für diese Arbeit wurde zwar keine Nachhaltigkeitsbewertung erstellt, die Auswahl der Parameter wurde aber angelehnt, an Bewertungskriterien aus Lange/Otterpohl (2000, 207) und an Indikatoren-Sets zur Nachhaltigkeitsbewertung von dezentralen Sanitärsystemen, welche aus der Literatur entnommen wurden (Flores, 2010; Freiberger, 2007; Longdong, 2009; Van der Vleuten-Balkema, 2003)(siehe Anhang A, Nr. 9–12). Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit, Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft, werden mit technischen Parametern ergänzt.

---

<sup>12</sup> In der Umgangssprache wird Nachhaltigkeit oft mit dauerhaft oder langwierig gleichgesetzt. Das hier verwendete Verständnis von Nachhaltigkeit geht jedoch weiter, wie oben beschrieben.

## 2.3 Abwasser

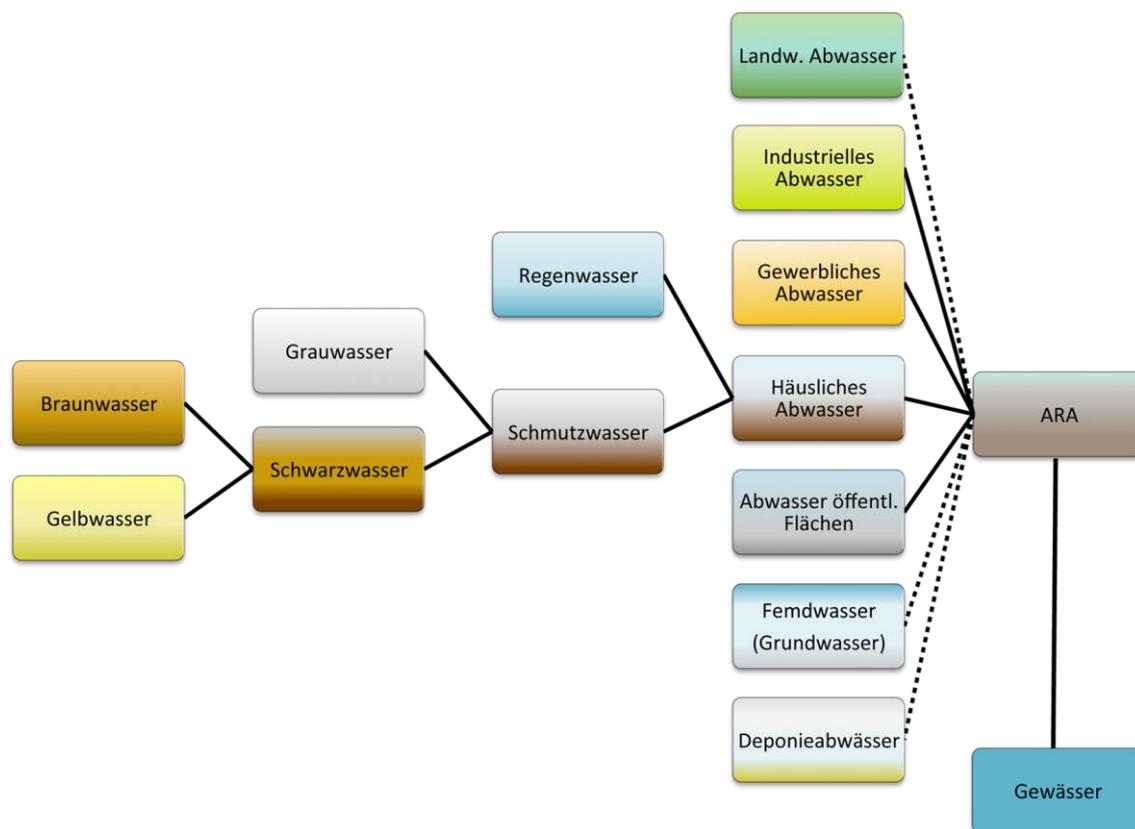
### 2.3.1 Definition Abwasser

Definition: "Das durch häuslichen, industriellen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch veränderte Wasser, ferner das in der Kanalisation stetig damit abfließende Wasser [unbestimmbarer Herkunft] sowie das von bebauten oder befestigten Flächen abfließende Niederschlagswasser." (GSchG, 2006)

### 2.3.2 Häusliches Abwasser

Das häusliche Abwasser besteht aus vermischten Teilströmen. Braun- und Gelbwasser, welche im herkömmlichen System in der Toilette erfasst wird, fällt als Schwarzwasser an, mit Grauwasser vermischt entsteht Schmutzwasser. Sofern das Regenwasser nicht separat erfasst und abgeführt wird, bildet es mit dem Schmutzwasser das häusliche Abwasser. An der Parzellengrenze geht das häusliche Abwasser in die Obhut der Gemeinde (Stadt) über und wird über die Kanalisation zur ARA geleitet, wo es zur Einleitung ins Gewässer gereinigt wird. Auf dem Weg zur ARA kommen weitere Abwässer hinzu, so dass sich das ARA-Abwasser schlussendlich bezüglich Verdünnung und Inhaltsstoffen vom häuslichen Abwasser unterscheidet.

Abb. 1 Schicksal der Teilströme des häuslichen Abwassers



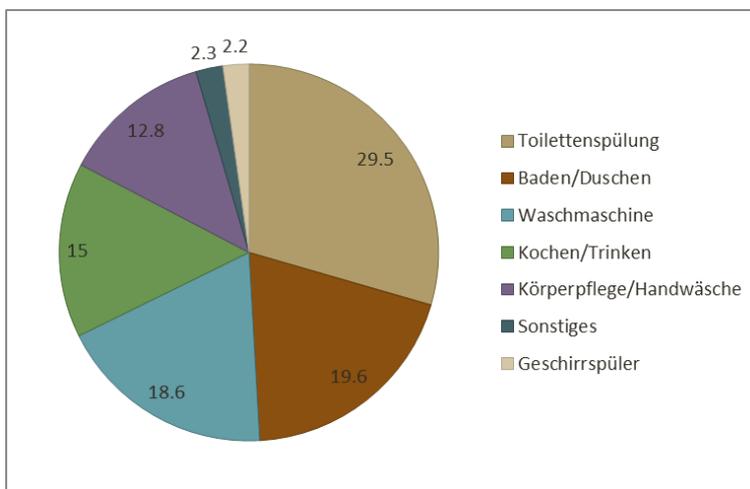
Quelle: Erweiterte Darstellung aus Pinnekamp/Günthert (2010, 23) nach DIN 4045.

Einige Gemeinden erfassen Schmutz- und Regenwasser getrennt, um Regenwasser direkt in den Vorfluter zu leiten. 85 % der Schweizer Gemeinden sind jedoch mit einem Mischwassersystem<sup>13</sup> ausgestattet, was bei grossen Regenereignissen zur Überlastung der ARA führt. Wenn die Rückhaltebecken die kurzfristig anfallenden Wassermassen nicht mehr halten können, wird das ungereinigte Abwasser in den angrenzenden Fluss geleitet.

### 2.3.3 Menge des häuslichen Abwassers/Wasserverbrauch

Abwasser entsteht unmittelbar durch den Verbrauch, durch Verunreinigung des Wassers. Ausnahmen sind Trinken, Essenzubereitung, Pflanzengiessen und Verdunstungsverluste.

Abb. 2 Durchschnittlicher privater Wasserverbrauch pro Person



Tab. 1 Anteile am durchschnittlichen Wasserverbrauch pro Person und Tag

Spez. Verbrauch	Privat	
	l/d*p	%
Toilettenspülung	47.7	29.5
Baden/Duschen	31.7	19.6
Waschmaschine	30.2	18.6
Kochen/Trinken	24.3	15.0
Körperpfl./Handw.	20.7	12.8
Sonstiges	3.8	2.3
Geschirrspüler	3.6	2.2
Gesamtverbrauch	162.0	100.0

Prozentuale Anteile des Verbrauchs am durchschnittlichen gesamten Wasserverbrauch einer Person pro Tag. Quelle: Eigene Darstellung nach Daten aus (Frei, 2002).

Die grössten Anteile an einem durchschnittlichen Wasserverbrauch (162 l)<sup>14</sup> einer Person pro Tag sind die Toilettenspülung und die Körperpflege inkl. Baden und Duschen mit je rund 30 %. Der Grauwasseranteil liegt bei 53 % (86 l) und setzt sich aus 32 % (52 l) schwach belastetem Grauwasser (aus Lavabo, Dusche, Badewanne) und 21 % (34 l) aus stark belastetem Grauwasser (Küchenspüle, Waschmaschine und Geschirrspüler)<sup>15</sup> zusammen. Das Schwarzwasser macht einen Anteil von 30 % (48 l), Sonstiges, Kochen und Trinken rund 17 % (28 l) aus. Berechnung siehe Anhang A (Nr. 13).

### 2.3.4 Zusammensetzung der Stoffströme

Die Teilströme unterscheiden sich aufgrund ihrer Zusammensetzung. Wie Abb. 3 verdeutlicht, ist Urin reich an Nährstoffen (N, K, P). Fäzes bestehen vor allem aus organischen Stoffen, die viel Sauerstoff (BSB<sub>5</sub>, CSB) zur Oxidation benötigen. Grauwasser bildet volumenmässig den grössten Anteil

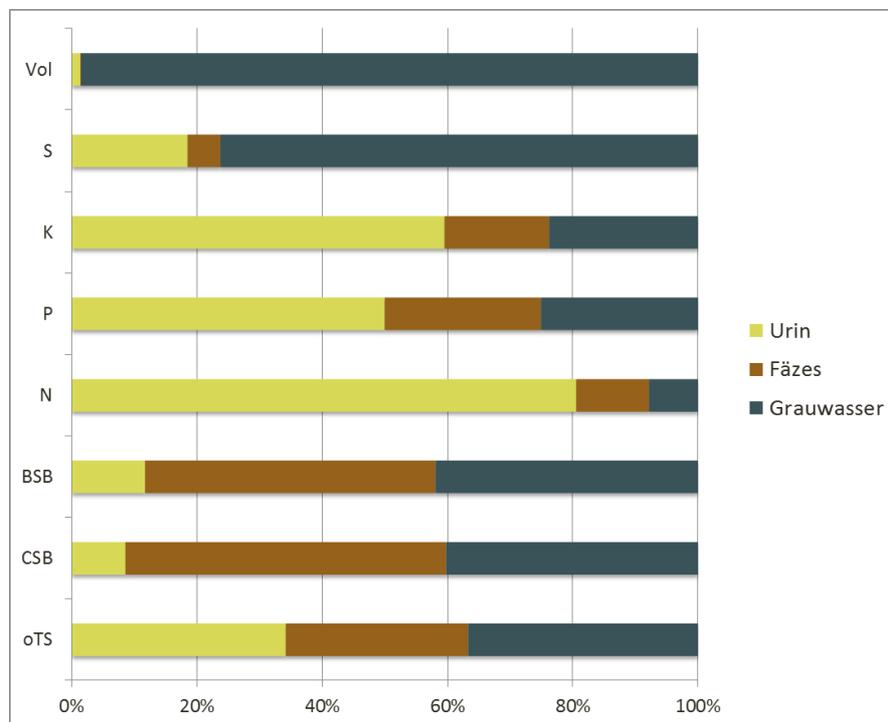
<sup>13</sup> 15 % Trennwassersystem, 85 % Mischwassersystem (Schluop et al., 2006).

<sup>14</sup> Es kursieren unterschiedliche Zahlen zum Wasserverbrauch in der Schweiz. Der Wert von 162 l ist der am häufigsten verwendete, er taucht auch in den Schriften der Bundesämter auf und stammt aus den statistischen Erhebungen des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW), das Jahr der Erhebung ist der Autorin nicht bekannt.

<sup>15</sup> Fette, Öle, Waschmittel, möglicherweise Fäkalien aus Windeln.

und enthält somit am meisten Wasser. Bei den hier dargestellten Daten<sup>16</sup> aus DWA (2008, 29–30) wurden Fäzes und Urin ohne Spülwasser gemessen. Die hier verwendeten Daten aus der Literatur sind aus aggregierten Messwerten zusammengestellt und können daher als repräsentativ angesehen werden. Essgewohnheiten, die Spülmenge (abhängig von Apparaten und Armaturen) sowie kulturelle Gewohnheiten (u.a. Verbrauchsmenge und Art der Reinigungsmittel) beeinflussen die Zusammensetzung der Stoffströme, was zu unterschiedlichen Angaben in der Literatur führen kann. Im Urin sind 50 % des Phosphors und 80 % des Stickstoffs der in der gesamten täglich anfallenden Menge der drei Teilströme enthalten (Tab. 2, S. 30). Durchschnittlich werden 64 % von Pharmazeutika wieder über den Urin ausgeschieden (Larsen/Lienert 2007).

Abb. 3 Pro Person täglich anfallende Frachten für die Teilströme Urin, Fäzes und Grauwasser



Auf der x-Achse sind die prozentualen Anteile von Urin, Fäzes und Grauwasser der pro Person täglich anfallenden Frachten aufgetragen. Auf der y-Achse sind tägliches Gesamtvolumen und tägliche Gesamtmengen an Schwefel, Kalium, Phosphor, Stickstoff, biochemischem und chemischem Sauerstoff und organischer Trockensubstanz aufgetragen.

Urin enthält die grössten Nährstofffrachten, in den Fäzes überwiegen die organischen Stoffe, zu deren Abbau grosse Mengen an Sauerstoff verbraucht werden (BSB5, CSB). Grauwasser stellt den grössten Volumenstrom dar. Die unterschiedliche Beschaffenheit einzelner Stoffströme wird hiermit verdeutlicht. Quelle: Eigene Darstellung nach Daten aus DWA (2008).

<sup>16</sup> Spezifische Frachten als Anteil der Teilströme am gesamten Anfall pro Person und Tag. Die Angaben, auf deren Grundlage Abb. 2 und Abb. 3 erstellt wurden, stammen nicht aus derselben Quelle, daher stimmen die absoluten Zahlen nicht überein. Der Grauwasserstrom in Abb. 2 beträgt 86 l/d\*p (siehe Anhang A, Nr. 13), in Abb. 3 108 l/d\*p (siehe Tab. 2). Die prozentualen Anteile sind dennoch aussagekräftig.

Tab. 2 Pro Person täglich anfallende Frachten für die Teilströme Urin, Fäzes und Grauwasser

Spezifische Frachten der Teilströme										
		Einh.	Urin		Fäzes		Grauwasser		Gesamtmenge	
Volumenstrom	l/p*d		1.4	1.3 %	0.1	0.1 %	108.0	98.6 %	109.5	100 %
	oTS	g/p*d	41.0	34.2 %	35.0	29.2 %	44.0	36.7 %	120.0	100 %
	BSB <sub>5</sub>	g/p*d	5.0	11.6 %	20.0	46.5 %	18.0	41.9 %	43.0	100 %
	CSB	g/p*d	10.0	8.5 %	60.0	51.3 %	47.0	40.2 %	117.0	100 %
	N	g/p*d	10.4	80.6 %	1.5	11.6 %	1.0	7.8 %	12.9	100 %
	P	g/p*d	1.0	50.0 %	0.5	25.0 %	0.5	25.0 %	2.0	100 %
	K	g/p*d	2.5	59.5 %	0.7	16.7 %	1.0	23.8 %	4.2	100 %
	S	g/p*d	0.7	18.4 %	0.2	5.3 %	2.9	76.3 %	3.8	100 %

Absolute und relative Werte der Stofffrachten in den Teilströmen Urin, Fäzes und Grauwasser. Urin und Fäzes sind ohne Spülwasser angegeben, daher ergibt die Gesamtmenge des Volumenstroms weniger als die durchschnittlich verbrauchte Wassermenge pro Person und Tag aus der vorangehenden Darstellung zum Wasserverbrauch. Quelle: Eigene Darstellung nach DWA (2008).

## 2.4 Abwasserbehandlung

### 2.4.1 Zentrale Abwasseraufbereitung

Die Reinigung in Kläranlagen geschieht in drei Stufen. Bei jeder Reinigungsstufe ändert sich die Verfahrensart. Zuerst werden mechanische Verfahren wie Siebung, Abscheidung, Sedimentation etc. zur Trennung von ungelösten Feststoffen und flüssiger Phase eingesetzt. Danach folgen die biologischen Verfahren, wo unter Zufuhr von Sauerstoff organisches Material abgebaut und Stickstoff umgewandelt wird. In einem weiteren Schritt werden die Nährstoffe N und P durch Denitrifikation und Simultanfällung verfestigt (chemisches Verfahren) und zum Absinken gebracht. Die flüssige Phase, das weitgehend geklärte Abwasser, wird anschliessend ins Gewässer eingeleitet. Der grösste Teil der Nährstoffe befindet sich nun im abgesetzten Klärschlamm. Dieser wird anaerob stabilisiert, wobei Faulgas, eine Mischung aus Methan und Kohlendioxid (Biogas), entsteht, welches zur Wärme- und Energieerzeugung genutzt werden kann. Der stabilisierte Klärschlamm wird entwässert, um thermisch oder stofflich verwertet<sup>17</sup> werden zu können (Kluge/Libbe, 2010, 52). Bis 2006 wurde der Klärschlamm in der Schweiz auf Feldern verwendet. Seit dem Ausbringverbot für Klärschlamm ist aus dem Kreislaufsystem ein lineares System geworden. Pro Jahr fallen rund 204'000 Tonnen Klärschlamm mit rund 5'000 Tonnen Phosphor an (Laube/Vonplon, 2004, 16-17), welche deponiert werden müssen.

<sup>17</sup> Landschaftsbau, Verwertung in der Zementindustrie als Brennstoff und Rohstoffersatz (Laube/Vonplon, 2004, 22).

### Zustand und Investitionsbedarf der Schweizer Abwasserentsorgung (2007)

Der Anschlussgrad an die kommunalen Kläranlagen liegt heute bei 96–97 % (Laube/Vonplon, 2004). Der Ausbau der Abwasserinfrastruktur erfolgte gestaffelt, zuerst die städtischen Gebiete, danach die Agglomerationen und schlussendlich die ländlichen Gebiete. Bis 1960 waren die Hälfte der städtischen Gebiete, 25 % der Agglomeration und 15 % der ländlichen Regionen angeschlossen. Der grösste Teil der Anschlüsse in ländlichen Gebieten ist weniger als 40 Jahre alt (Herlyn/Maurer, 2007). Ein grosser Teil der Anlagen wird nun zur Sanierung fällig. Aufgrund von undichten Leitungen exfiltriert in der Schweiz zwischen 1 und 11 % des Abwassers bei Trockenheit aus undichten Kanälen (Schlupe et al., 2006).

Die Abwasserentsorgung verursacht hohe Kosten und bindet langfristig Kapital für die Anlagen, was die Flexibilität gegenüber der Nutzung einschränkt. Die 759 zentralen Kläranlagen und das Kanalisationsnetz von 47'400 Kilometer haben einen Wiederbeschaffungswert von 65.3 Mrd. Fr. (öffentlich 66 %). Dazu kommen 42'000 Kilometer Leitungen der Liegenschaftsentwässerung sowie die gebäudeinternen Abwasserleitungen und Sanitärinstallationen mit einem Wert von 34.2 Mrd. Fr (nicht öffentlich 34 %). Dies ergibt zusammen rund 100 Mrd. Fr. (13'600 Fr/EW). Die laufenden Kosten pro Jahr betragen 1'694 Mio. Fr., pro Einwohner sind dies 232 Fr. Der durchschnittliche Sanierungs- und Erneuerungsbedarf pro Jahr beträgt 670 Mio Fr.

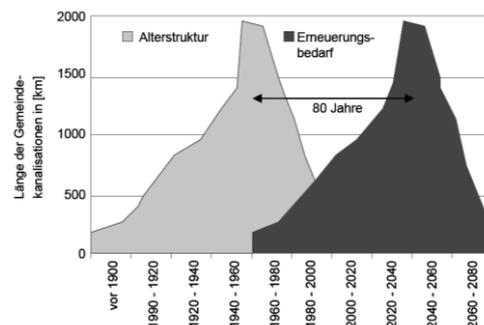
Nicht alle Anlagen sind gleich beteiligt an der Reinigungsleistung. Die grossen Anlagen<sup>18</sup> mit einer Kapazität von über 50'000 Einwohner sind im Schnitt bis auf 85 %, kleine Anlagen nur bis auf 60 % ausgelastet. Das heisst, der grösste Anteil des Abwassers (62 %) wird von einer kleinen Anzahl grosser Anlagen (11 % aller Schweizer Anlagen) gereinigt. (Herlyn/Maurer, 2007). Für grosse Abwasserreinigungsanlagen gelten schärfere Anforderungen an die Abwasserqualität als für kleinere. Daher und aufgrund der schlechteren Auslastung ist eher die Zukunft kleiner Anlagen zu überdenken.

#### 2.4.2 Dezentrale Abwasserbehandlung

##### Systemdefinition

Die Abwassernetze können eingeteilt werden in zentrale, semizentrale und dezentrale Strukturen. Die zentrale Struktur besteht aus einem Misch- oder Trennsystem und ist voll an die ARA ange-

Abb. 4 Erneuerungszyklus der Kanalisation



Innert ca. 80–100 Jahren wird die Kanalinfrastruktur zur Erneuerung fällig. In den nächsten 30 Jahren werden die Sanierungskosten massiv steigen. Quelle: Schlupe et al. (2006, 186)

<sup>18</sup> Kläranlagen werden in verschiedene Grössenkatgorien eingeteilt: < 1'000 EW, 1'000–10'000 EW, 10'000–50'000 EW, > 50'000 EW.

geschlossen. Demgegenüber stehen die dezentralen Anlagen, welche autark und mit Eigenversorgung funktionieren und möglicherweise die Stoffströme zur Wiederverwendung deren Produkte trennen. (Koziol et al., 2006, 75) Die meisten Projekte aus der Fallstudie liegen irgendwo dazwischen, erfassen das Abwasser getrennt, bereiten einzelne Stoffströme auf und versorgen sich selbst mit den entstehenden Produkten. Die meisten Projekte verfügen jedoch über einen Kanalanschluss und sollten streng genommen als semi-dezentral bezeichnet werden. In dieser Arbeit werden jedoch der Einfachheit halber alle Projekte, welche nicht über ein konventionelles System verfügen, dezentral genannt.

#### Dezentrale Abwassersysteme

*"Abwasserbehandlung vor Ort unter Vermeidung größerer Vermischungen und langer Kanäle. Entsorgung der nicht an die zentrale Kanalisation angeschlossenen Gebiete.*

*[Auch:] Mobile Entsorgung von Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und von Fäkalwasser aus abflusslosen Gruben. Behandlung erfolgt in der Regel in der zentralen Kläranlage."*

(Wasserwissen, 2011)

Ein weiterer Aspekt, welcher durch neuartige Sanitärsysteme hinzukommt ist die Möglichkeit der Verwendung von Produkten aus der dezentralen Behandlung wie Kompost als Bodenverbesserer, Urindünger oder Brauchwasser.

#### Separierung und Kreisläufe schliessen

Wie beim Abfall geht es bei der separierten Sammlung der Abwasserströme darum, die Inhaltsstoffe der Stoffströme wieder in den Kreislauf zurückzuführen. Je mehr unterschiedliche Stoffe vermischt werden, umso schwieriger wird die nachträgliche Auftrennung und Verwertung. Dies trifft auch auf die Verdünnung mit Wasser zu. Das Ziel von Trennsystemen ist es, die Stoffe separiert und in konzentrierter Form zu sammeln um danach gezielt auf ihre Inhaltsstoffe bezogen behandeln zu können.

Im Folgenden wird auf einige Verfahren zur Behandlung der einzelnen Stoffströme eingegangen und auf die Projekte verwiesen, in welchen sie Anwendung finden.

#### 2.4.3 Behandlung von Grauwasser

Nach DIN 4045 ist Grauwasser "häusliches Abwasser ohne fäkale Feststoffe und Urin" (VSA, 2012). Es wird zwischen stark belastetem und schwach belastetem Grauwasser unterschieden.

*Ziel:* Grauwasserbehandlung wird eingesetzt, um entweder das gereinigte Abwasser als Brauchwasser für Bewässerung, als Toilettenspülwasser oder als Teilnutzung für Wasch- und Geschirrspülmaschinen zu verwenden oder es in das Gewässer einzuleiten. Dazu werden gesundheits- und umweltschädliche Substanzen und Schwebestoffe beseitigt, um die nachträgliche Nutzung zu ermöglichen.

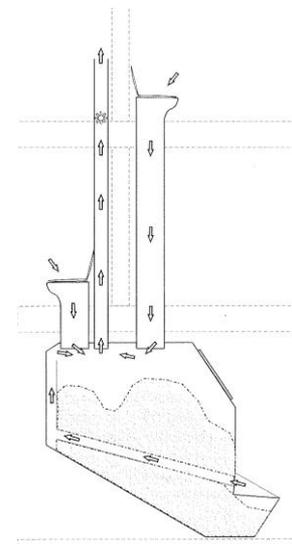
*Technische Möglichkeiten:* Grauwasser kann in einem horizontal oder vertikal durchströmten, bewachsenen Bodenfilter aufbereitet werden (P 2.1, P 3.1, P 4.1, P 5.1, P 6.2). Bakterien, welche sich im Bereich der Wurzeln ansiedeln, ernähren sich von den im Abwasser vorbeifliessenden Nährstoffen. Ferner gibt es die Biofilmverfahren wie Rotationstauchtropfkörper (P 2.4) oder Wirbelbettreaktoren, welche sessile<sup>19</sup> Biomasse einsetzen. Bei den Membranbelebungsverfahren wird das Abwasser unter Verwendung von suspendierter<sup>20</sup> Biomasse und Ultrafiltrationsmembranen gereinigt (P 2.5, P 2.2). All diese Verfahren arbeiten unter aeroben Bedingungen. Für die häusliche Wiederverwendung wird meist eine UV-Entkeimung nachgeschaltet. Die Frage, ob mittels einer Pflanzenkläranlage aufbereitetes Wasser zur Wiederverwendung als Toilettenspülwasser verwendet werden kann, konnte nicht eindeutig beantwortet werden. Grundsätzlich sollte es möglich sein, ein Hersteller von solchen Anlagen riet jedoch ab<sup>21</sup> und entsprechende Praxisbeispiele konnten von der Autorin nicht gefunden werden.

#### 2.4.4 Behandlung von Schwarz- und Braunwasser

*Ziel:* Durch die Behandlung von Schwarzwasser können Nährstoffe oder Energie gewonnen werden.

*Technische Möglichkeiten:* Nährstoffrückgewinnung aus Schwarzwasser ist technisch aufwändig und wurde noch wenig untersucht. Braun- oder Schwarzwasser ist höher konzentriert als das Schmutzwasser<sup>22</sup> und kann über Schwerkraft oder Vakuumentwässerung<sup>23</sup> abgeleitet werden. Unterschiedliche Spülmengen bei den Toiletten liefern unterschiedlich dichte (flüssige) Schwarzwässer. Für die nachträgliche Verwertung wird das Braun- oder Schwarzwasser in der Regel in eine feststoffarme und eine feststoffreiche Phase aufgetrennt. Dies kann beispielsweise mittels Hydrozyklon<sup>24</sup> erreicht werden. Die feststoffreiche Phase kann danach kompostiert (Thermokompostierung, Wurmkompostierung P 2.2, P 4.1) oder mittels anaeroben Verfahren (Biogasreaktor P 1.1, P 2.1, P 4.1, HRAR; P 1.4) vergärt werden. Die feststoffarme Phase kann in einer Pflanzenkläranlage gereinigt werden (DWA,

Abb. 5 Schemaschnitt durch Trockentoilette mit Kompostcontainer



Die Pfeile stellen die Richtung der Luftbewegung dar.  
Quelle: Berger/Lorenz-Ladener (2008).

<sup>19</sup> Bakterien, welche auf einem Substrat festsitzen.

<sup>20</sup> Frei im Wasser schwebende Bakterien.

<sup>21</sup> Herr Herrmann von Aqua Nostra schreibt, dass er von über 400 von der Firma erstellten Pflanzenkläranlagen nur von einer weiss, von welcher das Wasser zur WC-Spülung genutzt wird. Er rät davon ab, da er ein Risiko mit möglicherweise unzufriedenen Kunden nicht eingehen möchte (persönliches Mail vom 27.12.2011).

<sup>22</sup> Mischung aus Schwarz- und Grauwasser.

<sup>23</sup> Vor- und Nachteile zu Vakuumentwässerung siehe Herbst (2008).

