

Möglichkeiten der Abwasserentsorgung im ländlichen Raum am Beispiel der westlichen Ukraine

Diplomarbeit

Von

Zhao, Huixiang

Matrikel Nr. 2981769

Bearbeitungszeitraum: 15.01.2010 bis 31.08.2010

Abgabedatum: Dresden, 30.08.2010

Verantwortlicher Hochschullehrer:

Prof. Dr.-Ing. Peter Krebs

Betreuer: Dr.-Ing. Jens Tränckner

Dipl. -Ing. Björn Helm

Technische Universität Dresden
Fakultät Forst-, Geo, Hydrowissenschaften
Fachrichtung Wasserwesen Institut für Siedlungs- und
Industriewasserwirtschaft

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ich bin mir bewusst, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Dresden, 30. August, 2010

Zhao,Huixiang

Diplomarbeit

Zhao, Huixiang

Möglichkeiten der Abwasserentsorgung im ländlichen Raum am Beispiel
der westlichen Ukraine

Technische Universität Dresden

Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften

73 Seiten– 22 Abbildungen– 23 Tabellen– 80 Quellen

im Anhang: 11 Tabellen

Autorenreferat

In der vorliegenden Arbeit wird der Stand an Wasserinfrastrukturen in der Ukraine, sowie 41 ausgewählte Einzelkomponenten eines Sanitärsystems charakterisiert. Das Sanitärsystem besteht aus Toilette, Sammlung- und Vorbehandlung, Transport, weitergehende Behandlung und Entsorgungsweg. Sie sind für den Einsatz im ländlichen Raum potentiell geeignet und werden auf ihre Anforderungen und Reinigungsleistung geprüft und bewertet. Durch Kombination der Komponenten werden fünf Basissysteme gebildet und durch die Berechnung der Basissysteme werden vier Lösungen für Haushalts- sowie Gemeinschaftsebene ausgewählt und umgesetzt.

Mit einer Materialflussanalyse wurde die gewählten Sanitärsysteme überprüft und bewertet. Die Lösungen können langfristig die lokalen Wasserressourcen schützen und die Nährstoffe aus Abwasser rückgewinnen, sowie diese in der Landwirtschaft wiederverwenden.

Thesen

1. Der Anschlussgrad an Wasserinfrastrukturen in der westlichen Ukraine ist auf einem relativ niedrigen Niveau, vorallem im ländlichen Raum.
2. Das nicht oder nicht vollständig geklärt Abwasser wird in die Vorfluter eingeleitet, dadurch werden die natürlichen Gewässer stark verschmutzt.
3. Für den ländlichen Raum gibt es spezielle Anforderungen an die Klärverfahren, so dass die Lösungen nachhaltige sind.
4. Die Technologie- Bewertungstabellen kann als Entscheidungshilfe bei der Auswahl der Sanitärsystemkomponenten und Sanitärsystemplanung dienen.
5. Die Lösungen werden durch Materialflussanalysen überprüft.
6. Die Rückgewinnung von im häuslichen Abwasser enthaltenen Nährstoffen und deren Wiederverwendung in der Landwirtschaft sind die wesentliche Entscheidungshilfe bei der Auswahl von Sanitärsystemen. Wichtige ist, dass die Klärschlammverwertung sichergestellt wird.
7. Wesentliche Bedingungen für die Technologieauswahl von Sanitärösungen im ländlichen Raum sind ein einfacher Aufbau, einfache Steuerung, preiswertes Gesamtkonzept und ein robuster Betrieb.

DANKSAGUNG

Ich möchte mich hiermit bei all denen Bedanken, die mich während meiner Studienzeit und der Anfertigung meiner Diplomarbeit unterstützt haben.

Dieser Dank gilt besonders meinem Prof. Dr. Peter Krebs und meinem Betreuer Dr.-Ing. Jens Tränckner, Dipl. -Ing. Björn Helm vom Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft an der TU Dresden. Herzlichen vielen Dank für Ihre Hilfe und Engelsgeduld zu einer ausländischen Studentin.

Dieser Dank gilt besonders auch meinen Eltern und meinem Freund Nandifu. Herzlichen vielen Dank für euere Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Einführung	2
2.1 Geographische und hydrologische Charakterisierung	2
2.1.1 Geographie und Vegetation	2
2.1.2 Klima	3
2.1.3 Gewässerzustand.....	4
2.2 Politik, Ökonomie und Bevölkerungsentwicklung.....	4
2.2.1 Politik und Ökonomie	4
2.2.2 Bevölkerungsentwicklung	5
2.3 Zustand der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung	5
2.3.1 Wasserversorgung.....	5
2.3.2 Allgemeine Situation der Abwasserentsorgung in der Ukraine.....	7
3. Sanitärsystem-Planung im ländlichen Raum.....	11
3.1 Menge und Zusammensetzung des häuslichen Schmutzwassers.....	11
3.1.1 Merkmale des Abwasser im ländlichen Raum	11
3.1.2 Entstehung und Mengen des häuslichen Abwassers.....	11
3.1.3 Merkmale von Urin, Fäkalien und Grauwasser	12
3.1.4 Abwasseranfall im ländlichen Raum	13
3.1.5 Entfernung von Pathogenen in Fäzes und Urin	13
3.2 Komponenten.....	14
3.2.1 Übersicht über die Toilette	14
3.2.2 Übersicht über die Sammlung und Vorbehandlung.....	16
3.2.3 Übersicht über den Transport	21
3.2.4 Übersicht über die weitergehenden Behandlungsverfahren	23
3.2.5 Übersicht über die Entsorgung	33
4. Bewertung der Technologien.....	37
4.1 Bewertungskriterien	37

4.1.4 Naturräumliche Aspekte	37
4.1.2 Soziologische und kulturelle Aspekte.....	38
4.1.3 Ökonomische und finanzielle Aspekte	39
4.1.4 Logistik/Transport Aspekt	40
4.1.5 Technische Aspekt.....	41
4.1.6 Politische bzw. institutionelle Aspekte	42
4.1.7 Wiederverwendungsaspekt	43
4.2 Bewertung der Technologiekomponenten	44
4.2.1 Klassifizierung der einzelnen Bewertungskriterien.....	44
4.2.2 Bewertung der Systemkomponenten	49
5. Systemauswahl	54
5.1. Beschreibung der Basissystem.....	54
5.1.1 Trockentoilette-System	54
5.1.2 Spültoilette-System	56
5.2 Beschreibung der ausgewählte System.....	60
5.2