<sup>24</sup> Dies ist eine Art Zentrifuge, bei der tangential einströmendes Mischwasser eine Wirbelströmung im Abscheider verursacht, wodurch die schwereren Partikel an den Rand und nach unten gedrängt, die feineren nach oben abgeführt werden. Das Verfahren wird auch Wirbelabscheider genannt, siehe Bild im Anhang A, Nr. 18.

2008). Eine weitere Behandlungsmöglichkeit bietet der Membranbelebungsreaktor (auch Kleinkläranlage), der bei der Grauwasserbehandlung bereits erwähnt wurde (P 1.2).

#### 2.4.5 Behandlung von Fäkalien aus Trockentoiletten

*Ziel:* Aus Fäzes oder Fäkalien, welche im Kompostbehälter einer Trockentoilette (s. Abb. 5) gelagert werden, kann Kompost gewonnen werden.

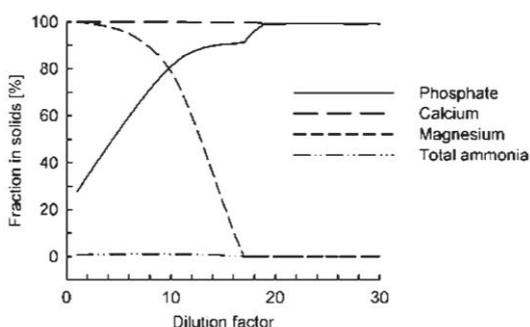
*Technische Möglichkeiten:* Mikroorganismen bauen das organische Material ab.

Die Qualität des Kompostes (Prozessgeschwindigkeit, Temperatur, Hygienisierung) hängt ab von der Sauerstoffmenge, der Feuchtigkeit und dem C/N-Verhältnis. Fäzes (ohne Urin) haben bessere Voraussetzungen für die Kompostierung. Für einen optimalen Prozess muss kohlenstoffreiches Strukturmaterial wie Holzschnitzel oder Sägemehl sowie Küchen- oder Gartenabfälle zugegeben werden. Eine gute Abzugslüftung ist notwendig, um einerseits den Kompostierungsprozess durch Sauerstoffzufuhr zu fördern und um andererseits Gerüche abzuleiten. Bisher wurde dieses System nur in maximal viergeschossigen Häusern eingesetzt. Grund dafür ist der Platzverlust durch die Fall- und die Lüftungsrohre der oberen Wohnungen, welche auch brandschutztechnischen Anforderungen (Abschottung) genügen müssen (Berger/Lorenz-Ladener, 2008). Die Abwesenheit von Spülwasser ermöglicht einen Betrieb unabhängig von einem Abwassernetz, wenn das Grauwasser in einer Pflanzenkläranlage aufbereitet wird. Diese Art von Kompostierung wird bei P 5.1, P 5.2, P 6.1 und P 6.2 praktiziert.

#### 2.4.6 Behandlung von Urin, Urintrennung

*Ziel:* Rückgewinnung von Phosphor ist ein Hauptgrund für die Sammlung von Urin. Ebenso können

**Abb. 6 Löslichkeitsverhalten von Phosphor und Calcium**



Anteil der eliminierten gelösten Stoffe, welche durch Leitungswasser mittlerer Härte bei einem Verdünnungsfaktor von 1 bis 10 ausgefällt werden. Mit zunehmender Verdünnung von Urin mit Leitungswasser nimmt der Anteil an gefällten Phosphaten zu. Quelle: Udert et al. (2006)

durch die direkte Abtrennung von Urin Nährstoffe sowie Medikamentenrückstände vor dem Eintrag ins Wasser ferngehalten werden. Dies reduziert die Eutrophierung der Gewässer und die Belastung aquatischer Organismen mit Schadstoffen.

*Technische Möglichkeiten:* Es gibt zahlreiche Verfahren für die Behandlung. Das einfachste Verfahren ist die Lagerung, wobei nach sechs Monaten bei 20 °C pathogene Keime so stark reduziert sind, dass der Urin als Pflanzendünger verwendet werden kann (Maurer et al., 2006). Ein weiteres Verfahren ist die Ausfällung von Struvit, welche unter Zugabe von

Magnesium ausgelöst wird. Struvit wie auch flüssiger Urin können als Dünger eingesetzt werden.<sup>25</sup> Urintrennung wird bei folgenden Projekten angewendet: P 3.1, P 3.3, P 3.4, P 4.1, P 4.6, P 6.1, P 6.2.

*Eigenschaften von Urin:* Durch mineralstoffhaltiges Wasser können spontane Fällungsreaktionen im Urin stattfinden. Je mehr Urin mit Leitungswasser verdünnt wird, umso mehr Phosphat geht in die feste Phase über (Udert et al., 2006)(siehe Abb. 6). Die Fällungsprodukte setzen sich in den Leitungen fest und können zu Verkrustungen oder Leitungsverstopfungen führen. Daher ist es sinnvoll, Urin ohne Spülwasser zu sammeln oder allenfalls mit geringen Mengen an Regenwasser zu spülen.

*Bauliches:* Der Ammoniakausgasung aus dem Lagerurin sollte durch Sicherheitsvorkehrungen Rechnung getragen werden sollte. Ammoniak ist ein Reizgas, das auf Haut und Schleimhäute ätzend wirkt. Stickstoffverlust kann vermieden werden, indem der Urintank nicht entlüftet wird. Ammoniak wirkt korrosiv und gelagerter Urin hat basische Eigenschaften, worauf bei der Materialwahl der Anlage eingegangen werden sollte. Die Verwertung von Urin bedingt einen sparsamen Umgang mit Reinigungsmitteln. Die Erfassung von Urin erfolgt via Trenntoilette oder Urinal. Urin ohne Spülwasser ist vermischtem Urin gegenüber vorzuziehen.<sup>26</sup> Eine Sitztoilette zu entwickeln, aus welcher purer Urin gewonnen werden kann, stellt eine Herausforderung dar für die Sanitärindustrie.<sup>27</sup>

#### 2.4.7 Mikroschadstoffe

Als Mikroverunreinigungen wird eine grosse Gruppe organischer Stoffe bezeichnet, welche in Kleinstmengen<sup>28</sup> auftritt (Schluep et al., 2006). Dazu gehören Körperpflege-, Desinfektions- und Schmerzmittel, hormonaktive Substanzen, synthetische Moschusduftstoffe und Industriechemikalien (Hillenbrand, 2009). Ihre Auswirkungen auf die Umwelt ist noch wenig erforscht. Es bestehen Bedenken, dass aufgrund von urinbasierten, mit Mikroschadstoffen versetzten Düngestoffen Substanzen im Boden akkumulieren oder in die aquatische Umwelt gelangen, welche nachteilige Effekte auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit haben könnten. Bei der Fällung von verunreinigtem Urin verbleiben jedoch 98 % der Hormone und Arzneimittel in der Lösung. Eine weitere potenzielle Gefahr stellen Schwermetalle dar. Im Urin sind jedoch nur sehr kleine Mengen davon enthalten. Mit der MAP-Fällung kann ein Produkt erzeugt werden, in dem die meisten organischen Mikroverunreinigungen eliminiert sind und das nur einen Bruchteil an den bereits geringen Mengen an Schwermetall aus dem Urin enthält. (Ronteltap et al., 2007)

<sup>25</sup> Flüssiger Urindünger hat den Vorteil, dass er einfach herzustellen ist. Trockener Urindünger (in Form von Struvit) hat den Vorteil, dass bei der Ausbringung keine Ammoniakausgasung stattfindet und dadurch keine Gerüche entstehen.

<sup>26</sup> Für eine optimale Rückgewinnung von Phosphat in Form von Struvit ist es wichtig, durch eine Minimierung von magnesium- und kalziumhaltigem Spülwasser Phosphatfällung während der Lagerung zu verhindern (Ronteltap et al., 2007).

<sup>27</sup> Das in den Fallstudien eingesetzte Produkt weist nach Aussagen mehrerer Bezugspersonen noch diverse Mängel auf und muss weiter entwickelt werden, bevor es in einem grösseren Rahmen eingesetzt werden kann. Ein weiteres Problem ist, dass die Ergonomie dieser Trenntoilette nicht auf Kinder angepasst ist. Für Kinder unter 1.40 Metern Körpergrösse ist das genannte Modell nicht geeignet.

<sup>28</sup> Kleiner als eins in einer Million.

## 3 ERGEBNISSE

### 3.1 Literaturrecherche

#### Literatur zu Pilotprojekten mit Stoffstromtrennung

Die Internetrecherche verfolgte primär das Ziel, Literatur zu Pilotprojekten mit Stoffstromtrennung zu finden. Anfänglich war es schwierig, überhaupt Pilotprojekte zu finden. Als hilfreiche Quelle für den Einstieg dienten verschiedene Auflistungen. Einerseits die Internetseite der "Sustainable Sanitation Alliance" (SuSanA), auf der unter anderem eine umfangreiche Sammlung von über 300 Ecosan-Pilotprojekten zu finden ist (Von Münch, 2012). Hier bestand die Schwierigkeit, aus der Fülle an Ecosan-Projekten jene herauszupicken, welche für eine Anwendung in europäischen Industrieländern in Frage kamen. Andererseits Projektlisten mit Kurzbeschreibung enthalten in Lange (2000, 11), Lange/Otterpohl (2000, 236-239), Rudolph/Schäfer (2001, 74-78) und Villeroy\_&\_Boch et al. (2009, 11-13). Etwas ausführlichere Projektbeschreibungen sind enthalten in DWA (2008, 231-233), Lüthi et al. (2011, 108-115), Berger/Lorenz-Ladener (2008, 127-177) sowie auf Ecologic\_Architecture (2011). Anhand dieser Listen konnte nach detaillierten Unterlagen (Schlussberichte der Forschungsprojekte) zu den einzelnen Projekten gesucht werden. Auf der Internetseite von SuSanA () werden sogar Datenblätter zu ausgewählten Projekten bereitgestellt. Die umfassende Recherche hat zu einer Vorauswahl von rund 50 Projekten geführt. Sie ist im elektronischen Anhang zu finden. Oft handelte es sich um Forschungsprojekte mit Partnern aus der Industrie, die meisten aus dem Raum Deutschland. Aus der Hotelbranche waren vereinzelte Grauwasserprojekte zu finden.

#### Grundlagenliteratur

Die parallele Suche (in Fachbibliotheken und Internet, siehe Methode) nach Grundlagenliteratur zu dezentralen Sanitärsystemen brachte eine sehr umfangreiche Menge an Literatur zum Vorschein, welche in verschiedene Themenbereiche einzuordnen ist. Werke wie DWA (2008), Herbst (2008), Lange/Otterpohl (2000), Schlesinger (2003), Larsen/Lienert (2007), Eawag (2007) und Longdong (2009)<sup>29</sup> fanden vorwiegend im Theorieteil, Kap. 2 Verwendung. Weiter für diese Arbeit von Nutzen war die Literatur zu Aufbereitungstechnologien des häuslichen Abwassers (Berger/Lorenz-Ladener, 2008; DWA, 2008; Lange/Otterpohl, 2000; SuSanA) und zum Ausblick auf die Transformation des Abwassersektors (Koziol et al., 2006; Rothenberger, 2003; Störmer et al., 2010).

---

<sup>29</sup> Dieses Lehrbuch der Bauhaus-Universität Weimar, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft, wurde mir freundlicherweise vom Autor zur Verfügung gestellt.

### Ergänzende Fachliteratur

Begleitend wurden im Internet ergänzende Quellen zu spezifischen Themen (Pilotprojekte, Hotels, Wasserverbrauch, Nachhaltigkeit und Tourismus etc.) welche sich aus der Arbeit ergaben gesucht. Zu den meisten Pilotprojekten wurden umfangreiche Forschungsberichte erstellt (Hiessl/Hillenbrand, 2010; Peter-Föhlich et al., 2007; Villeroy\_&\_Boch et al., 2009) (P 0.1, P 4.1, P 2.2). Für autarke Standorte wurde das kompakte High-Tech-Konzept Sanbox (2011) mit Solarenergienutzung, Abwasserrecycling und Nährstoffrückgewinnung entwickelt. Mit Hotels gab es wenig Versuchsprojekte und mehrheitlich solche mit Grauwasseraufbereitung. Ein vielversprechendes Projekt integrierte auch Hotelabfälle in die Abwasseraufbereitung (Steinbach et al., 2007), auf das in der Diskussion eingegangen wird. Eine Studie untersuchte die Möglichkeiten zur Entwicklung innovativer Wassermanagementkonzepte für das Hotel- und Gaststättengewerbe (Pinnekamp/Günthert, 2010). Zum Thema der dezentralen Abwasserwirtschaft gibt es eine wachsende Anzahl an Masterarbeiten und Dissertationen unterschiedlichster Ausrichtungen (Life Cycle Analysis, Nachhaltigkeitsbewertung sowie ökonomische Vergleichsstudien). Eine spannende Arbeit beschreibt die Entwicklung von Sanitärprodukten (Möllring, 2003).

### Überblick: Pilotprojekte in der Schweiz

Für die Schweiz wurden unter Einbezug des Abschlussberichtes von Novaquatis (Larsen/Lienert, 2007) folgende Pilotprojekte mit Stoffstromtrennung erfasst:

Ab 1997: Einzelne Versuche mit NoMix-WC an der Eawag. 2001: In der Siedlung Kraftwerk 1 Zürich werden zur Untersuchung der Akzeptanz im Haushalt in vier Privatwohnungen NoMix-WC eingebaut. 2002–2004: Drei NoMix-WC und sechs wasserlose Urinale an der FHNW (Larsen/Lienert, 2007). 2004: Unter dem Titel Aquamin wird in Solothurn während drei Jahren ein Einfamilienhaus mit einem MBR betrieben. Der separat gesammelte Urin wird zu Struvit verarbeitet (Abegglen, 2005). Die Anlage wurde wieder abgebaut.<sup>30</sup> 2005: Volle Implementierung der NoMix-Technologie in der Kantonsbibliothek BL in Liestal mit einer Begleitforschung zur Aufbereitung des Urins zu Dünger: Das Amt für Industrielle Betriebe BL erhielt vom Bundesamt für Landwirtschaft eine provisorische Bewilligung zur Verwendung des Düngers, der in Feldversuchen durch das Forschungsinstitut für biologischen Landbau in Frick (FiBL) getestet wurde (Larsen/Lienert, 2007). Die NoMix-Toiletten wurden wegen Akzeptanzproblemen<sup>31</sup> wieder ausgebaut und durch konventionelle WCs ersetzt. 2006: Im Neubau Forum Chriesbach werden 37 NoMix-WC und 7 wasserlose Urinale eingebaut (P 3.4). Diese sind heute noch in Betrieb.

<sup>30</sup> Persönliche Mitteilung von Herrn Abegglen, wissenschaftlicher Begleiter der Anlage, aufgrund einer telefonischen Anfrage vom 07.08.2011.

<sup>31</sup> Telefonnotiz in der Masterarbeit von Bienz Septinus (2009).

### 3.2 Architektenbefragung

Befragt wurden zehn Personen aus dem Bekanntenkreis der Autorin, Architekten (ETH, HTL, FH, Dipl.-Ing.), eine Innenarchitektin und ein Bauführer, die bis auf eine Person zum Zeitpunkt der Befragung alle in der Architektur tätig waren. Im ersten Teil der Umfrage mussten sie Vorschläge machen zum sparsamen Umgang mit Wasser und die effizientesten Möglichkeiten dazu nennen. Die meistgenannten Vorschläge waren Regenwassernutzung (7 x), Spararmaturen (5 x), Wassersparapparate (3 x) und die Wiederverwendung von Wasser (2 x). Als effizienteste Möglichkeit zum Wassersparen wurden dieselben Technologien und das Benutzerverhalten genannt.

Im zweiten Teil der Umfrage mussten die Befragten aus einer Auswahl an aufgelisteten Begriffen jene anwählen, die ihnen bekannt waren, und Beispiele dazu nennen.

Stoffstromtrennung und dezentrale Abwassertechnologien waren am wenigsten bekannt, Wasserspardüsen, Regenwassernutzung, Vakuumtoiletten, Kleinkläranlagen und Durchflussreduzierer am meisten. Sechs von zehn Personen kannten NoMix-WCs. Die Umfrage bestätigte die Vermutung der Autorin, dass das Thema dezentrale Abwassertechnologien noch nicht sehr weit verbreitet ist bei Architekten, auch wenn vereinzelt Wissen vorhanden ist. Der Fragebogen und die Auswertungen sind im Anhang zu finden.

### 3.3 Experteninterviews

Für einen praxisbezogenen Zugang zum bearbeiteten Thema wurden Gespräche mit folgenden Personen durchgeführt:

- Herr Maurice Jutz, Biologe lic. phil. nat. und Umweltingenieur MSc, Professor am Institut für Ecopreneurship an der FHNW und Inhaber der Effizienzagentur Schweiz AG
- Herr Walter Locher, dipl. Sanitärtechniker TS und Geschäftsführer der Firma Locher, Schwittay, Gebäudetechnik GmbH, Basel
- Herr Willi Haldemann, Geschäftsführer der Firma Haldemann Basel, Ingenieurbüro für Sanitärtechnik
- Frau Barbara Buser, Architektin ETH/SIA, NDS Energie, Geschäftsführerin des Baubüros Insitu, Basel
- Herr Roland Stulz, dipl. Arch. ETH/SIA, Planer FSU, Geschäftsführer von "Novatlantis – Nachhaltigkeit im ETH-Bereich", bis 2009 Mitglied des Verwaltungsrats und der Geschäftsleitung von Amstein und Walthert, Zürich
- Herr Felix Frei, dipl. Natw. ETH, Consultant im Bereich Wasser bei Amstein und Walthert, Zürich
- Herr Renato Bomio, Arch. FH, Projektleiter bei der Liegenschaftsverwaltung der Stadt Bern, Projektleiter des Projektes Stöckacker, Bern

Die thematisch gegliederten Auszüge aus den Gesprächen geben einen Eindruck über die Gesprächsinhalte liegen der gedruckten Arbeit bei. Die Angaben in den Fussnoten (wie: B0 #00:00:00-0#<sup>32</sup>)

---

<sup>32</sup> B0 steht für den Befragten, #00:00:00-0# bezieht sich auf die Stelle im zeitlichen Ablauf des Interviews.

dienen der Auffindbarkeit der herausgezogenen Textstellen im Transkript. Anschliessend folgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Gesprächen.

### Wassersparen

Wassersparen wurde als ein in der Schweiz allgemein bekanntes Thema bezeichnet. Beim Bauen wurde Warmwassersparen in Zusammenhang mit Energie als wichtigstes, Abwasser hingegen als unbeachtetes Thema genannt.<sup>33</sup> Es war von einem Einsparpotenzial bei Trinkwasser von bis zu 40 % die Rede, das zuerst ausgeschöpft werden sollte, bevor Massnahmen zur Substitution von Trinkwasser<sup>34</sup> ergriffen würden.<sup>35</sup> Neben Wasserspararmaturen wurden wasserlose Urinale<sup>36</sup>, die Reduktion von Leitungsquerschnitten<sup>37</sup> und spezielle Techniken für Armaturen<sup>38</sup> und Leitungssysteme<sup>39</sup>, welche neben Wasser auch Energie sparen, vorgeschlagen. Weiter wurde eine kompakte Bauweise, welche die Ausstossverluste<sup>40</sup> verringert, und die Reduktion der Anzahl Wasserstellen im Haus<sup>41</sup> genannt. Als Ansatz für die Planung wurde das Vier-Säulen-Prinzip<sup>42</sup> genannt, welches auf 1.) effizienten Einsatz von Trinkwasser, 2.) Ressourcenschutz, 3.) Energie bzw. Wärmerückgewinnung und 4.) Substitution achtet.

### Argumente zu dezentralen Sanitärsystemen (pro, contra, Chancen, Hindernisse)

Die Notwendigkeit für dezentrale Sanitärsysteme wurde von den Befragten bezweifelt, da die Schweiz über ein gut ausgebautes Abwassernetz verfügt. Anwendungsfelder wurden eher in dünn besiedelten oder an Wasser knappen Regionen gesehen.<sup>43</sup> Dennoch wurde Stoffstromtrennung als sinnvolles Prinzip erachtet, um das Abwassersystem nachhaltiger zu gestalten und "End-of-pipe"-Lösungen zu verhindern.<sup>44</sup> Es wurde darauf hingewiesen, dass mit einzelnen punktuellen Lösungen in der Industrie mit verhältnismässig kleinem Aufwand viel erreicht werden kann, wobei es unvergleichbar aufwendiger ist, denselben Effekt mit Privathaushalten zu erreichen.<sup>45</sup> Es bestanden auch Bedenken, dass dezentrale Systeme gegenüber dem konventionellen System mehr Energie und

<sup>33</sup> B4 #00:22:23-8#.

<sup>34</sup> Ersatz von Trinkwasser welches für niedrigere Zwecke verwendet wird durch (aufbereitet aus Abwasser) Brauchwasser.

<sup>35</sup> B3 #00:41:05-5#, B3 #00:40:51-9#.

<sup>36</sup> B4 #00:09:08-4#.

<sup>37</sup> Volumenstrom 6 L/min statt 12 L/min, B2 #00:41:23-4#.

<sup>38</sup> Das Problem des Einhebelmischers, dass immer Warmwasser mitgeführt wird, ohne dass man explizit Warmwasser braucht, B2 #00:43:46-5#, Problem bei "Jrgumat", der durch ständige Zumischung von Kaltwasser eine konstante Höchsttemperatur hält, B3 #00:53:54-4#, bessere Alternative "Taconova-Mischer" B3 #00:55:42-8#.

<sup>39</sup> Rohr-in-Rohr-System, B3 #01:09:10-2#.

<sup>40</sup> Wasserverluste in Zusammenhang mit der Wartezeit nach dem Öffnen des Hahns, bis Warmwasser aus dem Hahn fliesst. Die Ausstossverluste sind gekoppelt an die Distanz zwischen Wasserentnahmestelle und Steigleitung.

B2 #00:57:35-1#.

<sup>41</sup> B4 #00:31:09-1#.

<sup>42</sup> B6 #01:04:36-1#.

<sup>43</sup> B2 #00:10:16-4#, B3, #00:28:19-1#, für ein Hotel in der Sahara, statt Grundwasser hochpumpen, B4 #00:23:47-9#,

B4 #00:15:45-3#, B6 #00:35:51-7#.

<sup>44</sup> Beispielsweise Urinentrennung, B5 #00:45:10-0#, Trennen an der Quelle, B6 #00:40:15-0#.

<sup>45</sup> B6 #01:43:31-6#.

Platz brauchen, mehr Kosten verursachen würden und die Verantwortlichkeiten für den Unterhalt und Betrieb, den Besitz und die Sorge um für Reststoffe unklar lassen würden.<sup>46</sup>

Als Chancen für dezentrale Abwassersysteme wurden die anstehenden Erneuerungen der Abwassersysteme und deren hohen volkswirtschaftlichen Kosten, (durch Klimaveränderung ausgelöst) die Verknappung der Ressource Wasser, der zunehmende Druck auf die Behörden und mehr Verantwortungsbewusstsein der Politiker gegenüber der Umwelt genannt.<sup>47</sup> Ausser mit Industrieprojekten waren die Erfahrungen der Befragten mit dezentralen Sanitärsystemen spärlich, da der Fokus aktuell in der Planung beim Energiesparen liegt. Daneben sollten vor der Substitution von Trinkwasser die Potenziale für Wassersparen ausgeschöpft werden. Mehrfach wurde über den hindernden Einfluss der Behörden und ARA-Betreiber<sup>48</sup> sowie unklare Zuständigkeiten zwischen Bund, Kanton und Gemeinden berichtet.<sup>49</sup>

Als Hindernis für die Einführung von dezentralen Sanitärsystemen wurden das Ausbringverbot für Klärschlamm sowie der Anschlusszwang ans öffentliche Netz, welcher nach einer Ausnahmegewilligung für dezentrale Systeme verlangt, genannt.<sup>50</sup> Der zu tiefe Wasserpreis wurde als Hauptgrund für das Desinteresse an neuartigen Sanitärsystemen genannt.<sup>51</sup> Weiter wurden Mikroverunreinigungen im Urin, Bildung von Urinstein wie auch die zu erwartenden höheren Kosten für Pilotprojekte genannt.<sup>52</sup> Die Wichtigkeit des Einbezugs der Themen Wassersparen und dezentrale Sanitärsysteme in der Lehre<sup>53</sup> wurde betont, wobei vor allem bei den Architekten (ETH) Handlungsbedarf zu bestehen scheint.<sup>54</sup> Die Erhöhung des Wasserpreises<sup>55</sup> als Anreiz neben Förderbeiträgen wurde als mögliches Steuerungsinstrument erwähnt, wodurch der Einsatz weiterer Pilotprojekte und damit eine stufenweise Veränderung Richtung Stoffstromtrennung möglich würde.<sup>56</sup>

---

<sup>46</sup> Energie und Platz, B1 #00:20:52-9#, Verantwortlichkeit, B2, #00:47:33-2#.

<sup>47</sup> Kanalsanierungen B6 #00:36:34-6#, B6 #00:51:08-2#, B6 #00:53:05-7#, Verantwortung der Politik B7 #01:53:56-6#.

<sup>48</sup> B2 #01:48:03-9#, B6 #00:33:19-2#, B6 #00:34:06-1#, B6 #00:35:26-1#, B6 #00:38:08-1#, B7 #01:19:50-9#.

<sup>49</sup> B7 #01:20:21-1#, B7 #01:00:04-3#.

<sup>50</sup> B3 #00:41:48-1#, B4 #00:16:55-6#, B7 #00:59:40-1#, B7 #01:00:41-2#.

<sup>51</sup> B2 #00:24:40-5#, B3 #00:14:42-4#, B3 #00:24:16-1#, B4 #00:19:13-5#, B4 #00:20:20-3#.

<sup>52</sup> B7 #01:08:40-4#, B7 #01:06:44-2#, B7 #01:07:34-0#, B7 #00:32:42-6#, B6 #00:48:38-4#.

<sup>53</sup> Die Dokumentation Zukunft zu dezentralen Wassertechnologien (Störmer et al., 2010, 57) bestätigt diese Aussage für Deutschland: "Hochschulen und Ausbildungseinrichtungen beschäftigen sich zu wenig integriert mit der Frage der Hauswassertechnik. Hochschulinstitute für Sanitärtechnik fehlen ganz. "

<sup>54</sup> Konzepte zum Thema knappe Ressourcen Wasser sollten in die Lehre der Architekten einfließen, B4 #00:45:06-7#, an der ETH ist es kein Thema, an der FH schon, B6 #01:26:29-7#.

<sup>55</sup> Der Wasserpreis ist ein zentraler Faktor, ob Wasserrecycling-Technologien ökonomisch rational installiert werden können (Störmer et al., 2010, 57).

<sup>56</sup> B3 #01:17:11-9#, B6 #00:36:37-4#, B3 #01:28:56-3#, B4 #00:35:38-3#, B4 #00:39:28-5#, B7 #00:34:45-8#, B7 #01:49:08-7#.

### 3.4 Die Sanitärsysteme

In diesem Kapitel wird folgenden Fragen nachgegangen:

**A: WELCHE DEZENTRALEN ABWASSERSYSTEME GIBT ES UND WELCHE EIGENSCHAFTEN BRINGEN SIE MIT SICH?**

**A1: WELCHE CHARAKTERISTIKA WEISEN DIE DEZENTRALEN SYSTEME AUF?**

**A2: WELCHE VOR- UND NACHTEILE BRINGEN DIESE SYSTEME MIT SICH?**

**A3: WO SIND MÖGLICHE EINSATZFELDER?**

**A4: WELCHE EINFLÜSSE HABEN DIE EINZELNEN SYSTEME AUF DIE UMWELT?**

#### 3.4.1 Die Systematik

Abwasser durchläuft von der Entstehung bis zur Deponie verschiedene Prozessschritte: Erfassung, Sammlung und Lagerung, Behandlung, Transport und schlussendlich Verwendung oder Deponie. Bei jedem dieser Schritte gibt es verschiedene Möglichkeiten der Behandlung (des Verfahrens). Gesucht ist eine Systematik, die hilft sich Überblick zu verschaffen über die grosse Anzahl an Verfahren.

Ein Ansatz zur Kategorisierung ist die Stoffstromtrennung. Hier kann anhand der Zusammensetzung und den Eigenschaften des Ausgangsproduktes (Schwarzwasser, Braunwasser, Gelbwasser, Grauwasser) ein entsprechendes Aufbereitungsverfahren ausgewählt werden. Andererseits kann (sozusagen von hinten) anhand eines gewünschten Endproduktes (Brauchwasser, Kompost, Urindünger) die Art der Stoffstromtrennung und die Verfahren gewählt werden.

Die Illustration im Anhang A, Nr. 19/20 zeigt die Systemvorlage und ein Anwendungsbeispiel nach Tilley et al. (2008), Nr. 18–23 zeigt eine Übersicht anhand der Darstellung der sechs Systeme der Stoffstromtrennung nach DWA (2008). Diese Systematik, die auch für diese Arbeit verwendet wird, ist einfach nachzuvollziehen, da es dafür kein vertieftes Verständnis der Verfahrenstechnik braucht. Sie ist gut überblickbar, da sie lediglich zwischen sechs Systemen unterscheidet.

Da die Systeme lange Bezeichnungen haben, werden im Folgenden nur noch die Abkürzungen verwendet (S1, S2 ...). Anhand von Tab. 3 (siehe unten) ist ersichtlich, welche Stoffströme für das jeweilige System einzeln geführt werden. Die Trennung hat Konsequenzen auf die Steigzonen und das Leitungsnetz. Die Zuleitungen sind aus Gründen der Vollständigkeit ebenfalls aufgeführt. In Anhang A, Nr. 24 ist eine Übersicht über die Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Produkte aus der Stoffstromtrennung zu finden.

Tab. 3 Überblick über die sechs Systeme anhand der Teilströme

Nr.	Name System	Einzelne Teilströme	Ableitungen	Zuleitungen
S1:	1-Stoffstromtrennung	Schmutzwasser	Schmutzwasser	Warmwasser Kaltwasser (Brauchwasser)
S2:	Schwarzwasser 2-Stoffstromtrennung	Grauwasser Schwarzwasser	Grauwasser Schwarzwasser	Warmwasser Kaltwasser Brauchwasser
S3:	Urintrennung 2-Stoffstromtrennung	Urin Braun- + Grauwasser- gemisch	Gelbwasser Braun- + Grauwasser	Warmwasser Kaltwasser (Brauchwasser)
S4:	Urintrennung 3-Stoffstromtrennung	Urin Grauwasser Braunwasser	Gelbwasser Grauwasser Braunwasser	Warmwasser Kaltwasser (Brauchwasser)
S5:	Fäkalien 2-Stoffstromtrennung (Trockentoiletten)	Fäkalien Grauwasser	Fäkalien (Abwurf) Grauwasser	Warmwasser Kaltwasser
S6:	Urintrennung 3-Stoffstromtrennung (Trockentoiletten)	Urin Fäzes Grauwasser	Gelbwasser Fäzes (Abwurf) Grauwasser	Warmwasser Kaltwasser

Die Systeme mit ihren Teilströmen und den dafür benötigten Installationsleitungen (Zu- und Ableitung). Die Anzahl der Teilströme und der Ableitungen entspricht der Bezeichnung im Namen des Systems. Quelle: DWA (2008), ergänzt.

#### Die einzelnen Prozessschritte eines Sanitärsystems, ("Functional Groups")

Um die Prozessschritte, die ein Stoffstrom von der Erfassung bis zum Endverbrauch durchläuft, strukturiert darzustellen, wird auf die Systematik von Tilley et al. (2008) zurückgegriffen, wo die einzelnen Prozessschritte ("Functional Groups") beschrieben werden, siehe Anhang A 19/20.

1. Benutzerschnittstelle (U "User Interface")
2. Sammlung und Lagerung/Behandlung dezentral (S "Collection and Storage/Treatment")
3. Beförderung (C "Conveyance")
4. Behandlung semizentral oder zentral (T "Semi Centralized Treatment")
5. Verwendung/Deponie (D "Use and/or Disposal")

#### Unterschiedliche Herangehensweisen, um den Kreislauf zu schliessen

Hinter den sechs Systemen stehen unterschiedliche Ansätze, wie unser bestehendes Abwassersystem in ein Kreislaufsystem transformiert werden kann. Die Konzepte basieren auf unterschiedlichen Zielsetzungen: einerseits der blossen Elimination von Verunreinigung, um Wasser in die Umwelt zurückzuführen oder wieder zu verwenden, andererseits der Nutzung von bestimmten Stoffen aus den Abwasserströmen.

Nutzstoff und Reststoff, Anbindung an ARA

Bei jedem System gibt es meistens einen Nutzstoff, der verwendet wird und Reststoffe, die der ARA übergeben werden. Abhängig von der Absicht, aus welcher die Stoffstromtrennung angelegt ist, können diese variieren.

3.4.2 Aufbau der Stoffstromsysteme und die Zielprodukte

Aus Tab. 4 geht hervor, wie die Stoffstromsysteme aufgebaut sind. Es ist ersichtlich, welche Benutzerschnittstellen für die einzelnen Systeme verwendet werden, welche Leitungen zur Ver- und Entsorgung notwendig sind (Platzverbrauch Steigzonen) und welche Produkte aus den Systemen hervorgehen. Optionen sind in Klammer gesetzt. Beispielsweise kann bei S1–S4 ein Vakuumsystem eingesetzt werden. Der Einsatz eines Vakuumsystems kann besonders bei S2 und S4 von Vorteil sein, da durch die Abtrennung des Grauwassers der Schwarzwasserstrom dickflüssiger ist. Bei allen Systemen kann Regenwasser als Brauchwasser eingesetzt werden, wozu ein separates Brauchwassernetz benötigt wird.

Anschliessend werden die Charakteristika der sechs Systeme beschrieben, Tab. 4 (siehe unten) liefert einen kompakten Überblick über die zu den Systemen zugehörigen Komponenten. Sie basieren auf einer Analyse der Systeme anhand der Pilotprojekte und dienen als Ergänzung zu den Systembeschreibungen Kap. 3.4.3 bis Kap. 3.4.8.

Tab. 4 Aufbau der Stoffstromsysteme (Prozessschritte/Komponenten)

Aufbau der Systeme (Prozessschritte)		1. Benutzerschnittstelle						3. Beförderung: Leitungssysteme										5. Verw./Deponie: Zielprodukt							
System Nr.	Systemtyp	WT	NM	TT	WU	TU	S	V	A	K	W	B	A	V	F	B	G	U	A	S/B	G	S	U	F	R
		Wassergespülte Toilette	Trenntoilette (NoMix)	Trockentoilette	Wassergespültes Urinal	Wasserloses Urinal	Schwerkraftsystem	Vakuumsystem	Anschluss Kanalisation notwendig	Zuleitung Kaltwasser	Zuleitung Warmwasser	Zuleitung Brauchwasser	Ableitung Schwarzwasser	Vakuum-Ableitung Schwarzwasser	Vertikaler Fallschacht Fäzes (+ Urin)	Ableitung Brauchwasser	Ableitung Grauwasser	Ableitung Urin	Abluft	Schwarz-/Braunwasserentwertung	Verwertung Grauwasser	Verwertung Schwarzwasserfiltrat	Urinverwertung	Fäkalienverwertung trocken (Kompost)	Verwertung Regenwasser
S1:	1-Stoffstromtrennung Schmutzwasser	WT	-	-	(WU)	TU	S	(V)	(A)	K	W	(B)	S	(V)	-	-	-	-	A	S	-	(S)	-	-	(R)
S2:	2-Stoffstromtrennung Grauwasser, Schwarzwasser	WT	-	-	(WU)	TU	S	(V!)	A	K	W	B	S	(V)	-	-	G	-	A	S	G	-	-	-	(R)
S3:	2-Stoffstromtrennung Urin, Braun- + Grauwasser	-	NM	-	-	TU	S	(V)	A	K	W	(B)	S	(V)	-	-	-	U	A	S	-	(S)	U	-	(R)
S4:	3-Stoffstromtrennung Urin, Grauwasser, Braunwasser	-	NM	-	-	TU	S	(V!)	A	K	W	(B)	-	(V)	-	B	G	U	A	B	G	-	U	-	(R)
S5:	2-Stoffstromtrennung Fäkalien, Grauwasser	-	-	TT	-	TU	S	-	(A)	K	W	(B)	-	-	F	-	G	-	A	-	G	-	-	F	(R)
S6:	3-Stoffstromtrennung Urin, Fäzes, Grauwasser	-	-	TT	-	TU	S	-	-	K	W	(B)	-	-	F	-	G	U	A	-	G	-	U	F	(R)

(X) = Option

(X!) = empfohlene Option

Übersicht über die Systemkomponenten und die Endprodukte der Systeme. Quelle: Eigene Darstellung, Herleitung aus den Pilotprojekten.

### 3.4.3 System 1: 1-Stoffstromtrennung

*Aufbau des Systems:* S1 mit ARA-Anschluss stellt das in den europäischen Ländern herkömmliche System dar. Als dezentrales Sanitärsystem wird es meist dann eingesetzt, wenn das Gebäude autark funktionieren muss. Es zielt nicht in erster Linie auf die Rückgewinnung von Stoffen ab, vielmehr basiert es (wie die Kläranlage) auf der Idee, das Abwasser zu reinigen, bevor es in die Umwelt (Gewässer) zurückgeführt wird.

*Charakteristika:* Alle häuslichen Abwässer werden gemischt und gemeinsam weiterverarbeitet.

*Vor- und Nachteile:* S1 hat den Vorteil, dass es im Bestand eingebaut werden kann, da nichts an der Leitungsinfrastruktur verändert, also kein zusätzlicher Platz für doppelte Leitungsführung vorgesehen werden muss.

*Einsatzgebiete:* Bei Projekten, welche ohne Kanalanschluss auskommen müssen und wo keine Wiederverwendung für die Nährstoffe besteht. S1 ist für Hotels problemlos einsetzbar.

*Umwelteinflüsse:* Je nach Einsatz der Technologie kann der Energieaufwand gross sein.

### 3.4.4 System 2: Schwarzwasser 2-Stoffstromtrennung

*Aufbau des Systems:* Bei S2 werden Grauwasser getrennt von Schwarzwasser in zwei Leitungssystemen geführt.

*Charakteristika:* Das in grösseren Mengen anfallende, jedoch weniger stark verschmutzte Grauwasser wird recycelt, um für Zwecke mit niedrigerer Qualitätsanforderung (kein Trinkwasser) eingesetzt werden zu können. Das aufbereitete Grauwasser wird oft für WC-Spülung, Reinigung oder Pflanzenbewässerung verwendet. Wenn der Schwarzwasserstrom, wie dies bei P 2.4 und P 2.5 der Fall ist, der Kanalisation übergeben wird, kann dieses System streng genommen nur als semizentral bezeichnet werden.

*Vor- und Nachteile:* Ein Vorteil ist, dass bei grossen Wasserverbrauchern grosse Mengen an Trinkwasser eingespart werden können. Ein Nachteil sind die zusätzlichen Leitungen, die eingebaut werden müssen, wobei dies für alle Systeme ausser S1 gilt. Sie verursachen Kosten und brauchen Platz. Für die Betreiber der ARA wird die Konsistenz des Schwarzwassers, welches eine reduzierte Fließqualität aufweist, als Nachteil gesehen. Da die Kanäle mangels des rückgewonnenen Grauwassers weniger gut durchspült werden, können leichter Ablagerungen entstehen.

*Einsatzgebiete:* Der Einsatz von S2 ist sinnvoll bei Projekten mit einem hohen Anfall an Grauwasser und einem grossen Bedarf an Brauchwasser wie beispielsweise bei Hotels, Sporthallen, Kasernen, Campingplätzen oder Ferienwohnsiedlungen, überall, wo die Körperpflege ein wesentlicher Teil der Wassernutzung ausmacht.

*Umwelteinflüsse:* Der Gewinn für die Umwelt liegt im kleineren Verbrauch von Frischwasser durch die Wiederverwendung von Brauchwasser für qualitativ niedrigere Anforderungen. Nährstoffe und

Mikroverunreinigungen befinden sich im übrigen Abwasser, wodurch das Potenzial zu dessen Eintrag in die aquatische Umwelt gegenüber dem konventionellen System unverändert ist.

#### 3.4.5 System 3: Urintrennung 2-Stoffstromtrennung

*Aufbau des Systems:* Bei S3 wird Urin resp. Gelbwasser vom übrigen Braun- und Grauwassergemisch in einer Trenntoilette separat erfasst, durch ein Schwerkraftsystem in einen Tank vor Ort geleitet und dort gelagert. Später kann er von dort entnommen und weiterverarbeitet werden.

*Charakteristika:* S3 ist ähnlich S1, jedoch mit der Erweiterung der Urintrennung zur Eliminierung oder Rückgewinnung von Nährstoffen. Meist wird das Braun-Grauwasser-Gemisch der ARA übergeben, es kann jedoch auch dezentral aufbereitet werden.

*Vor- und Nachteile:* Die grosse Nährstofffracht, die im Urin enthalten ist, wird an der Quelle abgetrennt, die andern Stoffströme werden konventionell behandelt. Dieses System bedingt eine technisch ausgereifte, gut funktionierende Trenntoilette. Die auf dem Markt vorhandenen Sanitärkomponenten müssen weiter entwickelt werden, wie die Untersuchung der Pilotprojekte ergeben hat. Der Nutzer muss sich an die separierte Abgabe von Urin und Fäzes auf der Trenntoilette gewöhnen, mitunter ist der Griff zur Bürste unerlässlich. Benutzeranweisungen helfen und zusätzliche Erläuterungen zur Motivation für die Urintrennung verbessert die Akzeptanz beim Benutzer. Anhand der Trenntoilette kann vom Anbieter ein umweltbewusstes Image kommuniziert werden.

*Einsatzgebiete:* Dieses System ist geeignet für Gebäude mit hoher Nutzerfrequenz der Toilettenanlagen wie Büros, Restaurants, Messegebäude, Konferenzräume, Universitäten etc. wie auch für mobile Anlagen (z. B. „Open Air“-Veranstaltungen).

*Umwelteinflüsse:* Der grosse Gewinn dieses Systems ist einerseits die Reduktion des Eintrags von Nährstoffen und Mikroschadstoffen in der aquatischen Umwelt unter Einbezug der Infrastruktur der ARA, andererseits können die Nährstoffe für die Nahrungsmittelproduktion zurückgewonnen werden.

#### 3.4.6 System 4: Urintrennung 3-Stoffstromtrennung

*Aufbau des Systems:* Bei S4 werden Gelbwasser, Grauwasser und Braunwasser einzeln behandelt. Urin wird analog zu S3 in einer Trenntoilette erfasst und weiterverarbeitet, Grauwasser wird analog zu S2 behandelt.

*Charakteristika:* S4 kann als Kombination der beiden Systeme S2 und S3 bezeichnet werden, wobei die Spezialisierung zur Behandlung der Stoffströme hier ein Schritt weitergetrieben wird. Das Ziel ist, aus Grauwasser und aus Urin Brauchwasser und Nährstoffe zu gewinnen. Das Braunwasser kann der ARA übergeben oder aber aufbereitet werden, was nur bei P 4.1 und P 4.6 zu Forschungszwecken so umgesetzt wurde.

Tab. 5 Gegenüberstellung der Eigenschaften der Systeme

Charakteristika der Systeme					
Nr.	Systemtyp	Primäres Ziel	Charakteristika	Vorteile	Nachteile
S1:	1-Stoffstromtrennung Schmutzwasser  Zuleitung: - Warm- und Kaltwasser Ableitung: - Schmutzwasser	- Eliminierung von Schmutzstoffen zur Einleitung in Gewässer/Umwelt	- Alle Stoffströme werden gemischt und gemeinsam aufbereitet - abhängig von der verwendeten Technologie zur Aufbereitung des Abwassers	- Einbau im Bestand möglich ohne Änderung am Leitungssystem - keine doppelte Leitungsführung - als autarkes System möglich/erprobt	- je nach System erhöhter Energieverbrauch - kein gezieltes Nährstoffrecycling möglich
S2:	2-Stoffstromtrennung Grauwasser, Schwarzwasser  Zuleitung: - Warm- und Kaltwasser - Brauchwasser Ableitung: - Grauwasser - Schwarzwasser	- Wiederverwendung von Brauchwasser mit dem Ziel, weniger Frischwasser zu verbrauchen	- Grauwasser wird separiert und für niedrigere Gebrauchszwecke aufbereitet - restliches Schwarzwasser muss auch aufbereitet werden, meist durch ARA - Kombination mit Biogasproduktion möglich (dann Vakuumsystem notwendig)	- nur weniger stark verschmutztes Wasser wird vor Ort aufbereitet - grosse Trinkwassereinsparungen sind möglich - bedingt keine Verhaltensänderung für den Endnutzer - Stoffstromtrennung bleibt für Endnutzer unsichtbar (auch Nachteil)	- zweifaches Leitungsnetz Abwasser - zusätzlich Brauchwasserzuleitung - reduzierte Fliessqualität des Schwarzwassers
S3:	2-Stoffstromtrennung Gelbwasser, Braun- + Grauwasser  Zuleitung: - Warm- und Kaltwasser Ableitung: - Gelbwasser - Braun-/Grauwasser	- Nutzung von Urin oder Urinprodukten - Zurückhalten resp. Eliminieren der Nährstoffe aus dem Urin - Entlasten des ARA- Abwassers	- Gelbwasser wird getrennt von Schwarzwasser in der Trenntoilette erfasst - daneben mit System 1 vergleichbar - restliches Braun- + Grauwasser muss auch aufbereitet werden, meist durch ARA	- grosse Nährstofffracht aus dem Urin wird nicht in ARA eingetragen - Reduktion des Eutrophierungspotenzials	- braucht gut funktionierende Trenntoilette - braucht Gebrauchsanweisung - Nutzer muss sich an Trenntoilette gewöhnen (Verhalten, Ästhetik) - zweifaches Leitungsnetz Abwasser
S4:	3-Stoffstromtrennung Gelbwasser, Grauwasser, Braunwasser  Zuleitung: - Warm- und Kaltwasser (- Brauchwasserleitung) Ableitung: - Gelbwasser - Grauwasser - Braunwasser	- Nutzung von Urin oder Urinprodukten - Zurückhalten resp. Eliminieren der Nährstoffe aus dem Urin - Entlasten des ARA- Abwassers - Wiederverwendung von Grauwasser - Eliminierung oder Nutzung der Nährstoffe aus dem Schwarzwasser	- alle drei Stoffströme werden separat erfasst und aufbereitet - die Produkte der drei Stoffströme können einzeln verwertet werden	- Grosse Nährstofffracht aus dem Urin wird nicht in ARA eingetragen - Reduktion des Eutrophierungspotenzials - Alle Stoffströme können einzeln effizient aufbereitet werden	- braucht gut funktionierende Trenntoilette - braucht Gebrauchsanweisung - Gewöhnung an Trenntoilette - reduzierte Fliessqualität des Schwarzwassers - dreifaches Leitungsnetz für Abwasser braucht Platz und verursacht Kosten - zusätzlich Brauchwasserzuleitung - im Umbau nur mit grossen Eingriffen in Bausubstanz möglich
S5:	2-Stoffstromtrennung Fäkalien, Grauwasser  Zuleitung: - Warm- und Kaltwasser (- Brauchwasser) Ableitung: - Fäkalienabwurf - Grauwasser	- Nutzung von Kompost aus Fäkalien und Küchenabfällen - Reduktion von Frischwasserverbrauch - Reduktion von Abwasser	- bedingt Verhaltensänderung - wenig Grauwasserverbrauch - daher Grauwasseraufbereitung nur zur Reinigung und Übergabe an Gewässer - vertikaler Abwurfschacht für Fäkalien notwendig - bisher Einsatz nur bis 4 Geschosse erprobt - vollständige Internalisierung der Entsorgung von Fäkalien - Unterdruck im Kompostraum verhindert Gerüche auch im Bad	- kein Spülwasser für Toilette notwendig - kein Schwarzwasser entsteht - Küchenabfälle können mit abgeworfen werden, dies verbessert den Kompostierungsprozess - Verwertung der eigenen Fäkalien; Erleben des Kreislaufprozesses	- Gewöhnung an Trockentoilette (Verhalten, Ästhetik) - für Wartung körperlicher Einsatz notwendig (1x pro Monat Kompost umwälzen, 1x pro Jahr entnehmen) - es können Gerüche entstehen - Platzbedarf für Fallrohr, keine Etagierung möglich - Platzbedarf für Kompostbehälter im UG und Kompostlagerfläche im Freien - System nur bis 4 Geschosse erprobt - im Umbau nur mit grossen Eingriffen in Bausubstanz möglich
S6:	3-Stoffstromtrennung Urin, Fäzes, Grauwasser  Zuleitung: - Warm- und Kaltwasser (- Brauchwasser) Fallstrang: - Gelbwasser - Fäzesabwurf - Grauwasser	- (Landwirtschaftliche) Nutzung von Urin - Nutzung von Kompost aus Fäkalien und Küchenabfällen - Reduktion von Frischwasserverbrauch - Reduktion von Abwasser	- bedingt Verhaltensänderung - wenig Grauwasserverbrauch - daher Grauwasseraufbereitung nur zur Reinigung und Übergabe an Gewässer - vertikaler Abwurfschacht für Fäkalien notwendig - bisher Einsatz nur bis 4 Geschosse erprobt - vollständige Internalisierung der Entsorgung von Fäkalien - Unterdruck im Kompostraum verhindert Gerüche auch im Bad	- kein Spülwasser für Toilette notwendig - kein Schwarzwasser entsteht - Küchenabfälle können mit abgeworfen werden, dies verbessert den Kompostierungsprozess - Verwertung der eigenen Fäkalien; Erleben des Kreislaufprozesses - spezifische Verwendung als Bodenverbesserer und Dünger	- Trenntoilette notwendig - Gewöhnung an Trockentoilette - für Unterhalt körperlicher Einsatz notwendig (1x pro Monat Kompost umwälzen, 1x pro Jahr entnehmen) - es können Gerüche entstehen - Platzbedarf für Fallrohr, keine Etagierung möglich - Platzbedarf für Kompostbehälter im UG und Kompostlagerfläche im Freien - System nur bis 4 Geschosse erprobt - im Umbau nur mit grossen Eingriffen in Bausubstanz möglich
Der Systemtyp zielt in erster Linie auf das zuerst genannte Produkt ab.					

Synthese aus den Ergebnissen der Pilotprojekte und der Literatur. Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Tab. 6 Gegenüberstellung der Eigenschaften der Systeme, Teil 2

Nr.	Umwelteinflüsse *	Einsatzbereiche	Eignung für Hotels	Bemerkungen
S 1:	- Abgabe von gereinigtem Abwasser an Umwelt - abhängig von der Technologie und/oder der Stufe zur Elimination der Verunreinigung und der Nährstoffe - je nach System grosser Energieverbrauch möglich	- überall dort einsetzbar, wo die Nährstoffe nicht explizit verwendet werden sollen - wasserautarke Gebäude	- problemlos einsetzbar bei Hotels, da der Kunde von der Anlage nichts mitbekommt - sinnvoll in abgelegenen Orten, ökologisch sensiblen Gebieten - jedoch keine direkte Imagebildung zum Thema Umweltbewusstsein	- die Eigenschaften sind bei diesem System teilweise von der verwendeten Aufbereitungstechnologie abhängig
S 2:	- Reduktion von Frischwasserverbrauch - das restliche Abwasser wird dichter - keine zusätzliche Elimination von Nährstoffen	- für Gebäude mit hohem Grauwasseranfall (Duschen) und hohem Brauchwasserbedarf	- problemlos einsetzbar bei Hotels, da der Kunde von der Anlage nichts mitbekommt - sinnvoll, da grosse Ersparnis beim Frischwasserverbrauch erzielt werden kann	- durch die dichtere Konsistenz des Abwassers wäre eine Kombination mit Biogaserzeugung aus dem Schwarzwasser vorteilhaft
S 3:	- durch die Abtrennung von Urin wird ein grosser Teil der Nährstoffe (ca. 80 % N, 50 % P) vor der Einleitung in die ARA abgezweigt und belastet somit das ARA-Abwasser weniger - Reduktion des Eutrophierungspotenzials - Reduktion von Schäden an der aquatischen Umwelt durch Mikroverunreinigungen	- für Gebäude mit hoher Nutzungsfrequenz der Toiletten	- nicht besonders geeignet, da nicht auf grossen Wasserverbrauch eingegangen wird, trotzdem denkbar - problematisch bei Hotels mit der Ausrichtung auf Kinder, da Ergonomie der Trenntoilette nur bedingt kindertauglich ist - Trenntoilette nutzbar als Aufhänger zur Kommunikation/Imagepflege zum Thema Umweltbewusstsein - Ästhetik der Trenntoilette einbeziehen	- bislang wenige Projekte umgesetzt - fehlende Produkte für Trenntoilette - Kombination mit Regenwasserspülung günstig, da weniger Bildung von Urinstein - Verwendung von Urin selten umgesetzt, da bewilligungspflichtig
S 4:	- durch die Abtrennung von Urin wird ein grosser Teil der Nährstoffe (ca. 80 % N, 50 % P) vor der Einleitung in die ARA abgezweigt und belastet somit das ARA-Abwasser weniger - Potenzial zur Schliessung der Wasser- und Nährstoffkreisläufe - Reduktion des Eutrophierungspotenzials - Reduktion von Schäden an der aquatischen Umwelt durch Mikroverunreinigungen	- eher für Wohnprojekte geeignet - wenn als erweitertes System 2 betrachtet, dann auch für Gebäude mit hohem Grauwasseranfall geeignet - jedoch mit dem Aspekt der Umweltbildung oder zur Imagepflege - wenn alle drei Stoffströme verwertet werden, Einsatz auch in Gegenden ohne Kanalanschluss möglich	- sinnvoll, da grosse Ersparnis beim Frischwasserverbrauch bei Grauwasserwiederverwendung - Trenntoilette nutzbar als Aufhänger zur Kommunikation/Imagepflege zum Thema Umweltbewusstsein - denkbar, jedoch problematisch bei Hotels mit der Ausrichtung auf Kinder, da Ergonomie der Trenntoilette nur bedingt kindertauglich ist	- bislang wenige Projekte umgesetzt, nur Forschungsprojekte - fehlende Produkte für Trenntoilette - Kombination mit Regenwasserspülung günstig, da weniger Bildung von Urinstein - Verwendung von Urin selten umgesetzt, da bewilligungspflichtig
S 5:	- Reduktion des Frischwasserverbrauchs, da keine Spülung notwendig - Wiederverwenden von Nährstoffen - Reduktion des Eutrophierungspotenzials - Reduktion von Schäden an der aquatischen Umwelt durch Mikroverunreinigungen - tiefer Energieverbrauch	- Regionen mit Frischwassermangel - eher für ländliche Gegenden oder Quartiere mit genügend Grünfläche geeignet, wo Endprodukte direkt verwendet werden können - Einsatz auch in Gegenden ohne Kanalanschluss möglich (autark), da kein Abwasser entsteht, nur Kompost - eher für Eigentümer als für Mieter geeignet	- denkbar in stark naturorientierten Projekten wie einem Waldhotel, Naturerfahrungscamps etc. - Trockentoilette nutzbar als Aufhänger zur Kommunikation/Imagepflege zum Thema Umweltbewusstsein - sonst eher schwierig aufgrund ästhetischer Gesichtspunkte - eher problematisch aufgrund Akzeptanzproblemen gegenüber Trockentoiletten	- System benötigt keinen Kanalanschluss - gesparte Infrastrukturkosten verursachen private Kosten in Form von körperlicher Arbeit als Eigenleistung - Abwasser kann in Pflanzenkläranlage aufbereitet werden zur Einleitung ins Gewässer
S 6:	- Reduktion des Frischwasserverbrauchs, da keine Spülung notwendig - Wiederverwenden von Nährstoffen - Reduktion des Eutrophierungspotenzials - Reduktion von Schäden an der aquatischen Umwelt durch Mikroverunreinigungen - tiefer Energieverbrauch - Mikroverunreinigungen	- Regionen mit Frischwassermangel - eher für ländliche Gegenden oder Quartiere mit genügend Grünfläche geeignet, wo Endprodukte direkt verwendet werden können - Einsatz auch in Gegenden ohne Kanalanschluss möglich (autark), da kein Abwasser entsteht, nur Kompost - eher für Eigentümer als für Mieter geeignet	- denkbar in stark naturorientierten Projekten wie einem Waldhotel, Naturerfahrungscamps etc. - Trockentoilette nutzbar als Aufhänger zur Kommunikation/Imagepflege zum Thema Umweltbewusstsein - sonst eher schwierig aufgrund ästhetischer Gesichtspunkte - eher problematisch aufgrund Akzeptanzproblemen gegenüber Trockentoiletten - Urinentrennung ist hier eine zusätzliche Erschwernis	- System benötigt keinen Kanalanschluss - gesparte Infrastrukturkosten verursachen private Kosten in Form von körperlicher Arbeit als Eigenleistung - Abwasser kann in Pflanzenkläranlage aufbereitet werden zur Einleitung ins Gewässer

\* Unter der Bedingung, dass Mikroschadstoffe so weit eliminiert werden können, dass für die Umwelt kein Schaden entsteht.

Synthese aus den Ergebnissen der Pilotprojekte und der Literatur. Quelle: Eigene Zusammenstellung.

*Vor- und Nachteile:* Die Vor- und Nachteile von S2 und S3 kumulieren sich.

*Einsatzgebiete:* Dieses System eignet sich eher für Wohnprojekte, Ferienwohnungen und Hotels, da bei Bürobauten zu wenig Grauwasser anfällt. Geht es nur um die Reinigung, nicht um die Wiederverwendung des Grauwassers zur nachträglichen Einleitung ins Gewässer, kann jeder Gebäudetyp mit diesem System ausgerüstet werden. Die Erstellung im Neubau ist aus logistischen Gründen einfacher als im Umbau.

*Umwelteinflüsse:* Der Nutzen für die Umwelt ist die Reduktion des Frischwasserverbrauchs sowie die Verhinderung des Eintrags von Nährstoffen und Mikroverunreinigungen ins Wasser. Die Nährstoffe können für die Landwirtschaft zurückgewonnen werden.

#### 3.4.7 System 5: Fäkalien 2-Stoffstromtrennung mit Trockentoiletten

*Aufbau des Systems:* Bei S5 werden die Fäkalien ohne Wasserspülung in einer Trockentoilette<sup>57</sup> gesammelt, mittels Schwerkraft in einem Fallrohr abgeleitet und darunter in einem Kompostcontainer gelagert. Anstelle der Wasserspülung werden Sägemehl oder Holzschnipsel abgeworfen. Neben dem üblichen Versorgungsnetz und dem Fäkalien-Fallrohr wird nur ein Grauwassernetz benötigt. Der Kompostcontainer muss mit Unterdruck versorgt werden, damit die entstehenden Gerüche abgesogen werden. Da die Trockentoilette kein Spülwasser benötigt, entfällt dieser sonst häufigste Nutzungszweck von aufbereitetem Grauwasser. Daher liegen bei diesem System die Qualitätsanforderungen an die Aufbereitung des Grauwassers tiefer. Wenn genügend Platz vorhanden ist, kann das Abwasser in einer Pflanzenkläranlage aufbereitet und für weitere untergeordnete Zwecke verwendet oder direkt ins Gewässer eingeleitet werden.

*Charakteristika:* S5 zielt durch das Weglassen der Wasserspülung bei der Toilette auf die Reduktion des Frischwasserverbrauchs ab, wodurch auch weniger Abwasser entsteht. Das System ist nicht auf einen Kanalanschluss angewiesen. Das Entsorgen der Fäkalien wird vollständig internalisiert<sup>58</sup>, der Eigentümer der Wohnung entsorgt seine Fäzes in Form von Kompost selber resp. führt sie zurück in die Umwelt. Bisher wurde dieses System nur für maximal vier Geschosse eingesetzt. Gründe dafür sind der Platzverlust durch die Fallrohre der oberen Wohnungen und eine aufgrund grosser Distanzen an ihre Grenzen stossende Unterdrucklüftung (s. Bsp. P 6.2).

*Vor- und Nachteile:* Zu den Vorteilen gehören der geringere Wasserverbrauch sowie das Fehlen von Schwarzwasser. Küchenabfälle können abgeworfen, mit den Fäkalien gemischt und zu Kompost verarbeitet werden, was die Sauerstoffzufuhr verbessert und damit die Umwandlung des Kompostes beschleunigt. Das nahe Erleben eines Kreislaufprozesses anhand der eigenen Fäkalien wird als

---

<sup>57</sup> Im bekannten Gebäude "Falling Water" von Frank Lloyd Wright wurde das System "Clivus Multrum" eingebaut. Da die Besuchertoiletten nicht an einen "Septic Tank" angeschlossen werden konnten, fiel der Entscheid auf ein wasserloses System, das im Naturreservat bedenkenlos eingesetzt werden konnte. Jährlich wird der Ort von 130'000 Personen besucht. Das System ist seit 1980 in Betrieb (Waggoner, 2011).

<sup>58</sup> Die Leistung vom Staat, die Abwasserentsorgung, geht in die Hand des Privaten über.

weiterer positiver Punkt gesehen. Da die Luft über die Kompostkammer, welche mit der Toilette direkt verbunden ist, abgesogen wird, entsteht auch ein Unterdruck im Bad, welcher die Verbreitung von Gerüchen verhindert. Der Energieverbrauch ist tief, es braucht nur Strom für den Abluftventilator. Auch die Infrastrukturkosten sind tief, wenn man das öffentliche Kanalnetz mit in den Betrachtungsperimeter einbezieht.

Zu den Nachteilen gehört der höhere Platzverbrauch für die Fallrohre, für den Kompostcontainer sowie für eine Lagerfläche zur Reifung und Hygienisierung des Kompostes nach der Entnahme ausserhalb des Gebäudes. Die Fallrohre, welche nebeneinander anzuordnen sind, müssen je nach Umsetzung der Brandschutzvorschriften in einem separaten, abgeschotteten Schacht geführt werden. Durch die "Internalisierung der Abwasserentsorgung" fällt für die Wohnungsbesitzer körperliche Arbeit an, der Kompost muss monatlich einmal umgearbeitet werden, um die Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten. Weitere Nachteile sind die notwendigen Verhaltensänderungen (Abwurf von Trockenstreu statt Wasserspülung, WC-Deckel muss nach der Benutzung geschlossen werden (Luftzug), Verwendung von biologisch abbaubaren Reinigungsmitteln etc.). Weiter ist eine Anpassung an die Ästhetik notwendig, denn der Kompostbehälter liegt direkt unterhalb des WC wie bei einem Plumpsklo. Die Dunkelheit im Behälter und im Rohr (sowie die richtige Platzierung der Deckenleuchte) verhindern jedoch die Sicht auf die Fäkalien (Berger/Lorenz-Ladener, 2008). Der Toilettendeckel ist der einzige Sichtschutz, der beim Verlassen der Toilette geschlossen werden muss, um den Abzug der Raumluft zu stoppen. Es existieren Trockentoiletten mit Blickschutz, diese bringen den Nachteil mit sich, dass die Benutzung der Toilette komplizierter wird und womöglich mehr Reinigung benötigt.

*Einsatzgebiete:* Dieses System ist sinnvoll für Regionen mit Frischwassermangel. Es ist eher geeignet für ländliche Gegenden oder Quartiere mit genügend Grünfläche, da der Kompost ausgebracht werden muss. Es kann ohne Kanalanschluss (autark) eingesetzt werden. Wohnformen mit Eigentum sind bei diesem System besser geeignet, da bei Eigentum "jeder seinen eigenen Mist kehrt" und dafür verantwortlich ist. Für Umbauten ist das System aufgrund der Fallschächte, die ohne Etagierung eingebaut werden müssen, nur bei tiefgreifenden Veränderungen in die Gebäudestruktur möglich. S5 und S6 eignen sich nicht für den Einsatz in Hotels, es sei denn, es handelt sich um ein Projekt, welches explizit auf eine Kommunikation über Wassersparen, Ökologie, Umweltschutz setzen möchte, wie beispielsweise ein Naturhotel, das in einer sensiblen Umgebung gebaut ist (Naturschutzgebiet, Grundwasserschutzzone, Berghütte etc.).

*Umwelteinflüsse:* Der Nutzen von S5 und S6 ist neben dem tiefen Energie- und Wasserverbrauch das Fehlen von Einträgen aus menschlichen Exkrementen in die aquatische Umwelt. Nährstoffe und Mikroverunreinigungen werden dem System Boden übergeben.

#### 3.4.8 System 6: Urintrennung 3-Stoffstromtrennung mit Trockentoiletten

*Aufbau des Systems:* Bei S6 werden Urin, Fäzes und Grauwasser separat erfasst, gelagert und weiterverwendet. Der Aufbau ist ähnlich wie S5, jedoch mit zusätzlicher Urintrennung. In der Trockentrenntoilette wird der Urin erfasst und mittels Schwerkraft in den Urintank geleitet.

*Charakteristika:* S6 zielt wie S5 auf die Reduktion des Frischwasserverbrauchs ab, wodurch auch weniger Abwasser entsteht. Urin sowie Kompost aus Fäkalien und Küchenabfällen sollen separat genutzt werden können.

*Vor- und Nachteile:* Zu den bei S5 bereits genannten Vorteilen kommt der spezifische Einsatz von Urin als Dünger. Ein weiterer Nachteil zu S5 ist der zusätzliche Platz, der für den Urintank vorgesehen werden muss.

*Einsatzgebiete:* Die Einsatzgebiete entsprechen jenen von S5 mit einer stärkeren Ausrichtung der Produkte auf die Landwirtschaft.

#### 3.4.9 Platz und Kosten für zusätzliche Leitungen

S1, das bezüglich Installation von Zu- und Ableitungen dem konventionellen System entspricht, benötigt in den Steigzonen Platz für Kalt-, Warm- und Abwasserleitung sowie für die Abluft. Alle anderen Systeme benötigen für die Stoffstromtrennung weitere Leitungen und damit auch mehr Platz, was bei Sanierungen zu Platzmangel führen kann, wenn die Steigzonen knapp bemessen sind. Je nach System werden weitere Stränge benötigt für Brauchwasser, Grauwasser und Gelbwasser. Beim Betrieb mit Vakuum wird anstelle der Abwasserleitung eine luftdichte Vakuumleitung verlegt.

Tab. 7 Gängige Leitungsquerschnitte der einzelnen Zu- und Ableitungen

Zuleitungen	∅ innen	∅ gedämmt	Dämmungstyp
Kaltwasser	25 mm	ca. 75 mm	Diffusionsdämmung
Warmwasser	25 mm	ca. 90 mm	Wärmedämmung
Brauchwasser	25 mm	ca. 75 mm	Leitungsschutz
Ableitungen	∅ innen	∅ gedämmt	Dämmungstyp
Schwarzwasser Schwerkraft	101 mm	135 mm	Schalldämmung
Schwarzwasser Vakuum	50–57 mm	66–73 mm	Schalldämmung
Braunwasser	101 mm	120 mm	Schalldämmung
Grauwasser	101 mm	120 mm	Schalldämmung
Gelbwasser	101 mm	100–120 mm	Schalldämmung
Fäkalien Trockentoilette	200–300 mm	210–310 mm	Leitungsschutz
Abluft	180 mm	ca. 300 mm	Leitungsschutz

Leitungsquerschnitte zur Dimensionierung des Platzverbrauchs in den Steigzonen von dezentralen Sanitärsystemen. Quelle: Eigene Darstellung, Angaben durch Sanitärplaner<sup>59</sup> geprüft.

### Kosten

Das zusätzliche Leitungsnetz zeichnet sich auch in den Kosten durch den höheren Materialverbrauch für den Installationsaufwand ab. Bei P 3.1 wurde das doppelte Leitungsnetz für Urinentrennung mit doppelten Kosten (Faktor 2) beziffert, bei P 4.6 bei einem dreifachen Leitungsnetz mit Faktor 1.5 beziffert<sup>60</sup>.

<sup>59</sup> Haldemann Basel.

<sup>60</sup> Berechnet ps: Faktor 1.45.

### 3.5 Pilotprojekte: Datenerhebung

#### Rücklauf der Erfassungsbögen

In den ersten drei Tagen retournierten zwei Kontaktpartner ihre Bögen mit einer mehr oder weniger gehaltvollen Kurzantwort. Drei weitere meldeten sich aufgrund des Umfangs der Fragen mit der Bitte, dass ich ihnen den selbst ausgefüllten Erfassungsbogen zur Kontrolle senden würde, einige schickten Unterlagen zum Projekt. Nach zehn Tagen wurde der Rücklauf der ausstehenden Antworten mit persönlichen Telefonanrufen angeregt. Insgesamt dauerte die Bearbeitung der Erfassungsbögen durch zusätzliche Eigenleistungen und Nachfragen anstelle der zwei geplanten sechs Wochen, bis eine ausreichende Datenbasis vorhanden war.

#### Anzahl Projekte

Von 15 ausgewählten Projekten wurden zu zweien (P 2.1, P 2.2) vorerst keine Daten erhoben, da die Bezugspersonen zwar ihre Zustimmung zur Teilnahme gaben, innert der gegebenen Frist aber keine Angaben machten. Bei Projekt P 6.1 erwies sich die Sprache als Hindernis.<sup>61</sup> Dafür ergab sich während der Erfassungsphase die Gelegenheit, ein weiteres Projekt (P 1.4) zu integrieren. Schlussendlich konnten zu 13 Projekten aus sechs Systemen detaillierte Daten erfasst werden. Die drei übrigen Projekte (P 2.1, P 2.2, P 6.1) wurden in einer Schnellaktion erfasst, um eine Übersicht über die Systemkomponenten aller 16 Projekte erstellen zu können (Tab. 8, S. 54). Zu S6 wurde somit nur ein Projekt näher angeschaut. Da S6 grosse Ähnlichkeiten mit S5 aufweist und für Hotelprojekte als zweitrangig eingestuft werden kann, wurde dies von der Autorin als unproblematisch bewertet.

#### Datenverfügbarkeit

Da erwartet wurde, dass der Datenzugang bei Forschungsprojekten einfacher wäre, wurden diese bei der Auswahl vorgezogen. Es zeigte sich jedoch, dass es bei angewandten Projekten einfacher war, eine Bezugsperson zu finden, die sich der Erfassung annahm. Keiner der Erfassungsbogen wurde vollständig ausgefüllt. Bei mehreren Projekten, mehrheitlich bei Forschungsprojekten, fehlten die Angaben zu Wasserverbrauch, Energieverbrauch und Kosten. Andererseits waren detaillierte Informationen vorhanden über technische Komponenten wie beispielsweise über die Beschaffenheit einer Membran, eines Filters oder die Abwasserqualität. Ebenfalls schwierig war, aufgrund der Angaben vergleichbare Werte zu den Kosten zu erhalten. Energieverbrauch und Kosten wurden am schlechtesten dokumentiert.

---

<sup>61</sup> Fehlende Schwedischkenntnisse der Autorin, ein Erfassungsbogen in Deutsch, welcher das Übersetzungsproblem nicht löste, und die Schwierigkeit, eine auskunftswillige Deutsch sprechende Person zu finden, führten schlussendlich dazu, dass für dieses Projekt keine Daten erhoben werden konnten.

### Schwierigkeiten bei der Datenerhebung

Im Voraus war nicht abschätzbar, welche Fragen aus den Erfassungsbogen beantwortet würden und in welcher Detailtiefe Informationen vorhanden sein würden. Daher wurde der Erfassungsbogen recht umfangreich gestaltet. Auch der zeitliche Aufwand für die Erfassung war schwer abschätzbar. Nur ein kleiner Teil der Daten wurde von Bezugspersonen der jeweiligen Projekte ausgefüllt, ein Grossteil der Daten wurde von der Autorin selbst erfasst. Bei den selbst erfassten Daten war es teilweise schwierig, aus der Menge an Informationen in den Forschungsberichten die gesuchten Angaben zu finden. Mangelnder Einblick in die Kostendetails und die unklare Aufspaltung bei aggregierten Kosten erschwerten die Erfassung und damit die Vergleichbarkeit der Daten. Vertraulichkeit war ein Grund für fehlende Daten, beispielsweise sollten bei P 1.1 die Forschungsergebnisse vor der Herausgabe von den Industriepartnern begutachtet werden. Bei anderen Projekten war dieser Aspekt nicht offen dargelegt, mag aber generell ein Grund sein für die Zurückhaltung bei Angaben zu bestimmten Daten. Teilweise wurden Schätzwerte angegeben oder die Genauigkeit der Werte war nicht deklariert. Daher wurden die erfassten Daten in: a (verlässlich), b (unsicher) kategorisiert. Weitere Schwierigkeiten neben fehlenden und heterogenen Daten waren zu viele, respektive noch nicht ausgewertete Daten (P 3.4) oder ganz einfach die fehlende Zeit für das Ausfüllen des Erfassungsbogens (P 2.1, P 2.2, P 2.4, P 2.5, P 4.1).

### 3.6 Pilotprojekte: Projektbeschriebe

Damit sich interessierte Leser in kurzer Zeit ein Bild über die 16 bearbeiteten machen können, wurde von jedem Projekt ein Datenblatt mit Kurzbeschreibung und Fliessschema erstellt (Anhang A, Nr. 24-65). Weitere Details sind den Erfassungsbögen zu entnehmen (Anhang C). Folgende Projekte wurden bearbeitet:

- 1.1 Wohnsiedlung "DEUS 21", D-Knittlingen bei Pforzheim
- 1.2 "NMRH", Neue Monte Rosa Hütte SAC, CH-Zermatt
- 1.4 Wohnkolonie "Laughing Waters", Bangalore, Indien
- 2.1 Ökologische Siedlung Flintenbreite, D-Lübeck
- 2.2 Mietwohnungen "KOMPLETT", D-Oberhausen
- 2.4 Hotel Arabella, D-Offenbach
- 2.5 Hotel am Kurpark Späth, D-Bad Windsheim
- 3.1 Überbauung "Solar City" in Pichling, A-Linz
- 3.3 Stranddorf Augustenhof, D-Grube
- 3.4 "Forum Chriesbach", Eawag, CH-Dübendorf
- 4.1 "SCST", Wohnhaus, Klärwerk Stahnsdorf, D-Berlin
- 4.6 "SANIRESCH", Bürogebäude der GIZ, D-Eschborn
- 5.1 Ökosiedlung Allermöhe, D-Hamburg
- 5.2 Waldquellesiedlung, D-Bielefeld
- 6.1 Gemeinschaftswohnheim "Gebers", S-Orhem
- 6.2 Ecotown Erdos, Dongsheng Distrikt, Innere Mongolei, China

### 3.7 Pilotprojekte: Auswertung der Daten

Anhand der Pilotprojekte sollen die Praxiserfahrungen aufgezeigt und die folgenden Fragen beantwortet werden:

**B: WELCHE ERFAHRUNGEN WURDEN IN DER PRAXIS MIT DEZENTRALEN ABWASSERSYSTEMEN GEMACHT?**

**B1: WIE WURDEN DIE SYSTEME UMGESETZT UND WO FINDEN SIE VERWENDUNG?**

**B2: WELCHE VERGLEICHSWERTE ERGEBEN SICH AUS DEN UNTERSUCHTEN PILOTPROJEKTEN?**

**B3: WELCHE LEHREN KÖNNEN AUS DEN PILOTPROJEKTEN GEZOGEN WERDEN?**

**B4: WIE WAR DIE AKZEPTANZ DER NUTZER GEGENÜBER DEN NEUARTIGEN SANITÄRSYSTEMEN?**

#### 3.7.1 Aufbau der Pilotprojekte

Tab. 8 verschafft Überblick über die in den Projekten verwendeten Komponenten. Die Benutzerschnittstellen, die Beförderung der Stoffströme, die zur Behandlung des Abwassers verwendeten Technologien sowie die Verwendung der erzeugten Produkte aus den Projekten sind aufgelistet.

Tab. 8 Aufbau der Projekte, Systemkomponenten

System Nr.		Projekt Nr.		Kurztitel Projekt		Stammdaten		1. Benutzerschnittstelle		3. Beförderung Leitungssystem		2./4. Behandlung Technologie		5. Verwendung/Deponie Produkte																										
		Anzahl Bewohner; max. Anz. Nutzer	Neubau/Um bau	Wohnen; Eigentum/Miete	Arbeiten/Schule	Hotel	Angewandtes Projekt	Forschungsprojekt	WT	NM	TT	WU	TU	B	S	V	A	M	R	R	K	B	L/K	U/O	S/B	K/B/D	G	T/B	G/V	U	D/F	K	K	D/F	R	S/B/V				
S1:	1.1	DEUS 21	345	N	E/M	-	-	A	F	WT	-	-	WU	TU	B	S	V	-	M	R	R	-	-	-	-	S	K/B	-	-	G	-	-	-	-	-	-	R	(S)		
	1.2	NMRH	120	N	-	-	H	A	-	WT	-	-	-	TU	B	S	-	-	M	-	-	-	-	-	O	S	-	-	T	V	-	-	-	-	-	-	R	S		
	1.4	L. Waters	1600	N	E	-	-	A	-	WT	-	-	-	-	-	S	-	-	-	R	-	-	-	-	-	S	K	-	B	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S2:	2.1	Flintenbreite	111	N	E	-	-	A	-	WT	-	-	-	-	-	S	V	-	-	R	-	-	B	-	-	S	B/D	G	-	G	-	-	-	-	-	-	-	R	V	
	2.2	KOMPLETT	65	U	-	A	-	-	F	WT	-	-	WU	-	B	S	-	A	M	-	-	-	-	K	U/O	S	-	G	T/B	-	K	-	-	-	VK	F	-	-	-	
	2.4	Arabella	400	U	-	-	H	A	-	WT	-	-	WU	-	B	S	-	A	-	-	R	-	-	-	U	S	-	G	T	-	K	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2.5	Am Kurpark	30	U	-	-	H	A	F	WT	-	-	-	-	B	S	-	A	M	-	-	-	-	-	U	S	-	G	T	-	K	-	-	-	-	-	-	-	-	
S3:	3.1	Solar City	460	N	E/M	S	-	A	F	-	NM	-	-	TU	-	S	-	A	-	-	-	K	B	K/L	-	B	-	-	(G)	K	U	-	K	-	-	-	-	-	-	
	3.3	Augustenhof	22	N	-	-	FW	A	-	-	NM	-	-	-	-	S	-	A	-	-	-	-	-	L	-	B	-	-	-	K	U	-	K	-	-	-	-	-	-	
	3.4	Chriesbach	220	N	-	A	-	A	F	-	NM	-	-	TU	B	S	-	A	-	-	-	-	-	-	L	-	B	-	-	-	K	U	F	-	-	-	R	S		
S4:	4.1	SCST	40	U	M	A	-	-	F	-	NM	-	-	-	-	S	V	A	M	-	-	-	B	-	-	B	B/D	G	-	-	K	U	F	-	VK	F	-	-	-	-
	4.6	SANIRESCH	400	U	-	A	-	-	F	-	NM	-	-	TU	-	S	-	A	M	-	-	-	-	-	-	B	-	G	-	-	K	U	F	-	-	-	-	-	-	
S5:	5.1	Allermöhe	105	N	E	-	-	A	-	-	-	TT	-	-	-	S	-	(N)	-	-	-	-	B	K	-	-	-	G	-	G	(K)	-	-	-	K	D	R	B		
	5.2	Waldquelle	260	N	E	-	-	A	-	-	-	TT	-	-	-	S	-	A	-	-	-	-	-	K	-	-	-	G	-	-	K	-	-	-	K	D	-	-	-	
S6:	6.1	Gebers	80	U	E	-	-	A	-	-	-	TT	-	-	-	S	-	A	-	-	-	-	-	K	-	-	-	G	-	-	K	U	D	-	K	D	-	-	-	
	6.2	Erdos	3000	N	M	-	-	A	F	-	-	TT	-	TU	-	S	-	-	-	-	-	-	-	K	-	-	-	G	B	V	-	U	D	-	K	D	-	-	-	

Übersicht über die Komponenten der einzelnen Stationen (Funktionsgruppen) der Projekte. Die Abkürzungen in den Zellen stehen jeweils für die in der Spalte abgebildeten Variablen. Die Angaben links (hellgrau hinterlegt) dienen als Hintergrundinformationen. Die nicht hinterlegten Zellen mit Bezeichnungen verweisen auf Produkte, die nicht aufbereitet werden, Klammern zeigen Optionen auf. Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben aus den Erfassungsbögen.

3. *Beförderung*: 10 von 16 Projekten sind semizentrale Projekte da sie über einen Kanalanschluss (A) verfügen (ausser P 1.1, P 1.2, P 1.4, P 2.1, P 5.1, P 6.2).

2./4. *Behandlung/Technologie*: Hier sind nur die am häufigsten verwendeten Behandlungsmethoden aufgeführt. Bei P 3.3 und P 3.4 wird lediglich Urin gesammelt und gelagert, kein Wasser aufbereitet (ausser bei P 3.4 Regenwasser), deshalb ist keine Behandlung aufgelistet.

5. *Verwendung/Deponie*: Hier werden in der Tab. 8 nur jene Stoffe grau hinterlegt, die zur Wiederverwendung aufbereitet werden wie beispielsweise bei P 3.3. Ausser bei den zwei Hotelprojekten (P 2.4, P 2.5), der NMR-Hütte (P 1.2) und dem Forschungsprojekt P 2.2 wird bei keinem Projekt Grauwasser wiederverwendet. Bei zwei Projekten wurden Versuche mit Vermikompostierung (VK) gemacht (P 2.2, P 4.1). Bei der Verwendung von Trockentoiletten wird das anfallende Grauwasser nur zur Bewässerung oder Versickerung aufbereitet, es braucht kein Spülwasser für die Toilette. Bei Forschungsprojekten wird das aufbereitete Wasser oft nicht wiederverwendet, sondern gereinigt in die ARA geleitet. In zwei Projekten wird Urin in die Kanalisation eingeleitet, weil es aufgrund fehlender Bewilligungen nicht zu Dünge- oder Forschungszwecken verwendet werden kann.

### 3.7.2 Berechnungsgrundlagen für die Vergleichswerte (Benchmarks)

#### Relativierte Werte

Durch das Teilen der absoluten Werte durch die Anzahl Nutzer (/p) resp. durch die Wassermenge (/m<sup>3</sup>) wurden relative Werte ermittelt, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Projekten zu erreichen. In Berücksichtigung der Art der Wasseraufbereitung wurde entweder der gesamte Wasserverbrauch (P 1.2, P 1.4, P 3.1, P 3.3), die recycelte Wassermenge (P 2.4, P 2.5, P 3.4) oder bei trockenen Systemen die gesparte (nicht verbrauchte) Wassermenge (P 5.1, P 5.2, P 6.2) als Nenner (/m<sup>3</sup>) eingesetzt. Da bei P 3.3 nur Urin gelagert und keine Aufbereitung gemacht wird, beziffern hier die relativierten Werte nur die Urinlagerung. Die Werte, welche zur Relativierung eingesetzt wurden, sind in der Tabelle mit einem schwarzen Kästchen gekennzeichnet. Die grünen Kästchen weisen auf niedrige (gute), die roten auf hohe (schlechte) Werte hin.

#### Belegung, Anzahl Tage pro Betriebsjahr, Wassermenge

Die Projekte weisen eine unterschiedliche Anzahl Nutzer und Betriebstage pro Jahr auf. Bei Wohnbauprojekten (P 1.1, P 1.4, P 3.1, P 4.1a, P 5.1, P 5.2, P 6.2) wurde mit der effektiven Anzahl Bewohnern und 365 Tagen pro Jahr gerechnet. Bei Bürobauten (P 3.4, P 4.1b, P 4.6) wurde mit der mittleren Belegung und 260 Tagen pro Jahr gerechnet. Bei den Hotelprojekten (P 1.2, P 2.4, P 2.5, P 3.3) wurde mit einer geschätzten durchschnittlichen Belegung von 50 % gerechnet. Für ein Jahr wurden 365 Tagen eingesetzt, bei P 1.2 wurde mit 242 Tagen und bei P 3.3 mit 240 Tagen gerechnet.

3.7.3 Gegenüberstellung der Vergleichswerte

Tab. 9 Gegenüberstellung der Vergleichswerte aus den Pilotprojekten (Benchmarks)

Benchmarks der Projekte (a)													
System Nr.	Proj Nr.	Kurztitel Projekt	Anzahl Bewohner; Max. Anz. Nutzer (max N)	Durchschnittliche Belegung Ø Nutzer (Ø N)	Wasserverbrauch/d*p gesamt	Frischwassermenge/d*p gespart; n. verbraucht	Wasserverbrauch/y frisch	Wasserverbrauch/y recycliert	Wasserverbrauch/y gesamt	Frischwassermenge/y gespart; n. verbraucht	Energieverbrauch/y	Energieverbrauch/y*p	Energieverbrauch/y*m <sup>3</sup> behandeltes Wasser/y
			Stk	Stk	/Ø N	/Ø N	m <sup>3</sup> /y	m <sup>3</sup> /y	m <sup>3</sup> /y	m <sup>3</sup> /y	kWh/y	kWh/y*p	kWh/m <sup>3</sup>
S0:	0.1	ARA			0.140							35-75	0.35-0.53
S1:	1.1	DEUS 21	345	345 a	0.084 a	0	k	k	10'557 a	0	k	k	k
	1.2	NMRH	120	55 a	0.073 a	0.033 a	532.4	436 a	968 a	436 a	6'880 a	125	7.11
	1.4	L. Waters	1600	1600 a	0.138 a	0	80'300	0 a	80'300 a	0 a	2'053 a	1	0.03
S2:	2.1	Flintenbreite	111	111 a	k	k	k	k	k	k	k	k	k
	2.2	KOMPLETT	65	58 a	k	k	k	k	k	k	k	k	k
	2.4	Arabella	400	200 b	k	0.065 b	k	4'745 a	k	4'745 a	7'300 a	37	1.50
	2.5	Am Kurpark	30	17 a	0.682 b	0.124 a	3'468	767 a	4'235 b	767 a	1'534 a	90	2.00
S3:	3.1	Solar City	460	460 a	0.145 a	0	24'346	0	24'346 a	0	k	k	k
	3.3	Augustenhof	22	12 b	0.104 b	0	300	0	300 a	0	k	k	k
	3.4	Chriesbach	220	150 a	0.022 b	0.008 b	810	470 a	1280 b	470 a	k	k	k
S4:	4.1	SCST	40	40 a	k	0	k	0	k	0	k	k	k
	4.6	SANIRESCH	400	400 b	k	0	k	0	k	0	k	k	k
S5:	5.1	Allermöhe	105	105 a	0.100 b	0.040 b	3'833	0	3'833 b	1'533 b	k	k	k
	5.2	Waldquelle	260	260 a	0.080 b	0.040 b	7'592	0	7'592 b	3'796 b	250 a	1	0.03
S6:	6.1	Gebers	80	80 a	0.110 a	k	k	k	k	k	k	k	k
	6.2	Erdos	3000	3000 a	0.048 a	0.032 a	52'195	0	52'195 a	35'369 a	49'744 a	17	1.41
	k	keine Angaben											
	0	keine Menge											
	a	verlässliche Daten											
	b	unsichere Daten, Daten aus Schätzungen, unklar, was alles enthalten ist											
	<i>kursiv</i>	Daten aus der Literatur: Für P 0.1 Hiessl/Hillenbrand et al. (2010, 93, 150). Für P 1.1, P 2.2, P 4.1: Villeroy&Boch et al. (2009, 25). Für P 2.1: Herbst (2008, 53)											
	Korrekturzeile:												
	2.5	Am Kurpark	90	45 a	0.258 b	0.047 a							

Energieverbrauch, Flächenverbrauch, Erstellungs- und Betriebskosten werden pro Person und pro Kubikmeter Wasser berechnet (aufbereitet resp. nicht verbraucht). Der verwendete Wert zur Relativierung ist jeweils mit schwarzer Umrahmung gekennzeichnet. Grüne Kästchen heben niedrige (gute), roten Kästchen hohe (schlechte) Werte hervor. Rechts in der Tabelle sind die Behandlungsarten vermerkt. Bitte Korrekturzeile zu P 2.5 in Tabelle beachten. Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben aus den Erfassungsbögen. Kursiv gedruckte Zahlen sind Vergleichswerte aus der Literatur für P 0.1, P 1.1, P 2.1, P 2.2, P 4.1. Villeroy\_&\_Boch et al. (2009, 25), Hiessl/Hillenbrand (2010, 93, 150), Herbst (2008, 53) .

Benchmarks der Projekte (b)																
System Nr.	Proj Nr.	Kurztitel Projekt	Fläche	Fläche/p	Fläche/m <sup>3</sup> behandeltes Wasser/y	Erstellungskosten Anlage			Betriebskosten/y	Betriebskosten/p	Betriebskosten/m <sup>3</sup> behandeltes Wasser/y	Schwarzwasserbehandlung	Grauwasserbehandlung	Regenwasserbehandlung	Urinsammlung/-behandlung	Wassersparnis
						/max N	/max N	/m <sup>3</sup>								
			m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /p	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	€	€/p	€/m <sup>3</sup>	€/y	€/y*p	€/m <sup>3</sup>					
S0:	0.1	ARA				450-2'100				???		x				
S1:	1.1	DEUS 21	k	k	k	k	11'292	k	k	153.30	5.01	x	x			
	1.2	NMRH	125 <sup>a</sup>	1.04	0.13	144'500 <sup>a</sup>	1'204	149	10'000 <sup>a</sup>	181.82	10.33	x				
	1.4	L. Waters	530 <sup>a</sup>	0.33	0.01	60'000 <sup>a</sup>	38	1	259 <sup>a</sup>	0.16	0.00	x				
S2:	2.1	Flintenbreite	k	k	k	k	740	k	k	100.00	k	x	x			
	2.2	KOMPLETT	k	k	k	k	3'063	k	k	459.90	4.57	x	x			
	2.4	Arabella	38 <sup>a</sup>	0.10	0.01	k	k	k	k	k	k	x				
	2.5	Am Kurpark	30 <sup>a</sup>	1.00	0.04	25'300 <sup>a</sup>	843	133	2090 <sup>a</sup>	122.94	2.73		x			
S3:	3.1	Solar City	480 <sup>a</sup>	1.04	0.02	1'395'800 <sup>b</sup>	3'034	70	5'000 <sup>a</sup>	10.87	0.21	x				
	3.3	Augustenhof	21 <sup>a</sup>	0.95	0.07	19'000 <sup>b</sup>	864	87	175 <sup>b</sup>	14.58	0.58			x		
	3.4	Chriesbach	88 <sup>a</sup>	0.40	0.19	k	k	k	k	k	k		x	x		
S4:	4.1	SCST	130 <sup>a</sup>	3.25	k	k	3'264	k	k	127.75	4.02	x	x			x
	4.6	SANIRESCH	35 <sup>a</sup>	0.09	k	38'800 <sup>b</sup>	97	k	11'740 <sup>b</sup>	29.35	k	x	x			x
S5:	5.1	Allermöhe	440 <sup>a</sup>	4.19	0.29	258'800 <sup>b</sup>	2'465	169	30'660 <sup>b</sup>	292.00	20.00					x
	5.2	Waldquelle	350 <sup>a</sup>	1.35	0.09	304'500 <sup>a</sup>	1'171	80	42'700 <sup>a</sup>	164.23	11.25					x
S6:	6.1	Gebers	k	k	k	k	k	k	k	k	k					x
	6.2	ErDOS	9'000 <sup>a</sup>	3.00	0.25	1'007'739 <sup>a</sup>	336	28	70'398 <sup>a</sup>	23.47	1.99					x

- niedrige Werte (gut)
- hohe Werte (schlecht)
- Angaben dienen zur Relativierung der Vergleichswerte

#### Tabelle der Vergleichswerte aus den Pilotprojekten

Die in Tab. 9, S. 56/57 dargestellten Daten sind eine Zusammenstellung der quantitativ auswertbaren Parameter. Darin enthalten sind der Wasserverbrauch, genauer der Gesamtverbrauch und darin die Anteile an Frischwasser, "recycliertem" Wasser und "gespartem", resp. "nicht verbrauchtem Wasser". Weiter sind der Energieverbrauch, der Flächenverbrauch, die Erstellungs- und Betriebskosten zu finden. Da bei einigen Projekten Angaben über den Wasserverbrauch fehlten, fehlen auch die davon abhängigen relativen Werte. Nicht alle Daten konnten als qualitativ gleichwertig eingestuft werden. Sie wurden in zwei Kategorien, a (verlässlich) und b (unsicher) klassifiziert, so dass auch die Leser sie einordnen können.

#### Wasserverbrauch

Der "Wasserverbrauch gesamt" ( $\text{m}^3/\text{y}$ ) setzt sich zusammen aus dem "Frischwasserverbrauch" und dem "Verbrauch aus recycliertem Wasser". Aufbereitetes Regenwasser wird bei "Wasserverbrauch recycliert" ( $\text{m}^3/\text{y}$ ) verrechnet, da es eine Aufbereitung benötigt, und zugleich bei "Wasserverbrauch gespart" ( $\text{m}^3/\text{y}$ ), da es nicht aus dem Versorgungsnetz kommt, sondern als positive Externalität<sup>62</sup> anfällt. Durch diese Substitution wird Frischwasser "eingespart". In der Spalte "gesparte" resp. "nicht verbrauchte" Frischwassermenge ( $\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{p}$ ) ist der Verbrauch von "recycliertem" wie auch von "nicht verbrauchtem" Wasser eingetragen. Nicht bei allen Projekten wird die dezentrale Abwasseraufbereitung zur Wiederverwendung von Wasser genutzt, in einigen Projekten wird das Abwasser lediglich gereinigt, um danach in das Gewässer eingeleitet werden zu können.

#### Energieverbrauch (kWh/y)

Hier ist der Energieverbrauch der dezentralen Abwasseraufbereitung eingetragen. Bei zwei Dritteln der Projekte fehlen die Angaben. Bei den Werten zu P 2.4 bzw. P 2.5 handelt es sich nicht um Messwerte, sondern um Angaben vom Hersteller respektive Planer.

#### Fläche ( $\text{m}^2$ )

Hier ist die Fläche berechnet, welche für die Wasserbehandlung benötigt wird, sei dies im Innern des Hauses (Technikraum) oder ausserhalb (Kompostplatz, Pflanzenkläranlage etc.). Die Steigzonen wurden nicht miteinbezogen.

#### Erstellungskosten (€)

Hier wurden die Erstellungskosten für die Abwasserbehandlungsanlage, die Kosten für das (mehrfache) Leitungsnetz sowie für die Benutzerschnittstelle eingesetzt (Pos. 6.1, 6.2, 6.3 im Erfassungsbogen). Wo einzelne Positionen fehlten, wurden diese anhand von Referenzwerten aus anderen Pro-

---

<sup>62</sup> Der Anfall Regenwasser stellt für den Nutzer eine kostenlose Ökodieleistung dar, wovon er profitieren kann.

jekten ergänzt (z. B. Kosten für Toiletten). Über die Kosten konnten bei vielen Projekten keine ausreichenden Angaben gemacht werden. Bei P 5.1, P 5.2 und P 6.2 ist unter "Erstellungskosten der Anlage/m<sup>3</sup> behandeltes Wasser" abzulesen, wie hoch die Erstellungskosten für die Trockentoilettenanlage pro 1 m<sup>3</sup> jährlich gespartes Wasser sind.

#### Betriebskosten (€/y)

Die Betriebskosten wurden ohne Rückzahlung und Verzinsung gerechnet. Es wurden nur die laufenden Kosten (Betrieb und Unterhalt) eingetragen und durch die Wassermenge resp. durch die Anzahl Nutzer geteilt. Diese Art Vergleich ist vereinfacht und sollte als erste Annäherung gesehen werden. Bei P 5.1, P 5.2 fallen monatliche und jährliche Unterhaltskosten als Eigenleistung an in Form von körperlicher Arbeit, um beispielsweise den Kompost umzuwälzen oder die Pflanzenkläranlage zu jäten. Diese Kosten wurden als Geldbetrag eingesetzt, da die verlorenen Stunden an Freizeit auch einen finanziellen Wert<sup>63</sup> darstellen und es sonst für den Vergleich zu einer Verzerrung käme.

#### 3.7.4 Lehren aus den Pilotprojekten

Es würde zu weit führen, die vielen Erfahrungen, welche aus den 16 Projekten zusammengetragen wurden, hier aufzulisten. Sie betreffen Hinweise zur Reinigung, zum Bau und zur Umsetzung. Von diesen Erfahrungen sind einige in den Erfassungsbögen (s. Anhang), meist unter Punkt 9.0 "Weitere Bemerkungen" festgehalten, wo auch Quellenangaben für weiterführende Literatur zum jeweiligen Projekt verzeichnet sind.

Rückblickend scheint ein Punkt besonders wichtig zu sein für das Gelingen eines Versuchsprojektes: Der frühe Einbezug der verschiedenen Akteure in die Entwurfsphase des Projektes, womit potenzielle Nutzer, die zuständigen Behörden, leitende Fachplaner und Hersteller gemeint sind.<sup>64</sup> Gleichzeitig braucht es eine Person (oder ein kleines Team), die unermüdlich die Vorstellung des gesetzten Ziels verfolgt und kommuniziert, zugleich aber auch offen ist für kritische Stimmen, diese zurück in den Entwicklungsprozess hineinträgt und damit den Prozess voranbringt.<sup>65</sup> Es braucht Menschen, die hinter dem Projekt stehen und sich dafür einsetzen. Ein Versuchsprojekt "[...] kann den Benutzern nicht auferzungen werden", wie die Bezugsperson vom P 3.1 schreibt. Bei Projekten, wo die Mitarbeit des Nutzers gefragt ist, wie bei S5 und S6, aber auch bei S3 hat sich gezeigt, dass sich diese Systeme bei Eigentum besser eignen als bei Miete.

<sup>63</sup> Opportunitätskosten, Ansatz: 25 Euro pro Stunde.

<sup>64</sup> "Möglichst früh alle Anspruchsgruppen, alle Stakeholder mit einbeziehen: Abwasserwirtschaft, Mieter etc. Ein partizipatives Vorgehen, denn wenn man Gruppen nicht einschliesst, fühlen sich diese übergangen. Wir gingen zu spät zu den Leuten der ARA. Wir dachten, wir müssen denen einen Vorschlag präsentieren. Aber wir hätten die schon am Anfang mit einbeziehen sollen." B7 #01:17:35-5#.

<sup>65</sup> "Ja, weil ich stur geblieben bin ... Ich habe mich immer wieder gewehrt gegen Versuche, mich von diesem Projekt abzubringen. Ein wesentlicher Teil war auch die Auszeichnung, die wir erhalten hatten [...]" B7 #01:25:11-6#.

Ebenfalls wichtig scheint, dass neuartige Sanitärsysteme zuerst in einem kleinen Rahmen getestet werden, mit mehreren Optionen, so dass Anpassungen ohne grosse Kosten vorgenommen werden können. Die Entwicklung innerhalb von fünf Jahren bei P 6.2 illustriert die Folgen von einem zu schnellen Vorgehen. 2004 wurden hier in 832 Wohnungen speziell entwickelte Trockentrenn-toiletten (siehe Anhang 67) mit einer ganzen Infrastruktur für S6 aufgebaut. Nach fünf Jahren wurden (bis auf vier) alle Trockentoiletten durch wassergespülte ersetzt. Der Druck der Mieter wurde wegen fehlender Akzeptanz wegen Geruchsproblemen immer grösser. Dazu kamen externe Einflüsse wie personeller Wechsel bei den Behörden und die zunehmende Verfügbarkeit von Frischwasser durch den Bau einer externen Wasserzuleitung. Zwar konnte über diese Erfahrung für vier Wohnungen ein zufriedenstellend funktionierendes System gefunden werden, gleichzeitig ist die Chance für weitere wasserlose Projekte aber massiv gesunken. Ein Zwischenschritt mit Testprojekten in einem kleineren Massstab hätte den fragwürdigen Schritt zur Wasserspülung in dieser wasserarmen Gegend möglicherweise verhindern können.

### 3.7.5 Akzeptanz der Nutzer

Die Ergebnisse aus den Fragen zur Nutzerakzeptanz stellen keine repräsentativen Angaben für die Benutzer dar. Der Erfassungsbogen wurde in den meisten Fällen von der Bezugsperson des Projektes und nicht von den Nutzern selber ausgefüllt. Diese Aussagen wurden somit schon gefiltert. Bei vielen Projekten fehlen die Antworten gänzlich. So war es kaum möglich, verwertbare Rückschlüsse zu ziehen. Die Aussagen wurden ausgewertet, es folgt eine kurze Zusammenfassung (siehe Anhang A, Nr. 70/71), sie werden jedoch nicht weiter in der Diskussion verwendet.

#### Aussagen zu den Fragen zur Akzeptanz

Bei allen, ausser einem Projekt fand eine Einführung für die Benutzer statt oder es wurde zusätzliche Information bereitgestellt. Bei den meisten Projekten (bei fünf von sieben) wurden Verhaltensänderungen festgestellt. Die Frage zum Mehraufwand wurde klar mit Ja beantwortet (sieben von neun), hingegen gab es nur bei vier von elf Projekten Probleme oder negative Rückmeldungen bezüglich Hygiene. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es jeweils positive wie auch negative Reaktionen gab, die positiven überwiegen jedoch leicht, woraus eine positive Akzeptanz abgeleitet werden kann.

#### Bemerkungen zu anderen Akzeptanzstudien

Bei mehreren Projekten wurden begleitend Akzeptanzstudien durchgeführt, welche teilweise oder vollständig auf andere Fragen ausgerichtet waren. Deren Ergebnisse konnten daher nicht direkt in die Erfassungsbogen einfliessen, einige Punkte wurden jedoch in den Bemerkungen integriert. In den Erfassungsbögen sind die entsprechenden Quellen vermerkt.

Bei S3 und S4 wurden ausschliesslich NoMix-Toiletten vom Hersteller Rödinger verwendet. Hier gab es Anmerkungen zu Problemen mit der Spülmenge und mehrmaligem Spülen. Auch wurde darauf hingewiesen, dass die NoMix-Toilette nicht für Kinder unter 1.40 Metern Körpergrösse geeignet ist. Bei S4 wurden Bemerkungen zur Hygiene gemacht.

Bei Vakuumtoiletten wurde der Lärm, den die Spülung verursacht, als störend empfunden, eine Nutzerakzeptanzstudie brachte gar hervor, dass es Leute gibt, die sich vor der Benutzung der Vakuumtoilette fürchten. Bei System 5 wurde die Abwesenheit von Geruchsbildung gelobt, hingegen wurde der Mehraufwand in Form von körperlicher Arbeit festgehalten.

### 3.8 Merkmale von Hotels

Die folgenden Fragen werden in diesem Kapitel behandelt:

**C: AUS WELCHEN GRÜNDEN KÖNNEN DEZENTRALE ABWASSERSYSTEME FÜR HOTELBETRIEBE VON INTERESSE SEIN?**

**C1: WAS IST DER ZWECK VON HOTELS UND WELCHE HOTELARTEN GIBT ES?**

**C2: FÜR WELCHE ZWECKE KANN DEZENTRAL AUFBEREITETES WASSER WIEDERVERWENDET WERDEN UND WELCHE SPEZIFISCHEN VERBRAUCHSMENGEN SIND IN HOTELS ZU ERWARTEN?**

**C3: WELCHE ANREIZE BESTEHEN FÜR HOTELIERS ZUR VERBESSERUNG DER NACHHALTIGKEIT IHRES BETRIEBES?**

**C4: WELCHE EIGENSCHAFTEN DER NEUARTIGEN SANITÄRSYSTEME WEISEN FÜR HOTELS VORTEILE (NACHTEILE) AUF?**

#### 3.8.1 Der Zweck von Hotels

Der grundlegende Anspruch des Gastes an ein Hotel ist eine "[...] sichere Herberge zum Übernachten [...]"; es geht darum, ihm einen "[...] temporären Ersatz für das Zuhause [...]" zu erhalten, welcher Privatsphäre bietet und in gewissem Masse seine ästhetischen Bedürfnisse befriedigen sollte. Ein Hotel kann ein Familienbetrieb oder ein Glied einer grossen Hotelkette sein. In jedem Fall muss er wirtschaftlich sein und kann nicht nur der Befriedigung der Kundenwünsche dienen. Nach Ronstedt/Frey (2011) stellen Hotels "optisch hübsch verpackte, knallhart kalkulierte Renditemaschinen" dar, was den harten Konkurrenzkampf in der Branche umschreibt.

#### 3.8.2 Einflussfaktoren für den Wasserverbrauch für Hotels

##### Hoteltypen

Es gibt verschiedene Hoteltypen wie Tagungshotel, Stadthotel, Boutiquehotel, Designhotel, Low-Budget-Hotel, Garni-Hotel<sup>66</sup>, Ökohotel, Motel, Singlehotel oder (kinderfreundliches) Ferienhotel, Wellnesshotel, Golfhotel etc., welche mit ihrer Infrastruktur auf unterschiedliche Kundenkreise ausgerichtet sind. In Singlehotels, Familienhotels und Golfhotels werden Club- oder Aktivferien verbracht, hier steht das Erlebnis des Gastes im Zentrum, wozu auch die Infrastruktur des Hotels beitragen soll. Ferienhotels verfügen meist über grosszügige Grünanlagen mit hoteleigenem Pool (siehe Tab. 11, S. 63). Tagungs- und Wellnesshotels betreiben oft grosse wasserintensive Wellnessanlagen, Stadthotels hingegen müssen ihren Platz haushälterischer nutzen. Ökohotels unterscheiden sich von konventionellen Anbietern durch ihr Bestreben in der Bau- und Bewirtschaftungsweise

---

<sup>66</sup> Hotel, das nur Frühstück, Getränke und höchstens kleine Speisen anbietet. Meist ein Familienhotel mit kleinerer Zimmerzahl, als dies bei Hotelketten der Fall ist.

Umwelteinflüsse zu reduzieren, was beispielsweise über Labels oder Umweltmanagementsysteme kommuniziert wird.

### Infrastruktur und Hotelklasse

Neben der Infrastruktur (Tab. 11) beeinflusst auch die Hotelklasse<sup>67</sup> (Tab. 12) den Wasserverbrauch.

**Tab. 11 Infrastruktur von Stadthotels bezogen auf die Hotelklasse**

Klasse	Sterne	Anteil Wellnessbereich/Zi.	Infrastruktur
<b>Low Budget</b>	0–1	0 m <sup>2</sup> /Zi.	Kein Wellnessbereich
<b>Budget</b>	2	0 m <sup>2</sup> /Zi.	Optional Fitnessbereich mit wenigen Geräten
<b>Mittelklasse</b>	3	0.2–0.5 m <sup>2</sup> /Zi.	Fitnessgeräte, kleine Sauna, evt. Whirlpool und Solarium
<b>First Class</b>	4	0.4–0.9 m <sup>2</sup> /Zi.	Fitness, Sauna, Whirlpool und Solarium
<b>Luxus</b>	5	ab 0.8 m <sup>2</sup> /Zi.	Fitness, Sauna, Whirlpool und Solarium inkl. Pool

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben von Ronstedt/Frey (2011, 246).

Energie- und Wasserkosten machten gemäss einer Studie von Lai/Yik (2008) den grössten Anteil der Betriebs- und Unterhaltskosten von zehn Luxushotels in Hongkong aus, Strom 34 %, Gas 5 %, Diesel 4 % und Wasser 2 % (Lai/Yik, 2008).

Die Angaben von Hamele/Eckardt (2006)(Tab. 12) bestätigen den durchschnittlichen Wasserverbrauch für Hotelgäste, den Ronstedt/Frey mit 300–600 Litern pro Übernachtung angeben. Dies verdeutlicht einen bis zu viermal höheren täglichen Verbrauch bei Hotelgästen gegenüber privaten Nutzern privat. Pro Gedeck im Restaurant fallen 30–40 Liter Wasser an. Bei einem Wasserpreis von 5.5 Euro/Kubikmeter ergeben sich daraus Kosten pro Zimmer von 1.65 bis 3.30 Euro. Diese Kosten sind tief und das Sparpotenzial scheint ausgereizt zu sein. Bei der Frage, ob eine Dusche oder eine Wanne eingeplant werden soll, ist die Antwort der Hotelplaner Ronstedt/Frey einfach: Trotz der allgegenwärtigen Empfehlung, zu duschen statt zu baden, um Wasser zu sparen, raten sie zum Einbau von Wannen. Ihre Berechnung zeigt, dass durch die Wanne pro Übernachtung nur 0.19 Euro an Mehrkosten<sup>68</sup> anfallen, was den Komfort des Badens gegenüber dem Duschen längst aufwiegt (Ronstedt/Frey, 2011, 177).

<sup>67</sup> Die Klassifizierung erfolgt nach Punkten, u.a. in Abhängigkeit der Infrastruktur. In Deutschland erfolgt diese Zertifizierung durch DEHOGA (Deutscher Hotel- und Gaststättenverband).

<sup>68</sup> Annahme: 75 % der Gäste bevorzugen es trotz einer Wanne, zu duschen. Durchschnittliche Zimmerbelegung 1.2 Personen, Auslastung 62 %, 140 l Wanneninhalt, 60 l Wasserverbrauch Dusche. Jährlicher Verbrauch:

Wanne:  $365 \times 62 \% \times 1.2 \times (25 \% \times 140 \text{ l} + 75 \% \times 60 \text{ l}) = 21'725 \text{ l}$

Dusche:  $365 \times 62 \% \times 1.2 \times 60 \text{ l} = 16'294 \text{ l}$

Differenz Zi./y: 5'431 l

Annahme: 8 €/m<sup>3</sup> (Warmwasser auf 40 °C inkl. Abwassergebühr)

Mehrkosten pro Jahr: 43.50 €, pro Übernachtung: 0.19 € (bei 60 % Auslastung).

Tab. 12 Wasserverbrauch nach Hotelklasse

Klasse	Anz. Datensätze	Durchschnitt m <sup>3</sup> /y	Durchschnitt l/Ü	Benchmark <sup>69</sup> l/Ü
2 Sterne	20	2.357	454	283
3 Sterne	118	5.306	424	210
4 Sterne	91	13.644	335	201
5 Sterne	16	33.680	594	310

Auflistung der durchschnittlichen Wasserverbrauchsmenge von Hotels in Deutschland: Gesamtmenge in Kubikmetern pro Jahr, Wasserverbrauch in Litern pro Übernachtung, Benchmark in Litern pro Übernachtung. Das grösste Optimierungspotenzial zeigt sich bei Zwei- und Fünf-Sterne-Hotels (Durchschnitt – Benchmark), das kleinste bei Vier-Sterne-Hotels, welche bei durchschnittlich 335 l/Ü (Benchmark 201 l/Ü) liegen. Quelle: Ergänzte Darstellung nach Hamele/Eckardt (2006).

### Geografische Standort

Auch der geografische Standort eines Hotels beeinflusst den Wasserverbrauch. Ferienhotels liegen vorwiegend an sonnenreichen Orten mit wenig Niederschlag. In Mittelmeerländern haben Hotels einen durchschnittlichen Wasserverbrauch von 500 bis 600 Litern pro Übernachtung, in Thailand, Malaysia und Indonesien bis zu 940 Liter pro Übernachtung (visum, 2011), wobei in Deutschland das Spektrum zwischen 180 und 780 Liter pro Übernachtung liegt. Ein Golfplatz in Mallorca benötigt bis zu 2000 Kubikmeter Wasser pro Tag für die Bewässerung (Schmitt, 2007).

### Spezifischer Wasserverbrauch

Über den spezifischen Wasserverbrauch zu den verschiedenen Verwendungen als Teil des Gesamtwasserverbrauchs von Hotels liefert die Literatur sehr heterogene Angaben. Die Auflistung von Keyzers et al. (2008) am Beispiel des Vier-Sterne-Tagungshotels am Kurpark (P 2.5) liefert Anhaltspunkte, wobei einige Werte auf Annahmen basieren.

Tab. 13 Anteile des spezifischen Verbrauchs am Gesamtverbrauch

Spezifischer Wasserverbrauch	l/G*d	l/d	in %
Nutzung			
Dusche, Wanne, Waschbecken	120	8'640	51.4
Toilettenspülung (Hotel)	40	2'880	17.1
Toilettenspülung (Restaurant)	30	1'500	8.9
Waschmaschine	10	1'220	7.3
Spülmaschine	10	1'220	7.3
Küche und öffentlicher Bereiche	6	732	4.4
Andere Anwendungen	5	610	3.6
Gesamtverbrauch	(221)	16'802	100.0

Spezifischer Wasserverbrauch am Beispiel des Vier-Sterne-Tagungshotels am Kurpark in D-Bad Windsheim (P 2.5) Einige Werte basieren auf Annahmen. Quelle: Keyzers et al. (2008), ergänzt.

<sup>69</sup> Tiefster Vergleichswert der erhobenen Werte.

### 3.8.3 Renovations- und Umbauzyklus

Aufgrund sich ändernder Ansprüche bezüglich Zimmergrösse, Hygiene und Ästhetik sowie funktionalen Anforderungen für den Betrieb unterlagen Hotels bisher einem schnellen Renovations- und Umbauzyklus. Umfang und Tiefe der baulichen Interventionen hingen von der Qualität der Bausubstanz, der technischen Anlagen, der Innenausstattung und dem Alter des Gebäudes ab. Um das Hotel für Nutzer attraktiv zu erhalten, muss mit folgenden Revisionszyklen gerechnet werden (Cakmakli, 2008):

- Kleine Renovationen nach 6 Jahren: Auffrischen und Erneuern von Oberflächen, Ersetzen von abgenutzten, nicht mehr zeitgemässen Dekorations- und Einrichtungsgegenständen wie Tapeten, Anstriche, Tagesdecken etc. Es fallen noch keine strukturellen Änderungen an.
- Grössere Renovationen innerhalb von 12 bis 15 Jahren: Ersetzen von Einrichtungsgegenständen wie Betten, Beleuchtung und Bodenbelägen. Es fallen strukturelle Änderungen an.
- Komplette Erneuerung innerhalb von 25 bis 50 Jahren: Rückbau auf die Grundstruktur und deren Anpassung an die aktuellen Bedürfnisse. Raumanordnungen und Bäder werden angepasst, technisch und funktional veraltete Anlagen wie Kommunikations-, Elektroleitungen, Wärmeverteilung, Sanitär- und Lüftungsleitungsnetz werden ersetzt.

Da die Flexibilität bei Umbauten eingeschränkt ist, lohnt es sich ab einem bestimmten Alter der Bausubstanz eher, neu zu bauen, was grosse Investitionen erfordert. (Ronstedt/Frey 2011).

### 3.8.4 Verwendungszwecke von Produkten aus der Stoffstromtrennung

Brauchwasser, das als Produkt aus der dezentralen Abwasseraufbereitung anfällt, kann in Abhängigkeit zur Qualität für hotelinterne Zwecke wie dem WC-Spülen, Putzen, Wäschewaschen, Geschirrspülen, Bewässern verwendet werden. Wenn genügend grosse Mengen an Schwarzwasser und biogenen Abfällen anfallen, kann daraus Biogas und Energie in Form von Wärme und Strom erzeugt werden. Zur Verwertung der Reststoffe der Abwasseraufbereitung (Kompost, Dünger) braucht es Grünflächen in unmittelbarer Nähe.

### 3.8.5 Anreize zum Einbezug von Nachhaltigkeitsaspekten in der Hotelbranche

Immer mehr Hotelmanager entscheiden sich freiwillig zum Einbezug von NH-Aspekten oder – Instrumenten. Eine Studie suchte bei spanischen Hotelbesitzern nach deren Motivation zur Verbesserung der betrieblichen Nachhaltigkeit. Neben finanziellen Vorteilen werden die Reaktion von Kunden, Druck von Tour-Anbietern, offizielle Anerkennung, das Bestreben zur Imageverbesserung sowie die persönliche Einstellung und ethische Beweggründe genannt. Hürden stellen fehlendes Wissen bei Hotelbetreibern, bei Kunden und Tour-Anbietern, die Schwierigkeit Angestellte einzubeziehen und dafür zu begeistern, mangelndes Kundeninteresse, hohe Kosten zur Einführung und zum Betrieb der Intervention, mangelnder Support seitens der Behörden, Lieferanten und Subunternehmer sowie der Aufwand für die benötigten Datenerhebungen dar. (Ayuso, 2007)

## 4 ANALYSE UND DISKUSSION

### 4.1 Analyse der Resultate

#### Vergleichbarkeit im Allgemeinen

Die im Folgenden diskutierten Punkte zielen vorwiegend auf die Beantwortung der Forschungsfrage ab. Dafür werden insbesondere die relativierten Werte aus Tab. 9 (S.56/57) herangezogen. Es ist zu beachten, dass die vorliegende Zusammenstellung auf einer beschränkten Anzahl von Projekten mit teilweise fehlenden Angaben zu den Parametern basiert, was beim Vergleich der Daten zu Verzerrungen führen kann. Weiter ist der Betrachtungsrahmen für die Pilotprojekte und das konventionelle System nicht derselbe. Diese Auswertung kann daher nicht als einziges Beurteilungskriterium gelten, auch wenn dies verlockend wäre. Vielmehr geht es darum, in einer ersten Annäherung Tendenzen aufzuzeigen, um einen groben Überblick über die Werte der quantitativen Parameter zu erhalten. Der Autorin ist keine vergleichbare Studie über dezentrale Abwasserprojekte in diesem Umfang bekannt.

#### Wasserverbrauch ( $\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{p}$ )

Vergleicht man den täglichen Wasserverbrauch pro Kopf von durchschnittlich  $140 \text{ l}/\text{d} \cdot \text{p}$ <sup>70</sup> mit den vorliegenden Werten in Tab. 9, so fallen P 3.4 mit  $22 \text{ l}/\text{d} \cdot \text{p}$  und P 2.5 mit  $682 \text{ l}/\text{d} \cdot \text{p}$  mit Extremwerten auf. Bei P 3.4 handelt es sich aber um ein Bürogebäude, dessen Wasserverbrauch im Rahmen des Normalen liegt: Ein Vergleichsprojekt liegt bei  $20.1 \text{ l}/\text{d} \cdot \text{p}$ .<sup>71</sup> Bei P 2.5 handelt es sich um ein Vier-Stern-Hotel, dessen durchschnittlicher Verbrauch in Deutschland bei  $335 \text{ l}/\text{Ü}$ , die Benchmark bei  $201 \text{ l}/\text{Ü}$  (siehe Tab. 12) liegt. (Hamele/Eckardt, 2006) Die 682 Liter (spezifischer Wasserverbrauch) stellen möglicherweise den Verbrauch für das ganze Hotel dar und nicht nur für den mit der Grauwasseranlage betriebenen Gebäudeteil. Berechnet man den Wert neu mit 45 statt mit 17 Nutzern pro Tag bei einer durchschnittliche Belegung von 50 %, sinkt der Verbrauch auf  $258 \text{ l}/\text{d} \cdot \text{p}$ , was realistischer erscheint (siehe Korrekturzeile in Tab. 9, S. 56). Die gesparte Frischwassermenge  $/\text{d} \cdot \text{p}$  beträgt dann 47 Liter (nicht wie in der Tabelle errechnet 258 l). Dieser Wert entspricht genau der durchschnittlichen Menge für Toilettenspülung nach Frei (2002) in Tab. 1 (S. 28). Der sehr

---

<sup>70</sup> Annahme eines mittleren Wertes von  $140 \text{ l}$  zwischen Deutschland  $124 \text{ l}/\text{d} \cdot \text{p}$  (Herbst, 2008, 19) und der Schweiz  $162 \text{ l}/\text{d} \cdot \text{p}$  (Frei, 2002).

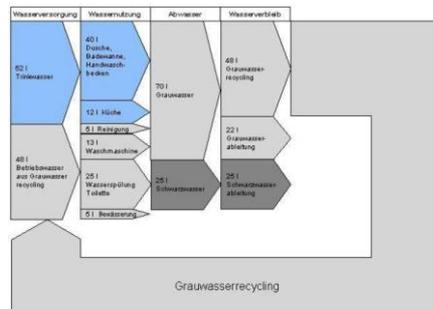
<sup>71</sup> Villeroy\_&\_Boch et al. (2009, 6)

tiefe Verbrauch von nur 47 l/d\*p lässt sich in P 6.2 durch die angepassten Nutzergewohnheiten der wasserarmen Region Erdos begründen.<sup>72</sup>

### Gesparte Frischwassermenge (m<sup>3</sup>/d\*p)

Bei den Hotels P 2.4 und P 2.5 werden 65 Liter resp. 47 Liter pro Tag und Kopf durch aufbereitetes

**Abb. 7 Frischwasseranteil bei Grauwassernutzung.**



Bei der Grauwassernutzung wird immer ein Anteil Frischwasser benötigt. Die Anteile in der Grafik entsprechen möglicherweise nicht dem aktuellen Stand der Technik. Quelle: (fbr, 2005)

Grauwasser für die Toilettenspülung gespart, insgesamt sind dies jährlich 4'745 resp. 767 Kubikmeter. Bei den trockenen Systemen von P 5.1, P 5.2 und P 6.2 werden jeweils 40 resp. 32 Liter pro Tag und Kopf gespart, jährlich sind dies insgesamt 1'533, 3'796 und 35'369 Kubikmeter Frischwasser. Daraus geht hervor, dass Grau- (oder Schwarzwasser-)Recycling grössere Mengen an Wasser pro Tag sparen kann als trockene Systeme. Die trockenen Systeme haben jedoch den Vorteil, dass sie kein Abwasser generieren und die Fäkalien gar nicht erst mit Wasser in Berührung kommen. Grauwasser braucht immer einen gewissen Anteil an Frischwasser, was

Abb. 7 verdeutlicht (für eine grössere Darstellung siehe Anhang A, Nr. 15).

### Energieverbrauch (kWh/y\*p)

Bei zwei Dritteln der Projekte fehlen hierzu die Angaben. Dies ist nebst den Kosten im Allgemeinen der am schlechtesten dokumentierte Parameter. (Der Energieverbrauch ist natürlich ein weiterer Kostenpunkt.) Bei den wenigen vorhandenen Angaben weisen P 1.4 und P 5.2 sehr tiefe Werte auf. P 5.2 ist ein trockenes System, welches arbeitsintensiv im Unterhalt ist. Der anaerobe Hochlastreaktor (HRAR) von P 1.4 braucht keinen Strom, das Abwasser fliesst durch Schwerkraft durch die Absetz- und Reinigungstanks. Der Verbrauch von 0.03 kWh/ m<sup>3</sup> entsteht durch die Bewässerungspumpen. Mit dem HRAR kann, abhängig von der Menge und Zusammensetzung des Abwassers, auch Biogas zur weiteren Verwertung gewonnen werden. Der Energieverbrauch von 1.5 und 2.0 kWh/m<sup>3</sup> der beiden Grauwasseranlagen P 2.4 und P 2.5 liegt nahe beieinander, wobei der Rotationstauchtopfkörper (P 2.4) die bessere Energieeffizienz aufweist. Beide liegen bezüglich der Abwasserbehandlung um das Drei- bis Fünffache über dem Energieverbrauch der ARA.

### Fläche (m<sup>2</sup>)

Bei der Fläche fallen vor allem die Pflanzenkläranlagen ins Gewicht. In Kombination mit den Fäzescontainern der Trockentoiletten ergibt sich bei P 5.1 mit 4.19 m<sup>2</sup>/p ein Höchstwert. Für eine

<sup>72</sup> Die Leute vor Ort sind gewohnt, wenig Wasser zu verwenden." Telefonische Mitteilung Hr. A. Rosemarin, am 19.10.2011.

Pflanzenkläranlage zur Grauwasseraufbereitung werden bis zu 3 m<sup>2</sup>/p eingesetzt. Ein grosser Verbrauch mit unproduktiven Flächen ist ungünstig für Hotels.

#### Erstellungskosten (€)

Hier gingen leider nur wenige Angaben ein, was die Aussagekraft der Vergleiche verringert, obwohl sich die Unterschiede deutlich abzeichnen. Die Erstellungskosten von 843 €/p bei P 2.5 für eine Grauwasseranlage sind moderat im Vergleich zu den übrigen Beispielen, auch gegenüber der ARA, welche bei 450–2100 €/p liegt (Hiessl/Hillenbrand, 2010). Die Kosten für P 3.1 und P 4.1 liegen sehr nahe beieinander und sind etwas höher als beim konventionellen System. Zu 5.1 schreibt die Bezugsperson, dass die Kosten damals eher hoch waren: "[...] die PKA wäre heute billiger zu erstellen [...]" (Erfassungsbogen P 5.1, im Anhang). P 1.4 weist auch bei diesem Parameter einen Spitzenwert von 38 €/p auf, wobei hier die niedrigeren Lohnkosten des in Indien erbauten Projektes zu bedenken sind.<sup>73</sup> Bei P 6.2 in China dürften ebenfalls die Lohnkosten ausschlaggebend für den niedrigen Wert sein.

#### Betriebskosten (E/y\*p)

Bei den Kosten pro Kopf und Jahr schneidet P 1.4 mit 0.16 Euro auch hier sehr gut ab, P 3.1 und P 3.3 mit 10.87 und 14.58 Euro weisen ebenfalls sehr niedrige Betriebskosten auf. Als Vergleichswert für das konventionelle System liegen bei Hiessl/Hillenbrand (2010) leider keine Angaben vor. In einer Medienmitteilung vom VSA werden 135 €/y\*p<sup>74</sup> für die Abwasserreinigung genannt (OTS, 2011). Die Projekte mit den höchsten jährlichen Betriebskosten sind P 1.2 und P 5.1, sie liegen über den Kosten der ARA.

Die Wasserkosten pro Kubikmeter sind anhand der vorliegenden Daten bei P 3.1 am niedrigsten, wo das von Urin getrennte Abwasser über einen Kompostfilter und eine Pflanzenkläranlage gereinigt wird. Die beiden trockenen Systeme P 5.1 und P 5.2 sind aufgrund der Eigenleistungen für Wartungsarbeiten, welche monetär eingerechnet wurden, vergleichsweise teuer (292, resp. 164 €/y\*p). Die Grauwasseraufbereitung bei P 2.5 mit den 2.57 Euro pro Kubikmeter ist moderat im Preis, bei P 1.4 fallen keine Kosten an. Um die oben genannten Werte in Relation setzen zu können, wurde versucht, hierzu aktuelle Preise von einem Anbieter von Grauwasseranlagen zu erhalten. Leider ohne Erfolg, dazu habe man keine konkreten Zahlen.<sup>75</sup> Als weiteren Vergleich werden hier Preise von entsalztem Meerwasser herangezogen. Entsalzung mit Verdampfung<sup>76</sup> kostet bei Meerwasser 0.45 Euro, bei Brackwasser zwischen 0.10 und 0.30 Euro. Mit Umkehrosmose liegt der Ku-

---

<sup>73</sup> Die Erstellungskosten wurden ohne Zuschlag für höhere Lohnkosten von indischen Rupien in Euro umgerechnet, bei einem Wechselkurs vom Juni 2009.

<sup>74</sup> Abwasserreinigung pro Kopf und Jahr: 200.- sFr, umgerechnet mit einem Wechselkurs von 1.50 €.

<sup>75</sup> Persönliches Mail von Hr. Schnabl, Huber SE, vom 30.01.2012.

<sup>76</sup> Meerwasserentsalzung durch Verdampfung braucht 70 kWh/m<sup>3</sup>.

bikmeterpreis bei ca. 0.50 Euro (Bouguerra, 2005). Ein weiterer Anbieter sagt, dass diese Preise für Meerwasserentsalzung sehr tief wären, einen genauen Wert möchte er jedoch nicht nennen.<sup>77</sup> Den Preis von 2.73 Euro für Grauwasserrecycling bestätigt er jedoch. Eine weitere Recherche zu den Aufbereitungskosten bei den verschiedenen Verfahren würde Klarheit bringen.

Es ist zu erwarten, dass Variablen wie die Betriebskosten (hier gleichgesetzt mit dem Preis des aufbereiteten Wassers), die verfügbare Frischwassermenge und der örtliche Wasserpreis eine entscheidende Rolle spielen werden, welche Technologien sich am Markt durchzusetzen vermögen.

## 4.2 Eignung der Systeme für Hotels

### Hauptfragestellung

#### **WELCHE NEUARTIGEN SANITÄRSYSTEME SIND GEEIGNET FÜR DEN EINSATZ IN HOTELS?**

#### Analyse der Sanitärsysteme bezüglich der Nutzung

Die Analyse der Sanitärsysteme bezogen auf den Einsatz in Hotels ergibt, dass nicht alle Systeme dafür gleich gut geeignet sind. Es werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede sowie verschiedene Indikatoren in die Betrachtung einbezogen. Die Bewertungskriterien werden nachfolgend kurz beschrieben.

*Benutzerfreundlichkeit:* Sind Verhaltensänderungen für den Benutzer erforderlich? Ist das System für alle Benutzergruppen, für Männer, Frauen, Kinder und ältere Menschen gut geeignet? Ist es ästhetisch? Inwiefern wird es erkennbar für den Nutzer?

Für Hotels kann die Sichtbarkeit in einer ersten Überlegung als Nachteil angesehen werden, da es aufgrund von ästhetischen Veränderungen bei den Nutzern zu Akzeptanzproblemen führen kann. In einer zweiten Überlegung kann die Sichtbarkeit des neuartigen Sanitärsystems einen positiven Effekt haben. Ökologisches Bewusstsein kann durch den Einbezug von nachhaltigen Praktiken aufgezeigt werden und zu einer positiven Imagebildung eines Betriebs beitragen.

*Betreiberfreundlichkeit:* Die Indikatoren Erstellungs- und Betriebskosten sowie der Energie- und Flächenverbrauch wurden vorgängig im Kap. 4.1 (Analyse der Resultate) besprochen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die generellen Aussagen auch für Hotels zutreffen. Ein weiterer Punkt ist die Marktreife: Sind die Systemkomponenten gut aufeinander abgestimmt? Weisen sie technische Mängel oder Fehleranfälligkeiten auf? Sind sie auf dem Markt in verschiedenen Ausführungen zu erschwinglichen Preisen erhältlich?

<sup>77</sup> Telefonisches Gespräch mit Herrn Gerlach, Rödinger Vacuum GmbH vom 16.01.2012.

*Umweltnutzen:* Die Endprodukte des Abwasseraufbereitungsprozesses können ohne Bedenken ins Ökosystem zurückgeführt werden. Ein niedriger Energieverbrauch (CO<sub>2</sub>-Ersparnis) ist ein weiterer positiver Effekt.

Die Sanitärsysteme sind in Kap. 3.4 (Die Sanitärsysteme) beschrieben, ein Überblick über die separierten Stoffströme der Trennsysteme ist in Tab. 3 (S. 42) zu finden. Die Behandlungsmethoden für die einzelnen Stoffstromsysteme sind in Kap. 2.4 (Abwasserbehandlung) beschrieben.

#### Nicht berücksichtigte Benchmarks

Nicht einbezogen in die vergleichende Analyse der Sanitärsysteme werden die Anzahl Nutzer, die Werte bezüglich des Wasserverbrauchs, inklusive der gesparten Frischwassermengen. Diese Werte sind von der Art des Gebäudes respektive dessen Nutzung abhängig und werden nicht durch das Sanitärsystem beeinflusst. Jedoch kann die Anzahl Nutzer ein Ausschlusskriterium sein, da für einen rentablen Betrieb eine Mindestgrösse erforderlich ist.

Der Aspekt der Sanierung, ob das System während laufendem Betrieb eingebaut werden kann, wird nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass alle Systeme bei einer grundlegenden Sanierung (alle 25–50 Jahre), wie sie für Hotels in Kap. 3.8.3 (Renovations- und Umbauzyklus) beschrieben wird (Cakmakli, 2008), eingebaut werden können. Eine ökologische Bewertung der Abwasserqualität war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, da dazu nur ungenügende und inkohärente Informationen vorlagen.

#### System 1 (1-Stoffstromtrennung)

*Gemeinsamkeiten/Unterschiede:* Ausgenommen von der Abwasseraufbereitung vor Ort ist S1 aus Sicht der Installationen mit dem konventionellen System vergleichbar. Zu den Unterschieden gehört das vor Ort verfügbare, direkt aufbereitete Wasser sowie die bessere Qualität des Klärschlammes, da er nur aus häuslichem Abwasser und nicht aus gemischten Abwässern hervorgeht.

*Benutzerfreundlichkeit:* Für den Benutzer ändert sich nichts, er benutzt eine konventionelle Toilette, der Wechsel des Systems ist für ihn nicht sichtbar.

*Betreiberfreundlichkeit:* Ohne Änderungen sowohl an der Benutzerschnittstelle als auch an den Sanitärleitungen kann im Nachhinein eine dezentrale Abwasseraufbereitung angeschlossen werden, wenn der notwendige Raum für die Aufbereitung zur Verfügung steht. Die Membrantechnologie hat Marktreife erlangt.

*Umweltnutzen:* Wird das Schwarzwasser mit Membrantechnologie aufbereitet, kann es zur WC-Spülung wiederverwendet werden (P 1.2). Die Aufbereitung mit Membrantechnologie ermöglicht eine autarke Abwasserentsorgung.

*Fazit:* S1 ist für Hotels gut einsetzbar. Das in P 1.4 eingesetzte Low-Cost-Aufbereitungsverfahren mittels HRAR hat neben der potenziellen Möglichkeit, Biogas zu gewinnen, weitere Vorteile: einen niedrigen Energie- und Flächenverbrauch sowie niedrige Erstellungs- und Betriebskosten. Der Klärschlamm kann (bei entsprechender Qualität und Gesetzgebung) in der Landwirtschaft verwertet werden. Die anaerobe Aufbereitung von Abwasser mittels HRAR ist in Mitteleuropa noch nicht verbreitet und stellt möglicherweise ein sinnvolles Abwasserkonzept für Hotels dar. Ein deutsches Forschungsprojekt in einem Tourismusresort in Sarigerme in der Türkei kombiniert aerobe und anaerobe Verfahren miteinander. Das Hotelabwasser wird nach der Vorreinigung und Belebung in einer Membrananlage getrennt. Das daraus hervorgehende Brauchwasser kann wiederverwendet werden, der zurückgehaltene Schlamm wird zusammen mit organischem Material aus der Küche (70 % der gesamten Abfälle des Hotels) in einer anaeroben Anlage vergärt, aus der täglich 40 m<sup>3</sup> Biogas generiert werden. Der Gärückstand wird danach in der Landwirtschaft auf den kargen Böden ausgebracht (Steinbach et al., 2007). Zu prüfen bleibt, ob dieses Konzept auch bei mitteleuropäischen Temperaturen funktioniert. Im Projekt Stöckacker in Bern soll zu Versuchszwecken häusliches Abwasser in einem HRAR aufbereitet werden.<sup>78</sup>

#### System 2 (Schwarzwasser 2-Stoffstromtrennung)

*Gemeinsamkeiten/Unterschiede:* Für den Benutzer unterscheidet sich S2 nicht vom konventionellen System. Für den Betreiber hat es den Vorteil, dass er einen Teil des Abwassers vor Ort aufbereiten und wiederverwenden kann.

*Benutzerfreundlichkeit:* Das System bedingt keine Verhaltensänderung, es ist nicht erkennbar und stellt daher für den Benutzer keine Hürde dar. Lediglich die Ableitungen von Grau- und Schwarzwasser erfolgen getrennt.

*Betreiberfreundlichkeit:* Die Betreiberfreundlichkeit der Grauwasseraufbereitung ist abhängig von der Art der Anlage. Pflanzenkläranlagen verursachen in der Regel einen höheren Wartungsaufwand als technische Anlagen und brauchen mehr Platz. Andererseits sind sie günstiger im Betrieb, da sie keinen Strom und keine technischen Ersatzteile für den Betrieb verbrauchen.

Ab einer Grösse von 150–200 Personen lässt sich eine Grauwasseraufbereitung kostendeckend betreiben, heisst es bei Kluge/Libbe (2010, 31). Gleichzeitig wird erwähnt, dass sich die Nutzung nur gemeinsam mit einer Wärmerückgewinnung lohnt. Die Anfrage bei einem Anbieter solcher Anlagen, ab welcher Anzahl Benutzer sich eine solche Anlage rentieren würde, ergab aber keine klare Antwort. Die Internetseite desselben Anbieters zeigt mehrheitlich internationale Hotelkomplexe in der Luxusklasse, mit meist über 300 Zimmern und grosszügiger Infrastruktur (mehreren Bars und Pools).

<sup>78</sup> Siehe Auszug aus Interview B6.

Die Vorteile der Wiederverwendbarkeit des gereinigten Wassers wiegen die Kosten für die zusätzlichen Leitungssysteme auf. Die Membrantechnik ist seit über zehn Jahren marktreif.<sup>79</sup>

Auch die Rotationstauchtropfkörperanlage, welche bei P 2.4 schon seit 16 Jahren in Betrieb ist, scheint ein robustes Verfahren zur Grauwasserreinigung mit moderatem Energieverbrauch zu sein, das eine gute Wasserqualität erzeugt. Fehlende Angaben vom Betreiber bezüglich Erstellungs- und Betriebskosten lassen hier jedoch keine detaillierten Aussagen zu.

*Umweltnutzen:* S2 hat ein grosses Potenzial für Trinkwasserersparnis.

*Fazit:* Der hohe Grauwasseranfall und hohe Brauchwasserbedarf von Hotels sprechen für den Einsatz von S2 bei diesem Gebäudetyp, wobei in der letzten Zeit vorwiegend Systeme mit Membranbelegung für grössere Hotels umgesetzt wurden.

### System 3, System 4 (Urintrennung 2-, 3-Stoffstromtrennung)

*Gemeinsamkeiten/Unterschiede:* S3 und S4, beides Systeme mit Urintrennung, unterscheiden sich lediglich durch die zusätzliche (unsichtbare) Abtrennung von Grauwasser bei S4.

*Benutzerfreundlichkeit:* Der Benutzer muss sein Verhalten an die Trenntoilette anpassen und sich daran gewöhnen. Dies bedingt Benutzerinformation (in Hotelbroschüre und Toilette). Je nach Toilettenmodell müssen Männer sich setzen, damit sich das Ablaufventil öffnet und der Urin abfließen kann. Der Benutzer der Toilette muss sich bemühen, Fäzes und Urin in der Trenntoilette über der Abflussstelle zu platzieren, da sonst Verunreinigungen vor allem im Urinabfluss auftreten, die zu einem erhöhten Reinigungsaufwand führen. Besonders bei Kindern unter 12 Jahren treten hier Probleme auf, die einige Hersteller mit einem kindergerechten Toiletten-Aufsatz lösen.

Die Trenntoilette unterscheidet sich visuell vom konventionellen WC, was aus ästhetischer Sicht als unproblematisch eingestuft werden kann, da sie im Allgemeinen als schön, gegenüber dem normalen WC als gleichwertig empfunden wird.

*Betreiberfreundlichkeit:* Das System stellt für den Betreiber eine Erschwernis dar, da Unterhalt und Wartung bei NoMix-Toiletten etwas aufwendiger sind als bei konventionellen WCs. Die Reinigung der Toilette ist weniger das Problem, da das Putzpersonal den leicht erhöhten Aufwand in die tägliche Putzroutine einbauen kann. Ein Mehraufwand bedeutet aber die monatliche Spülung der Leitungen mit Zitronensäure, um Urinsteinablagerungen vorzubeugen. Reinigungshinweise und Erfahrungsberichte helfen, hier Überraschungen zu verhindern.<sup>80</sup> Für den Absatz und Vertrieb sowie für die notwendigen Bewilligungen zur Verwendung der Produkte (Kompost, Urindünger) muss sich der Betreiber bereits vor dem Bau einer solchen Anlage kümmern. Die notwendige Verhaltensänderung des Benutzers verlangt vom Betreiber eine entsprechende Information der Gäste zum Gebrauch der

---

<sup>79</sup> Seit über zehn Jahren ist die Membrantechnik auf dem Markt und breitet sich in Europa und international aus. Persönliches Mail von Hr. Schnabl, Huber SE vom 30.01.2012.

<sup>80</sup> Reinigungshinweise siehe Hinweise und Quellen in den Erfassungsbogen bei P 3.1, P 3.4 und P 4.6.

Toiletten und über die Hintergründe zum Einsatz dieser Technologie. Dies kann vom Hotelier gezielt zur Pflege eines umweltbewussten Images eingesetzt werden. Das Trennsystem benötigt aufgrund mehrfacher Leitungsführung und der Notwendigkeit zur Lagerung vor Ort (im Untergeschoss) mehr Platz als ein konventionelles System.

Die Systeme mit Trenntoiletten sind im Vergleich zum konventionellen WC noch jung und technisch zu wenig weit entwickelt, als dass von Marktreife gesprochen werden kann. Es fehlt an ausgearbeiteten Systemkomponenten wie einem technisch einwandfrei funktionierenden Trenn-WC, welches unverdünnten Urin sammelt. Auch die Absatzwege für Produkte aus der Stoffstromtrennung und Aufbereitung sind nicht etabliert.

*Umweltnutzen:* Die vorzeitige Abtrennung des Urins vor der Vermischung mit dem übrigen Abwasser schützt die Gewässer vor dem Eintrag von Nährstoffen und Mikroverunreinigungen. Versuche haben gezeigt, dass sich Urinprodukte (u. a. Struvit) gut als Dünger eignen und als gleichwertige Substitute für Kunstdünger verwendet werden können. (Eawag, 2007, 16-17; Johannsson et al., 2000, 22ff.; Von Münch/Winker, 2011, 15)

*Fazit:* S3 und S4 sind noch zu wenig ausgereift für den kommerziellen Einsatz in Hotels, was die in dieser Studie gesammelten Erfahrungsberichte zeigen.<sup>81</sup> Versuchsprojekte sind möglich und sinnvoll, wenn gegenüber dem Gast genügend Informationen angeboten, die Produkte wiederverwendet und parallel die Systemkomponenten technisch verbessert werden. Besser geeignet sind öffentliche Toilettenanlagen bei denen die Anforderungen an die Toilette rein funktioneller Art sind und die Reinigung und Wartung durch einen professionellen Dienstleister gewährleistet werden kann.<sup>82</sup>

#### System 5, System 6 (Trockentoiletten 2-, 3-Stoffstromtrennung)

*Gemeinsamkeiten/Unterschiede:* Beide Systeme (S5 und S6) sind "trockene" Systeme, die ohne Wasserspülung funktionieren. S6 unterscheidet sich durch die zusätzliche Urintrennung von S5.

*Benutzerfreundlichkeit:* Es gibt keine Wasserspülung, anstelle wird Trockenstreu aus Holz oder Erde verwendet. Dies bedingt eine Verhaltensänderung bei den Benutzern. Es gibt keinen Siphon, der beim konventionellen WC als Geruchsverschluss und Sichtschutz dient, was ein ästhetischer und empfindungsmässiger Nachteil ist. Zwar kann man nicht direkt auf die Fäkalien, respektive auf den Komposthaufen sehen aufgrund der Dunkelheit im Fallrohr. Trotzdem kann diese Situation, die mit einem herkömmlichen "Plumpsklo" vergleichbar ist, als unangenehm empfunden werden. Die Erinnerung ans Plumpsklo schafft Assoziationen zur Berg- oder Waldhütte in freier Natur, die abhängig von der Identität des Hotels passend oder störend sein kann. So gilt auch hier: Bei einem passenden Standort und einer entsprechenden Vermarktung beispielsweise einem Naturhotel kann ein trockene-

<sup>81</sup> Siehe Erfassungsbögen von P 3.1, 3.4, 4.1, 4.6.

<sup>82</sup> Beispielsweise öffentliche Toilettenanlagen, Militärkasernen, Studentenheime etc., Toilettenanlagen ohne hohe gestalterische Anforderungen im Gegensatz zu Hotels.

nes System durchaus Sinn machen, ist für die grosse Masse jedoch kaum geeignet. Bei S6 besteht ebenfalls die Schwierigkeit der richtigen Platzierung der Fäkalien, wie bei S3 und S4 beschrieben wurde.

*Betreiberfreundlichkeit:* Negativ zu bewerten sind der zusätzliche Aufwand für die Pflege des Kompostes sowie die Einschränkung in der Gebäudehöhe auf vier Geschosse. Das Trennsystem benötigt aufgrund der vertikalen Leitungsführung ohne Etagierung und der Notwendigkeit zur Lagerung vor Ort (im Untergeschoss) mehr Platz als das konventionelle System. Trockene Systeme bedingen ein einwandfrei funktionierendes Lüftungssystem, das Gerüche aus dem Toilettenraum abzieht. Im Handel gibt es eine grosse Anzahl marktreifer Produkte für trockene Systeme, welche abgesehen vom körperlichen Aufwand einfach zu handhaben sind. Das System ist beim Einbau weniger flexibel da mit dem Fallrohr für Fäkalien nicht horizontal verfahren werden kann.

*Umweltnutzen:* Mit trockenen Systemen werden die Fäkalien gar nicht erst mit Wasser vermischt, womit die Nährstoffe und Mikroverunreinigungen nicht ins Wasser eingetragen werden können. Dies ist ein grosser Vorteil. Die Endprodukte aus den Fäkalien können als Bodenverbesserer und Dünger verwendet werden. Zudem werden pro Person täglich rund 40 l Spülwasser eingespart. Diese Aspekte können als grossen Umweltnutzen gewertet werden.

*Fazit:* S5 und S6 sind nicht generell für Hotels geeignet, jedoch als Nischenprodukte für naturnahe Unterkünfte, Baumhäuser etc. einsetzbar.<sup>83</sup>

---

<sup>83</sup> Weitere Einsatzbereiche: Baumhotels, Jugendcamps, „Open Air“-Veranstaltungen, Alpvereinshöhlen, Ökohotels beispielsweise in Safarigegegenden etc. Zwei Projekte, bei denen Trockentoiletten im Einsatz sind: <http://www.wipfelglueck.de/> <http://www.family-ecolodge.com/> Quelle: Persönliches Mail von Berger Biotechnik GmbH vom 16.11.2011.

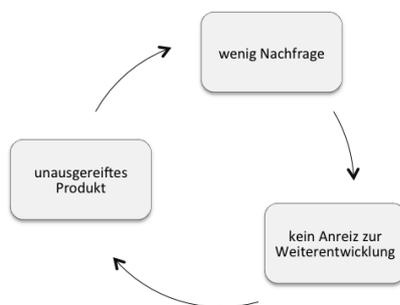
### 4.3 Hindernisse

Die Diskussion über notwendige Veränderungen in der Abwasserwirtschaft ist nicht neu. 2000–2006 lief bei der Eawag das Forschungsprojekt Novaquatis (Larsen/Lienert (2007)), bei dem verschiedene Aspekte rund um die Urintrennung untersucht wurden. Ein Blick auf die Liste der Pilotprojekte aus der Schweiz mit Stoffstromtrennung (siehe Kap. 3.1) wirft jedoch die Frage auf, weshalb es kaum solche Projekte gibt. Wie auch aus dem Gespräch mit B7 (siehe Anhang Teil B; 7 Vorgehen Stöckacker) hervorgeht, gibt es hier verschiedene Hindernisse bei der Umsetzung eines Versuchsprojektes.

#### Zuständigkeiten

Die Hindernisse beginnen bei der Unklarheit, welche Instanz<sup>84</sup> (welche Ebene; Gemeinde, Kanton,

**Abb. 8 Negative Dynamik bei der Einführung von neuen Produkten.**



Quelle: Eigene Darstellung.

Bund, welche Gesetzesgrundlagen, welche Person) für eine bestimmte Fragestellung zuständig ist und welches Bewilligungsverfahren gewählt werden soll.<sup>85</sup> Auch der Umstand, dass die Zuständigkeiten dreigeteilt sind<sup>86</sup>, reduziert die für Forschungsprojekte förderliche und notwendige Flexibilität<sup>87</sup>.

#### ARA-Betreiber

Ein weiterer erschwerender Faktor sind ARA-Betreiber, die auf eine grosse Kundenzahl angewiesen sind. Bei einem Rückgang der Kunden müssen sie die Abwassergebühren heben, was

auch von den Kunden nicht geschätzt wird. Die ARA-Betreiber sind daher gegenüber Neuerungen in der Abwasserwirtschaft konservativ eingestellt.<sup>88</sup>

#### Nicht ausgereifte Technologien

Ein weiterer Punkt sind fehlende oder nicht ausgereifte Teilschritte zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft, wie technisch ausgereifte Apparate<sup>89</sup>, (automatisierte) Verfahren zur weiteren Verarbei-

<sup>84</sup> "Nein, es war lange nicht klar, ob dies auf Bundesebene bewilligt werden muss. Aber es ist nun klar. Es ist Kantonshoheit. Bis Ende Jahr wird über den Regierungstadthalter juristisch abgeklärt, ob das über ihn geht oder wie man das beantragen muss." B7 #01:00:04-3#. "Wenn ich das wüsste, [wie das Gefüge ist zwischen den drei Ebenen Bund, Kanton und Gemeinde, dann] hätte ich keine Probleme mehr (lacht)!" B7 #01:20:21-1#.

<sup>85</sup> Bei P 3.1 und P 3.3 tauchten ebenfalls Schwierigkeiten mit Bewilligungsverfahren zum Umgang mit Produkten aus der Stoffstromtrennung auf. Bei P 3.3 warten 15 m3 Urin auf eine Verwendung (telefonische Mitteilung von Herr Bollmann, Bezugsperson für P 3.3).

<sup>86</sup> "[...] der Bund ist für die Rahmengesetze verantwortlich, der Kanton muss die Gemeinden kontrollieren und die Gemeinden müssen die Gesetze einhalten [...]", persönliche Mitteilung an einem Gespräch mit Herrn J. Heeb am 09.11.2011.

<sup>87</sup> Ähnliche Probleme treten in Deutschland auf: "Deutlich wird, wie inflexibel oder starr stellenweise die rechtlichen Rahmenbedingungen bezüglich der anzuwendenden Technik und deren technologische Entwicklung sind und diese scheinbar zum Teil ökonomische und ökologisch sinnvolle Lösungen ausschliessen, z. B. dass Teilstromlösungen durch die Trinkwasserversorgung eher behindert werden" (Koziol 2006, 27).

<sup>88</sup> "[...] Es ist ein Machtfeld, das die Behörden nicht abgeben wollen. Jedes Mal stossen wir an Grenzen, wenn wir dezentrale Wassertechnologien einsetzen möchten [...]." B6 #00:33:19-2#.

<sup>89</sup> Trenntoilette, welche Urin ohne Spülwasser sammelt.

tung von Urin in grösseren Mengen, die Zuständigkeit für die Aufbereitung und die Qualitätssicherung sowie ein Markt für die anfallenden Produkte. Die unausgereiften Teilschritte führen zu einer negativen Dynamik, welche hindernd auf die Entwicklung wirkt. Wenn keine Nachfrage da ist, besteht kein Anreiz<sup>90</sup>, ein Produkt zu verbessern, und ein unausgereiftes Produkt führt nicht zu mehr Nachfrage usw. (siehe Abb. 8). Egal, in welcher Position man agiert, es gibt keine Möglichkeit, die Negativspirale zu durchbrechen, ausser durch externe Markteingriffe, wie beispielsweise in Form von Stimulation durch Forschungsgelder.

### Bewilligungsverfahren

Um die Produkte aus der Stoffstromtrennung verwerten zu können, sind gesetzliche Bestimmungen einzuhalten. Dünger aus Urin bedingt eine Zulassung, die das Bundesamt für Landwirtschaft erteilt (Larsen/Lienert, 2007, 24). Für Klärschlamm gilt das Ausbringverbot, Kompost unterliegt der Abfallgesetzgebung.<sup>91</sup>

### Wasserpreise

Seitens der Experten wurde als Hinderungsgrund mehrfach der zu tiefe Preis des Wassers erwähnt und zugleich auf die Möglichkeit verwiesen, den Preis als Lenkungsmaßnahme einzusetzen. Zu hoffen bleibt, dass trotz den Voraussagen bezüglich Klimawandel auch in Zukunft genügend Wasser vorhanden sein wird.

## 4.4 Handlungsempfehlungen

### 4.4.1 Geeignete Systeme für Hotels

Aus Kap. 4.2 (Geeignete Systeme für Hotels) geht hervor, dass nicht alle Systeme gleich gut geeignet sind für den Einsatz in Hotels.

S1, S2 sind einbaubar, ohne dass der Gast etwas merkt oder beeinträchtigt wird vom alternativen Sanitärsystem, was diese Systeme gegenüber anderen begünstigt.

Für Membranbelebungsverfahren wie auch für Biofilmverfahren (z. B. Rotationstauchtropfkörper, Wirbelbettreaktoren) ist die Wirtschaftlichkeit einer Anlage in Bezug auf die Rahmenbedingungen im Voraus zu prüfen. Sie ist abhängig von der örtlich verfügbaren Wassermenge, vom Wasserpreis, der erwarteten Belegung des Hotels (Wasserverbrauch) und vom Verwendungszweck des aufbereiteten Wassers.

---

<sup>90</sup> " Die kleine Nachfrage (10 WCs pro Jahr) hat zu schwindendem Interesse bei den Aktionären geführt." Telefonische Mitteilung von Herrn Rüster, Rödinger, 26.05.11.

<sup>91</sup> Zuständig in Basel ist das Amt für Umwelt und Energie. Über Zuständigkeiten siehe auch die Liste "Gesetzliche Grundlagen und Zuständigkeiten bei der Verwendung von Produkten aus dezentraler Abwasseraufbereitung" siehe Anhang A, Nr. 16.

Die Abwasseraufbereitung mittels Pflanzenkläranlage, HRAR oder Hydrozyklon und anschliessender Kompostierung der Feststoffe kann schon ab Kleinstmengen betrieben werden. Platz und Temperatur können limitierende Rahmenbedingungen sein.

*S3, S4* verlangen vom Benutzer Verhaltensänderungen. Die Systeme mit Urinentrennung stehen am Anfang ihrer Entwicklung und sind abgesehen von Versuchsprojekten noch nicht bereit für den Einsatz in Hotels. Dies einerseits, da die Trenntoiletten technisch noch zu wenig ausgereift sind, andererseits weil die Verarbeitungs- und Absatzwege für die Produkte aus der Aufbereitung noch nicht etabliert sind. Für deren Weiterentwicklung benötigt es vorerst weitere Pilotprojekte.

*S5, S6* verlangen vom Benutzer ebenfalls Verhaltensänderungen und stellen zugleich eine ästhetische Beeinträchtigung dar. Die trockenen Systeme sind, wenn sie richtig verwendet<sup>92</sup> werden, bis auf die Wartung des Kompostes einfach handhabbar. Ihr Einsatz ist geeignet in einem passenden naturbezogenen Umfeld mit begleitendem Informationsangebot für kleinere Anlagen.

#### 4.4.2 Empfehlungen für Projektbeteiligte

Hotelbesitzer, Bauherren, Bauherrenvertreter, Architekten, Fachplaner

Von der Seite der Planer können einerseits Wassersparmassnahmen, andererseits Massnahmen zur Substitution von Wasser eingesetzt werden.

*Wassersparmassnahmen:* Die Experten sprachen in den Interviews von einem Wassersparpotenzial durch diverses Sanitärzubehör von bis zu 40 %, welches ausgereizt werden sollte, bevor zu Substitutionstechnologien gegriffen wird (siehe Kap. 3.3 Experteninterviews/Wassersparen).<sup>93</sup> Durch die Konzeption des Gebäudes, genauer durch die Lage der Nasszellen nahe den Steigzonen, können infolge kleiner Ausstossverluste<sup>94</sup> Mengen an Wasser und Energie gespart werden. Eine kleine Anzahl an Apparaten und Nasszellen verfolgt dasselbe Ziel.

*Platz in den Steigzonen:* Bei Neubauten sollen genügend Platz und zugängliche Abschnitte in den Steigzonen eingeplant werden, damit nachträglich Ergänzungen gemacht werden können. Eine weitere Möglichkeit bei neu erstellten Pilotprojekten ist, gleich zu Beginn vier Leitungen vorzusehen: je eine für Grauwasser, Braunwasser, Urin, und für ein Vakuumsystem. Somit kann die Art der Stoffstromtrennung während des Betriebs verändert und verschiedene Technologien getestet werden.<sup>95</sup> Bei mehrfacher Leitungsführung muss mit Mehrkosten mit Faktor 1.5 gerechnet werden (P 4.6).

<sup>92</sup> Keine Flüssigkeiten, Putzmittel etc. über die Toilette entsorgen.

<sup>93</sup> Empfehlungen für einzelne Sanitärprodukte können hier nicht abgegeben werden. Weiterführende Informationen bezüglich Trenntoiletten sind im Erfassungsbogen zu P 3.1, P 3.3, P 3.4, P 4.6, für Urinale zu P 3.1, P 3.4, P 4.1b zu finden.

<sup>94</sup> Wasserverlust, der bei laufendem Wasserhahn durch das Warten auf die gewünschte Temperatur entsteht. In den Ausstossleitungen (den Leitungen, die weg von der Steigzone führen) steht das Wasser und kühlt sich trotz Rohrdämmungen ab. Umso länger diese Leitungen sind, umso grösser sind die (Warm)wasserverluste. In den Steigleitungen wird das Wasser im Kreislauf geführt um eine konstante Temperatur zu halten. B2 #00:43:46-5#, #01:00:14-1#

<sup>95</sup> Empfehlung von A. Peter-Fröhlich, Bezugsperson für P 4.1, persönliches Telefongespräch vom 15.11.2011.

*Urintrennung:* Für eine optimale Rückgewinnung von Phosphor aus Urin ist es wichtig, die Menge an magnesium- und calciumhaltigem Wasser zu minimieren, da sonst bereits beim Transport in den Urinleitungen und im Urintank Phosphat aus dem flüssigen Urin ausfällt (Ronteltap et al., 2007, 5) und danach nicht mehr für die Düngung verfügbar ist. Die Spülung mit Regenwasser bietet sich daher an. Bei P 3.4 zeigen sich dank der Verwendung von Regenwasser gute Ergebnisse und keine Probleme mit Ausfällungen in den Sanitärleitungen.

#### Wissenschaftliche Betreuer von Pilotprojekten

Jedes Pilotprojekt verfolgt einen spezifischen Forschungszweck, entsprechend heterogen sind die erhobenen Parameter. Obwohl der Energieverbrauch ein entscheidendes Bewertungskriterium zur Bestimmung der Nachhaltigkeit einer Technologie ist, wurde er bei den wenigsten hier einbezogenen Projekten dokumentiert. Ebenso war es schwierig brauchbare Aussagen über Erstellungs- und Unterhaltskosten zu finden. Pilotprojekte, welche in der Regel teurer sind als konventionelle, werden oft durch öffentliche (Forschungs)gelder mitfinanziert. Der Anspruch, aus diesen Projekten Resultate in Form von breit verwendbaren Vergleichswerten zu erhalten scheint dadurch gerechtfertigt und soll in Zukunft verfolgt werden.

*Standardisierte Parameter:* In dieser Arbeit wurden folgende Parameter erhoben und ausgewertet:

- Wasserverbrauch: "Wasserverbrauch gesamt" ( $\text{m}^3/\text{y}$ ), "Frischwasserverbrauch", "Verbrauch aus recycliertem Wasser", "Wasserverbrauch recycliert" ( $\text{m}^3/\text{y}$ ), "Wasserverbrauch gespart" ( $\text{m}^3/\text{y}$ ), bei Umbauten auch der Wasserverbrauch vor dem Systemwechsel, um die Einsparung quantifizierbar zu machen.
- Energieverbrauch: ( $\text{kWh}/\text{y}$ ) ist ein wichtiger Vergleichswert
- Flächenbedarf ( $\text{m}^2$ )
- Kosten: Erstellungs- (€) und Betriebskosten (€/y)

Die Erhebung von standardisierten Messparametern würde vergleichbare Resultate hervorbringen (Benchmarks), was Transparenz im zunehmend komplexen Feld der dezentralen Sanitärsysteme schaffen würde. In Zukunft sollte bei allen Projekten ein standardisiertes Basis-Set an Parametern (ergänzt durch projektspezifische) erhoben werden, wofür die oben erwähnte Liste zu erweitern und die Parameter zu beschreiben sind. Die Parametersets sollen sich an der Nachhaltigkeitsbewertung orientieren (siehe Anhang A, Nr. 9–12). Zur Qualitätsbewertung des aufbereiteten Abwassers sollten ebenfalls zu erhebenden Parameter<sup>96</sup> ausgewählt werden. Auch standardisierte Fragen zur Beurteilung von sozio-kulturellen Aspekten wie der Nutzerakzeptanz und der Anwenderfreundlichkeit, wären zu formulieren.

---

<sup>96</sup> Beispielsweise: CSB/TOC, BSB<sub>5</sub>, N, P, AOX, abfiltrierbare Stoffe, UV-Transmission, gesamtcoliforme Bakterien, fäkalcoliforme Bakterien, Streptococcus faecalin, Salmonellen, Darmviren. (Schlesinger, 2003)

*Technischer Beschrieb:* Ein technischer Beschrieb über die Systemkomponenten, die einzelnen Apparaturen (Hersteller, Typ, Funktion) sowie die Installationen (Dimension, Materialisierung, Qualität, Bauweise etc.) wäre ebenfalls hilfreich. Dieser könnte beispielsweise in Form eines Devistextes, wie er im Schweizer Ausschreibungsverfahren üblich ist, erstellt werden.

*Kommunikation:* Die in dieser Weise breit ausgerichteten Resultate und Informationen wären in den Projektberichten zu kommunizieren, so dass sie weiterverwendet werden können.

#### Produzente von Sanitärprodukten

Anbieter von Sanitärprodukten und -technologien tragen einen wichtigen Teil zur Entwicklung von neuen Produkten bei. Innovatives Unternehmertum, Offenheit gegenüber Anregungen von Kunden und Mut neue Wege zu begehen sind die Bedingungen zur Entwicklung von zukünftigen Produkten.

#### Behörden und ARA-Betreiber

Behörden spielen eine massgebliche Rolle, wenn es um Bewilligungen zum Aufgleisen von Pilotprojekten geht. Oft hängt es vom Wohlwollen einzelner Personen ab, ob eine Bewilligung erteilt wird oder nicht. Die hemmende Wirkung der Behörden und der ARA-Betreiber wurde in den Experteninterviews wie auch von Bezugspersonen aus Pilotprojekten (P 3.1, P 3.3) mehrfach erwähnt und ist in Kap. 4.3 (Hindernisse) wie auch in Rothenberger (2003, 84-85) ausführlich beschrieben.

Bei den Forschungsprojekten geht es in erster Linie darum, Verfahren als Ergänzung zum konventionellen System zu finden für: a) Orte, die durch das konventionelle System nicht optimal abzudecken sind (Einzelstandorte für die sich ein ARA-Anschluss nicht rechnet, respektive nicht möglich ist, Regionen mit hoher Abwanderung etc.), b) neue Einsatzgebiete ohne Kanalinfrastruktur, wo das konventionelle System nicht geeignet ist (wasserarme Regionen, Länder, die sich keine Kanalinfrastruktur leisten können, schnell wachsende Stadtteile etc.). Ziel des Forschungsbereichs um neuartige Sanitärsysteme ist die Kosteneffizienz sowie die ökologische und soziale Verträglichkeit zu erhöhen und damit die Nachhaltigkeit in der Abwasserbehandlung zu steigern. Dort wo die Infrastruktur bereits gebaut ist, ist nicht so schnell mit einem Systemwechsel zu rechnen. Eine offene Haltung der Behörden und ARA-Betreiber gegenüber Pilotverfahren wäre hilfreich auf dem Weg zur Entwicklung neuer Technologien. Ebenso wäre wünschenswert, dass die Zuständigkeiten geklärt wären und schnelle Genehmigungsverfahren mit klaren Ablaufwegen etabliert würden.

#### 4.4.3 Entwicklungsperspektive

Eine Perspektive zur Umsetzung von neuartigen Sanitärsystemen in der Schweiz ergibt sich aus Kap. 2.4.1 (Zentrale Abwasseraufbereitung). Die Schweizer Abwasserinfrastruktur ist gebaut, der Anschlussgrad liegt bei 97 % (Laube/Vonplon, 2004). Daher ist nicht zu erwarten, dass sich das Abwassersystem von Grund auf ändern wird, insbesondere in den Städten, wo die Abwasserkanäle kurz

und die Anzahl Anschlüsse hoch sind. Hingegen sind die kleinen, später erstellten Anlagen in ländlichen Gegenden meist schlecht ausgelastet (nur 60 % Auslastung gegenüber 85 % bei den grossen) und verursachen hohe Abwasserkosten. Solche Orte stellen potenzielle Einsatzfelder für dezentrale Systeme dar. Bis zum Zeitpunkt der Sanierung dieser Anlagen werden noch drei bis vier Jahrzehnte verstreichen, was reichen sollte, um neuartige Sanitärsysteme zu testen und zur Marktreife zu bringen. Diese Zeit sollte also sinnvoll genutzt werden, damit die Vorbereitungen getroffen sind zum Zeitpunkt der Sanierung der bestehenden Infrastruktur. Aufbauend auf den Angaben von Laube/Vonplon (2004) ist eine gemischte Strategie denkbar: ARAs für dicht besiedelte Gebiete und dezentrale Anlagen für Siedlungen unter einem bestimmten Schwellenwert der Auslastung. In Deutschland dürfte es sich ähnlich verhalten aufgrund der verfügbaren Wassermenge und des hohen Anschlussgrades an die ARA.

Anders sieht es aus im Süden Europas. In Tourismusregionen welche bereits heute an Wasserknappheit leiden, besteht bereits jetzt ein Markt für dezentrale Sanitärsysteme. Hier dürfte der Klimawandel ein Treiber sein zur Verbreitung des Bedürfnisses Wasser vor Ort wiederzuverwenden. International, für Industriegebäude und Hotels, gibt es bereits eine zunehmende Nachfrage. Mexico, Kalifornien sowie die Golfstaaten gehören zu den Kunden von Anbietern von neuartigen Sanitärtechnologien, was ein Blick auf die Liste der Referenzobjekte eines grossen Anbieters zeigt.

## 4.5 Überprüfung der Arbeitshypothese

### Hypothese

**WENN DEZENTRALE ABWASSERSYSTEME KOMMERZIELL AUF DEM MARKT EINGEFÜHRT WERDEN SOLLEN, SIND HOTELS DAFÜR GEEIGNET.**

Die Überprüfung der Arbeitshypothese muss für die Systeme einzeln erfolgen. Für S2 kann die Hypothese für alle Technologien zur Grauwasseraufbereitung bestätigt werden. Für S1 mit Membrantechnologie kann die Hypothese aus denselben Gründen wie bei S2 beschrieben ebenfalls bestätigt werden (beides Membrantechnologien). Für S2 mit anaeroben Reaktoren kann sie nur teilweise bestätigt werden, da die Markteinführung nicht sofort, sondern erst nach weiteren Versuchsprojekten mit positivem Ergebnis erfolgen kann, wofür die Chancen jedoch intakt sind. Für S3 und S4 kann die Hypothese zurzeit nicht bestätigt werden. Es braucht noch Zeit für die Produktentwicklung. Für S5 und S6 muss die Hypothese aus den in Kap. 4.2 (Eignung der Systeme für Hotels) erwähnten Gründen verworfen werden.

## 5 SCHLUSSTEIL

### 5.1 Zusammenfassung

Das konventionelle Abwassersystem hat seine Wurzeln in der Industrialisierung, als die Städte immer dichter und der Gestank des Abfall-/Abwassergemischs immer unerträglicher wurden. Damals war es eine Verbesserung, die Abfälle und Fäkalien mit der Schwemmkanalisation aus der Stadt zu befördern. Die prognostizierte mit dem Klimawandel einhergehende Wasserknappheit war damals noch kein Thema. Als aufgrund der anfallenden Abwassermengen Probleme entstanden (eutrophe Gewässer), wurden Abwasserreinigungsanlagen errichtet.

In der Zwischenzeit ist man zur Erkenntnis gekommen, dass, anstelle Abfälle mit Trinkwasser wegzuschwemmen und danach unter aufwändigen "End-of-pipe"-Verfahren wieder aufzutrennen, die Abwässer besser getrennt gesammelt und aufbereitet würden. Seit der gesetzlichen Regulierung über die Ausbringung von Klärschlamm<sup>97</sup> hat sich das öffentliche Abwassersystem von einem Kreislauf- zu einem Einwegsystem gewandelt. Die mit der Nahrung aufgenommenen und den Fäkalien wieder ausgeschiedenen Nährstoffe werden mit dem konventionellen Abwassersystem nicht zurück in den Boden gebracht, sondern verbrannt und deponiert. Dieses Vorgehen ist nicht nachhaltig, vor allem wenn man bedenkt, dass der Vorrat an Phosphor gemäss Schätzungen in den nächsten 50 bis 100 Jahren erschöpft sein wird. Auch wenn heute 97 % der Abwasserverursacher an eine ARA angeschlossen sind, gelangen vorwiegend durch kleine ARAs Fremdstoffe (Nährstoffe, Mikroschadstoffe) in die Gewässer, was bei Wasserlebewesen bereits zu Effekten geführt hat. Bei dezentralen Sanitärsystemen werden die Abwässer möglichst unvermischt gesammelt und direkt aufbereitet. Dies ermöglicht die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser vor Ort als Brauchwasser und/oder die Rückführung von Nährstoffen auf die Felder.

In dieser Arbeit wurden anhand von 16 Pilotprojekten mit dezentraler Abwasseraufbereitung sechs unterschiedliche Sanitärsysteme mit Stoffstromtrennung untersucht. Gefragt wurde, welche neuartigen Sanitärsysteme für Hotels geeignet sind. Es erfolgte eine Analyse über die Charakteristika der Stoffstromsysteme. Aufgrund einer Datenerhebung, wurden Vergleichswerte zu den Parametern Wasserverbrauch, Energieverbrauch, Flächenverbrauch, Erstellungskosten, Betriebskosten und Wasserkosten berechnet. Darauf basierend konnten die Technologien verglichen werden. Die Stoffstromsysteme wurden auch auf ihre Eignung für einen Einsatz in Hotels geprüft. Im Vorfeld der Arbeit wurde der Wissensstand bei Fachpersonen anhand einer Umfrage bei Architekten ausgelotet. Gespräche mit Experten gaben Einblick in persönliche Einstellungen, Meinungen

---

<sup>97</sup> Reduzierter Einsatz in Deutschland ab 1992, beziehungsweise Ausbringungsverbot in der Schweiz ab 2006.

und weiterführende Aspekte zum Thema. Mehrere Experten waren der Meinung, dass vor dem Einbezug von dezentralen Sanitärsystemen die Potenziale zum Wassersparen, welche auf bis 40 % geschätzt wurden, ausgeschöpft werden sollten. Zur Planung von Projekten unter Einbezug eines schonenden Umgangs mit Wasser wurden folgende vier Massnahmen vorgeschlagen: 1.) effizienter Einsatz von Trinkwasser, 2.) Ressourcenschutz, 3.) Energie- bzw. Wärmerückgewinnung und 4.) Substitution von Trinkwasser. Der punktuelle Einsatz von Stoffstrom-Trennsystemen für Grossverbraucher wurde jedoch als sinnvoller Weg bezeichnet, um von "End-of-pipe"-Lösungen wegzukommen. Die praktische Erfahrung mit Trennsystemen war bei den Experten noch eher klein, da zur Zeit das durch öffentliche Fördergelder stimulierte Energiesparen im Fokus liegt. Neben zu tiefen Wasserpreisen wurden zu beantragende Sonderbewilligungen und unklare Zuständigkeiten der Behörden zwischen Bund, Kanton und Gemeinde für Pilotprojekte als Hindernis bezeichnet.

Bei den sechs untersuchten Systemen (S1 bis S6) handelte es sich um die folgenden<sup>98</sup>: S1) 1-Stoffstromtrennung (Schmutzwasser), S2) Schwarzwasser 2-Stoffstromtrennung (Grauwasser, Schwarzwasser), S3) Urintrennung 2-Stoffstromtrennung (Urin, Braun- und Grauwassergemisch), S4) Urintrennung 3-Stoffstromtrennung (Urin, Grau- und Braunwasser), S5) Fäkalien 2-Stoffstromtrennung, (Fäkalien aus Trockentoiletten und Grauwasser), S6) Urintrennung 3-Stoffstromtrennung (Urin und Fäzes aus Trockentoiletten und Grauwasser). Die Studie hat ergeben, dass für die Bestimmung einer geeigneten Technologie der zur Wiederverwendung beabsichtigte Stoff<sup>99</sup> ausschlaggebend ist.

Für S1 und S2 liegen Technologien vor, welche bereits gut entwickelt sind und sich auf dem Markt etabliert haben. Vom Benutzer wird keine Verhaltensänderung gefordert. Dies erleichtert ihren Einsatz in Hotels. S1 und S2 können als geeignete Systeme für Hotels betrachtet werden. Das mit einem "High Rate Anaerobic Reactor" (HRAR) betriebene Projekt P 1.4 wies auffallend viele Vorteile auf, ist aber für häusliche Abwässer in Mitteleuropa noch nicht erprobt. Die Sanitärprodukte und die Aufbereitungstechnologien für S3 und S4 stehen noch am Anfang der Entwicklung. Für deren Gebrauch werden Verhaltensänderungen verlangt (Urinieren im Sitzen, "zielen" bei der Fäkalienabgabe etc.). Viele Systemkomponenten befinden sich erst in der Pilotphase und müssen sich noch in der Praxis in einem grösseren Rahmen etablieren. Für S5 und S6 sind gut funktionierende Sanitärprodukte auf dem Markt. Allerdings werden auch bei trockenen Systemen Verhaltensänderungen vom Nutzer verlangt. Auch sind sie im Unterhalt arbeitsintensiver als Toiletten mit Wasserspülung. Um langfristig die Akzeptanz der Nutzer zu erhalten braucht es für den Einsatz von trockenen Systemen das Einverständnis der Nutzer. S5 und S6 sind allenfalls denkbar für stark auf die Na-

---

<sup>98</sup> Struktur der Bezeichnung: SX) Kurzname des Systems, danach offizieller Name des Systems, danach in Klammer die separat geführten Stoffströme. Siehe auch Tab. 3, S. 42.

<sup>99</sup> Die Wiederverwendung von Wasser und/oder die Rückgewinnung von Nährstoffen.

tur ausgerichtete Projekte wie beispielsweise Waldhotels. Die Hypothese, dass Hotels für eine kommerzielle Markteinführung von dezentralen Abwassersystemen geeignet sind, konnte somit nur teilweise bestätigt werden.

## 5.2 Schlussfolgerungen

### Neuartige Sanitärsysteme für Hotels

Es hat sich gezeigt, dass Hotels aufgrund ihres hohen Wasserverbrauchs grundsätzlich geeignet sind für den Einsatz von dezentralen Abwassersystemen. Aufgrund ihrer Ausrichtung auf den Kunden als Dienstleister verhalten sich Hoteliers jedoch eher risikoscheu und sind gegenüber neuen Entwicklungen im Sanitärbereich konservativ eingestellt. Daher sind für diese Branche vor allem Technologien zur Reduktion des Frischwasserverbrauchs von Interesse bei denen keine Komforteinbussen für den Hotelgast entstehen. Dies sind in erster Linie Wassersparmassnahmen, in zweiter Linie Aufbereitungsverfahren zur Wiederverwendung von Wasser (S1, S2). Für grosse Projekte kommen für diesen Zweck Membranbelebungs- und Biofilmverfahren in Frage, für kleine Projekte Pflanzenkläranlagen, HRARs und Hydrozyklone mit anschliessender Kompostierung der Feststoffe. Die Verwertung der Nährstoffe stellt für den Einsatz in Hotels zum heutigen Zeitpunkt noch eher ein Hindernis dar, da die benötigten Technologien und Sanitärprodukte noch nicht voll ausgereift sind. Auch können solche Anlagen bisher nicht wirtschaftlich betrieben werden.

### Das Umfeld

Um die Marktreife voranzutreiben, braucht es Übungsfelder für die neuen Technologien. Pilotprojekte können das Sammeln von Erfahrungen bei der Umsetzung solcher Systeme in der Praxis ermöglichen und helfen, Anfangsschwierigkeiten einer Technologie auszubessern. Dazu braucht es ein (durch den Staat gelenktes) förderliches Umfeld, welches einen flexibleren Umgang mit den gesetzlichen Bestimmungen ermöglicht als bisher. Es braucht ein klar definiertes, reibungsloses Prozedere zur Beantragung von Sonderbewilligungen und öffentliche Fördergelder zur Stimulierung solcher Pionierprojekte, da diese in der Regel teurer sind als konventionelle und somit kein Anreiz besteht solche Systeme einzusetzen. Weiter braucht es innovative Unternehmen, die es wagen, mit Produkten für die Stoffstromtrennung und mit Technologien zur Aufbereitung der Abwässer neue Wege zu begehen. Gleichzeitig braucht es mutige Bauherren und Planer, die bereit sind, Produkte einzusetzen, die noch in der Entwicklung stecken. Ebenfalls notwendig ist die Integration des Diskurses über dezentrale Abwassersysteme in der Lehre.

### Beitrag zum Thema

Erstmals wurden 16 Pilotprojekte mit sechs unterschiedlichen Stoffstromsystemen erfasst und anhand von quantitativen Parametern verglichen. Die Sanitärsysteme wurden auf ihre Eignung für Hotels überprüft, Handlungsempfehlungen wurden erarbeitet, wobei auch Nutzererfahrungen und Expertenmeinungen eingeflossen sind. In dieser Arbeit konnten einige Vergleichsparameter erhoben und ausgewertet<sup>100</sup>, weitere sollten erst noch ausgewählt<sup>101</sup> und beschrieben<sup>102</sup> werden. Weitere<sup>103</sup> könnten aus den Instrumenten zur Nachhaltigkeitsbewertung von dezentralen Abwassersystemen abgeleitet werden (siehe Anhang A, Nr. 9–12). Homogene Vergleichsdaten in den Projekten zu finden erwies sich als schwierig.

Diese Arbeit ist als Vermittlungsbeitrag zwischen Forschung/Entwicklung und der Praxis zu sehen. Die Resultate könnten für Planer und Berater, aber auch für Politiker als Entscheidungsgrundlage dienen bei der Gestaltung zukünftiger Abwassersysteme. Das Ziel, möglichst authentische Informationen direkt bei Projektbeteiligten einzuholen, konnte nicht überall erreicht werden. Einige Antworten für die Erhebungsbogen mussten durch Literaturrecherchen gefunden werden, andere Fragen blieben offen. Insgesamt konnten alle Forschungsfragen beantwortet werden, die Ergebnisse sind jedoch nur als erste Annäherung zu betrachten und sind durch weitere Vergleichsstudien zu überprüfen. Besser als nur die Parameter zu vergleichen, wäre die Erstellung einer Nachhaltigkeitsbewertung gewesen, die aber den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätte.

### Ausblick Wissenschaft

Vergleichsparameter und standardisierte Kernfragen zur Bewertung und Beschreibung von Pilotprojekten sind für weitere Vergleichsstudien noch zu definieren. Um vergleichbare Daten zu generieren, sollte in Zukunft bei allen Pilotprojekten ein Basis-Set an Parametern, welche mit projektspezifischen Parametern ergänzt werden könnten, erhoben werden. Von grossem Nutzen wäre eine Datenbank, anhand welcher Systeme und Technologien untereinander vergleichbar werden. Bei Forschungsprojekten ist die Erhebung und Veröffentlichung möglichst vieler Vergleichsdaten (der oben erwähnten Parametersets), die der Transparenz im weitläufigen Feld der dezentralen Abwassersysteme dienen wünschenswert. Für Nutzungen mit hohem Wasserverbrauch (z. B. für Hotels) sind weitere Forschungsprojekte notwendig. Ebenso sind praktische Konzepte für die, der dezentralen Abwasseraufbereitung nachgelagerten Schritte notwendig wie die Verteilung und Wiederverwendung der Nährstoffe.

---

<sup>100</sup> Ausgewertete Parameter: Wasserverbrauch, Energieverbrauch, Flächenverbrauch, Erstellungskosten, Betriebskosten und Wasserkosten.

<sup>101</sup> Zusätzliche Parameter: Wasser- und Energieverbrauch, Erstellungs- und Unterhaltskosten.

<sup>102</sup> Beispielsweise die Beschreibung der Kostenstruktur, der Aufgliederung, was inklusive/exklusive sein soll.

<sup>103</sup> Standardisierte Parameter zur Beurteilung der Wasserqualität und Fragen zur Akzeptanz.

## 6 QUELLENVERZEICHNISSE

### 6.1 Literaturverzeichnis

Das Literaturverzeichnis wurde mit EndNote X5 erstellt. Die Quellen für die Erfassungsbogen sind jeweils direkt auf den Formularen unter 9.0 (Bemerkungen) verzeichnet.

- Abegglen, C. (2005). *Haus ohne Abwasser*. *Tec*21(3-4/2005), 12-14. Zugriff: (28.01.2012)
- ARE. (2008). *Kapitalstockmodell*. Zugriff: (04.02.2012)  
<http://www.aren.admin.ch/themen/nachhaltig/00260/02008/index.html?lang=de>
- Ayuso, S. (2007). *Comparing Voluntary Policy Instruments for Sustainable Tourism: The Experience of the Spanish Hotel Sector*. *Journal of Sustainable Tourism*, 15(2), 15. Zugriff: doi: 10.2167
- Balkanwaste. *Anaerobic Digestion*. Zugriff: (02.02.2012)  
[http://www.wastedb.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=21&lang=en#6](http://www.wastedb.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=21&lang=en#6)
- Bauhaus-Universität. (2009). *Abwasserbehandlung. Gewässerbelastung, Bemessungsgrundlagen, mechanische Verfahren, biologische Verfahren, Reststoffe aus der Abwasserbehandlung, Kleinkläranlagen*. (3 ed.). Magdenburg: Docupoint GmbH.
- Berger, W./Lorenz-Ladener, C. (2008). *Kompost-Toiletten. Sanitärtechnik ohne Wasser* (1 ed.). Staufen bei Freiburg: Ökobuch.
- Bienz Septinus, D. (2009). *Abwasser als Ressource – Szenarien eines nachhaltigen Abwassermanagements in Basel*. Master, Universität, Basel
- Bouguerra, M. L. (2005, 10.06.2005). *Wie das Meer trinkbar wird. Entsalzung löst das globale Wasserproblem nicht, solange diese Grosstechnik eine äusserst negative Ökobilanz aufweist*. *Le Monde diplomatique*. , 10.06.2005.
- Burkhardt-Holm, P. (2010). *Water Resources Development*, 26(3), 477-493. Zugriff: (10.01.2012)  
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900627.2010.489298>
- Cakmakli, B. A. (2008). *The Importance of LCA and Service Life Prediction in Sustainable Design*. Artikel präsentiert an der: 11. DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components Istanbul-Turkey. (02.01.2012),  
<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB13234.pdf>
- Cordell, D./Dranger, J.-O./White, S. (2009). *The story of phosphorus: Global food security and food for thought*. *Global Environmental Change* (19), 292-305. Zugriff: (10.01.2012)  
[http://www.agci.org/dB/PDFs/09S2\\_TCREWS\\_StoryofP.pdf](http://www.agci.org/dB/PDFs/09S2_TCREWS_StoryofP.pdf)
- DIN\_4046. (1983). *Wasserversorgung; Begriffe; Technische Regel des DVGW*. Berlin.
- DWA. (2008). *Neuartige Sanitärsysteme* (1. ed.). Hennef: Deutsche Vereinigung für Abwasserwirtschaft und Abfall e.V.
- Eawag. (2007). *Mix oder NoMix? Urinseparierung unter der Lupe*. Eawag News. (28.01.2012)  
[http://www.novaquatis.eawag.ch/publikationen/eawag\\_news\\_D](http://www.novaquatis.eawag.ch/publikationen/eawag_news_D)
- Ebert, T./Essig, N./Hauser, G. (2010). *Zertifizierungssysteme für Gebäude: Nachhaltigkeit bewerten. Internationaler Systemvergleich, Zertifizierung und Ökonomie*. München.
- Ecologic\_Architecture. (2011). *Lübeck-Flintenbreite*. Zugriff: (12.01.2012) <http://ecologic-architecture.org/main/index.php?id=191>
- fbr. (2005). *Grauwasser-Recycling. Planungsgrundlagen und Betriebshinweise*. In F. B.-u. R. e. V. (fbr) (Ed.). Darmstadt.
- Flores, A. (2010). *Towards Sustainable Sanitation: Evaluating the Sustainability of Resource-Oriented Sanitation*. Dissertation, Cambridge, United Kingdom. Zugriff: (02.02.2012)

- [http://www.susana.org/docs\\_ccbk/susana\\_download/2-1172-en-towards-sustainable-sanitation-flores-2010.pdf](http://www.susana.org/docs_ccbk/susana_download/2-1172-en-towards-sustainable-sanitation-flores-2010.pdf)
- Frei, M. (2002, 17.10.2002). *Verbrauch (Wasser)*. Zugriff: (26.01.2012)  
<http://www.eawag.ch/news/trinkwasser/verbrauch.html>
- Freiberger, E. (2007). *Sustainability Evaluation of Sanitation Projects*. Master, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna.
- GSchG. (2006). *Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer*. Zugriff: (22.01.2012)  
<http://www.grimselestrom.ch/home/download/299>
- Hamele, H./Eckardt, S. (2006). *Umweltleistungen europäischer Tourismusbetriebe. Instrumente, Kennzahlen und Praxisbeispiele. Ein Beitrag zur nachhaltigen Tourismusentwicklung in Europa*. Saarbrücken.
- Herbst, H. B. (2008). *Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme* (1. ed. Vol. 213). Aachen.
- Herlyn, A./Maurer, M. (2007). *Zustand und Investitionsbedarf der Schweizer Abwasserentsorgung*. Redaktion "Schweizer Gemeinde", 11/07, 14-17.
- Hiessl, H./Hillenbrand, T. (2010). *DEzentrales Urbanes Infrastruktur System DEUS 21. Abschlussbericht*. Karlsruhe. F.-I. f. S.-u. Innovationsforschung. (12.12.2011)  
<http://publica.fraunhofer.de/documents/N-151574.html>
- Hillenbrand, T. (2009). *Analyse und Bewertung neuer urbaner Wasserinfrastruktursysteme*. Doktor, Fridericiana zu Karlsruhe, Karlsruhe
- Johannsson, M./Höglund, C./Jönsson, H./Rhode, L./Andersson, K./Torpe, M./Hellström, D. (2000). *Urine Separation - Closing the Nutrient Cycle. Final Report on the R&D Project. Source-separated Human Urine - A Future Source of Fertilizer for Agriculture in the Stockholm Region?* Stockholm. S. Vatten, Stockholmshem, H. N. Federation.
- Keysers, C./Gethke, K./Pinnekamp, J. (2008). *Grauwassernutzung im Hotel- und Gaststättengewerbe*. Artikel präsentiert an der: Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur, Nr.: 2, Aachen, Aachen.
- Kluge, T./Libbe, J. (2010). *Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft. Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser*. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik GmbH.
- Koziol, M./Veit, A./Walther, J./Pietzsch, K. (2006). *Stehen wir vor einem Systemwechsel in der Wasserver- und Abwasserentsorgung? Sektorale Randbedingungen und Optionen im stadttechnischen Transformationsprozess*. Analysemoduls „Stadttechnik“ im Forschungsverbund netWORKS. Berlin. D. I. f. Urbanistik.  
<http://www.difu.de/publikationen/difu-berichte-22006/forschungsprojekt-networks-systemwechsel-in-der.html>
- Kupper, T. (2008). *Belastung und Quellen organischer Schadstoffe im Klärschlamm und ihre Bedeutung im Zusammenhang mit dem Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung in der Schweiz. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 60(3), 45-54. Zugriff: (14.01.2012) doi: 10.1007/s00506-008-0151-4  
<http://dx.doi.org/10.1007/s00506-008-0151-4>
- Lai, J. H. K./Yik, F. W. H. (2008). *Benchmarking the Cost for Operating and Maintaining Engineering Facilities of Luxury Hotels in Hongkong*. Artikel präsentiert an der: CIB W070 Conference in Facilities Management, Heriot Watt University. (28.01.2012),  
<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB11932.pdf>
- Lange. (2000). *Vom Wassersparen zum Wasservermeiden. Variationen eines Themas*. Zugriff:
- Lange/Otterpohl, R. (2000). *Ökologie aktuell. Abwasser. Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft* Donaueschingen-Pföhren. M.-B. GmbH.
- Larsen, T. A./Lienert, J. (2007). *Novaquatis Abschlussbericht. NoMix – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft*. Dübendorf, Schweiz. (28.01.2012)  
[http://www.novaquatis.eawag.ch/publikationen/abschlussbericht\\_D](http://www.novaquatis.eawag.ch/publikationen/abschlussbericht_D)

- Laube, A./Vonplon, A. (2004). *Klärschlamm Entsorgung in der Schweiz. Mengen- und Kapazitätserhebung*. Bern. (14.12.11) [www.buwalshop.ch](http://www.buwalshop.ch)
- Longdong, J. (Ed.). (2009). *Neuartige Sanitärsysteme* (1. ed.). Weimar: Bauhaus-Universität Weimar.
- Lüthi, C./Panesar, A./Schütze, T./Norström, A./McConville, J./Parkinson, J./ . . . Ingle, R. (2011). *Sustainable Sanitation in Cities. A framework for action*. (1. ed.). Rijswijk: Papiroz Publishing House.
- Maurer, M./Pronk, W./Larsen, T. (2006). *Treatment process for source-separated urine*. [Review]. *Water Research*(40), 3151-3166. Zugriff: (04.02.2012) doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.07.012>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135406004039>
- Möllring, B. (2003). *Toiletten und Urinale für Frauen und Männer - die Gestaltung von Sanitäröbekten und ihre Verwendung in ffentlichen und privaten Bereichen*. Dissertation, Universität der Künste, Berlin
- OTS. (2011). *Abwasserreinigung in der Schweiz: Bessere Reinigung bei gleichbleibenden Kosten*. Zugriff: (01.02.2012)  
<http://www.presseportal.ch/de/pm/100051011/100708890/abwasserreinigung-in-der-schweiz-bessere-reinigung-bei-gleichbleibenden-kosten>
- Peter-Föhlich, A./Bonhomme, A./Oldenburg, M. (2007). *Sanitation Concepts for Separate Treatment of Urine, Feaces and Greywater (SCST) - Results*. Berlin.
- Pinnekamp, J./Günthert, F. (2010). *Produktionsintegrierte Umweltschutzmassnahmen im Hotel- und Gaststättengewerbe unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Bausubstanz. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben*. Aachen, München.
- Ronstedt, M./Frey, T. (2011). *Hotelbauten. Handbuch und Planungshilfe*. (1. ed.). Berlin: DOM Publishers.
- Ronteltap, M./Maurer, M./Gujer, W. (2007). *The behaviour of pharmaceuticals and heavy metals during struvite precipitation in urine*. *Water Research*(41), 1859-1968. Zugriff: doi: 10.1016
- Rothemberger, D. (2003). *Report zur Entwicklung des Versorgungssektors Wasser. Dynamik, Nachhaltigkeit und Gestaltung von Transformationsprozessen in der netzgebundenen Versorgung*. Kastanienbaum.
- Rudolph, K.-U./Schäfer, D. (2001). *Untersuchung zum internationalen Stand und der Entwicklung Alternativer Wassersysteme*. Bonn-Karlsruhe-Witten. B. f. B. u. F. (BMBF), F. K. GmbH.
- Sanbox. (2011). *Sanbox - The Idea*. Zugriff: (06.02.2012) <http://www.sandbox.info/index.htm>
- Schlesinger, R. (2003). *Dezentrale Abwasserentsorgung - neue Erkenntnisse, hygienische Aspekte*. Diplom Master, Fachhochschule Lausitz, Cottbus
- Schluep, M./Thomann, M./Häner, A./Gälli, R./Stucki, G. (2006). *Organische Mikroverunreinigungen und Nährstoffe. Eine Standortbestimmung für die Siedlungswasserwirtschaft*. Bern: Bundesamt für Umwelt. Zugriff: (12.11.2011) [www.umwelt-schweiz.ch/publikationen](http://www.umwelt-schweiz.ch/publikationen)
- Schmitt, T. (2007). *Qualitätstourismus auf Mallorca: Ballermann war besser*. Geowissenschaften Rubin. Zugriff: (02.02.2012) <http://www.ruhr-uni-bochum.de/rubin/geowissenschaften/pdf/beitrag3.pdf>
- Steinbach, D./Schultheis, A./Kranert, M. (2007). *Modulaare. Integrated modules for high efficient wastewater purification, waste treatment and regenerative energy recovery in tourism resorts*. Zugriff: (02.02.2012)  
[http://www.wastesolutions.org/fileadmin/user\\_upload/wastesolutions/S5P3\\_-\\_Steinbach.pdf](http://www.wastesolutions.org/fileadmin/user_upload/wastesolutions/S5P3_-_Steinbach.pdf)
- Störmer, E./Binz, C./Larsen, T./Maurer, M./Truffer, B./Gebauer, H. (2010). *Zukunft der dezentralen Wassertechnologien. Mögliche Massenmärkte und neue Lösungsansätze für die Zukunft dezentraler Wassertechnologien*.
- SuSanA. *Case Studies*. Zugriff: (02.02.2012) <http://www.susana.org/lang-en/case-studies>

- Tilley, E./Lüthi, C./Morel, A./Zurbrügg, C./Schertenleib, R. (2008). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
- Udert, K./Larsen, T./Gujer, W. (2006). *Fate of major compounds in source-separated urine*. *Water Science & Technology*, 54(11–12), 413–420. Zugriff: (22.11.2011) doi: 10.2166/wst.2006.921 <http://www.mendeley.com/research/fate-major-compounds-sourceseparated-urine/#page-1>
- Van der Vleuten-Balkema, A. (2003). *Sustainable Wastewater Treatment, developing a methodology and selecting promising systems*. Master, Technische Universität Eindhoven
- Villeroy\_&\_Boch/EnviroChemie/TU\_Kaiserslautern/Technische\_Universität\_Kaiserslautern/Friedrich-Willhelms-Universität, R./ap\_system\_engineering/Fraunhofer\_Institut. (2009). *Komplett, Water Recycling Systems. Abschlussbericht. Entwicklung und Kombination von innovativen Systemkomponenten aus Verfahrenstechnik, Informationstechnologie und Keramik zu einer nachhaltigen Schlüsseltechnologie für Wasser- und Stoffkreisläufe*. Karlsruhe.
- visum. (2011). *Wassermanagement in Hotels. Ein Blick hinter die Kulissen der Tourismusbranche*. Zugriff: (14.01.2012) [http://www.visumsurf.ch/cgi-bin/htmllearn.cgi?lesson=ww\\_quiz\\_hotel\\_i\\_de.dat](http://www.visumsurf.ch/cgi-bin/htmllearn.cgi?lesson=ww_quiz_hotel_i_de.dat)
- Von Münch, E. (2009). *Basic overview of urine diversion components (waterless urinals, UD toilet bowls and pans, piping and storage)*. Eschborn.
- Von Münch, E. (2012). *Worldwide list of 324 documented ecosan projects by various organisations*. Zugriff: (02.02.2012) [www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=1423](http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=1423)
- Von Münch, E./Winker, M. (2011). *Technology review of urine diversion components. Overview of urine diversion components such as waterless urinals, urine diversion toilets, urine storage and reuse systems*. Eschborn. D. G. f. i. Z. (GIZ). <http://www.giz.de/Themen/en/SID-108FF055-724620EC/9397.htm>
- VSA. (2012). *Grauwasser*. Zugriff: (25.01.2012) <http://www.vsa.ch/glossar/term/Grauwasser/>
- Waggoner, L. S. (2011). *Falling Water*. Zugriff: (27.10.2011) <http://www.clivusmultrum.eu/utomlandseng.asp>
- Wasserwissen. (2011). *Dezentrale Abwasserentsorgung*. Zugriff: (14.12.2011) [www.wasserwissen.de/abwasserlexikon/d/dezentraleabwasserentsorgung.htm](http://www.wasserwissen.de/abwasserlexikon/d/dezentraleabwasserentsorgung.htm)
- WCED. (1987). *Our Common Future*. New York: Oxford University Press.

## 6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Schicksal der Teilströme des häuslichen Abwassers.....	27
Abb. 2 Durchschnittlicher privater Wasserverbrauch pro Person .....	28
Abb. 3 Pro Person täglich anfallende Frachten für die Teilströme Urin, Fäzes und Grauwasser .....	29
Abb. 4 Erneuerungszyklus der Kanalisation .....	31
Abb. 5 Schemaschnitt durch Trockentoilette mit Kompostcontainer.....	33
Abb. 6 Löslichkeitsverhalten von Phosphor und Calcium .....	34
Abb. 7 Frischwasseranteil bei Grauwassernutzung.....	67
Abb. 8 Negative Dynamik bei der Einführung von neuen Produkten. ....	75

## 6.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Anteile am durchschnittlichen Wasserverbrauch pro Person und Tag.....	28
Tab. 2 Pro Person täglich anfallende Frachten für die Teilströme Urin, Fäzes und Grauwasser .....	30
Tab. 3 Überblick über die sechs Systeme anhand der Teilströme .....	42
Tab. 4 Aufbau der Stoffstromsysteme (Prozessschritte/Komponenten) .....	43
Tab. 5 Gegenüberstellung der Eigenschaften der Systeme .....	46
Tab. 6 Gegenüberstellung der Eigenschaften der Systeme, Teil 2.....	47
Tab. 7 Gängige Leitungsquerschnitte der einzelnen Zu- und Ableitungen .....	51
Tab. 8 Aufbau der Projekte, Systemkomponenten .....	54
Tab. 9 Gegenüberstellung der Vergleichswerte aus den Pilotprojekten (Benchmarks) .....	56
Tab. 10. Nutzerakzeptanz: Übersicht über die Bemerkungen zu den Fragen.....	62
Tab. 11 Infrastruktur von Stadthotels bezogen auf die Hotelklasse .....	63
Tab. 12 Wasserverbrauch nach Hotelklasse.....	64
Tab. 13 Anteile des spezifischen Verbrauchs am Gesamtverbrauch .....	64

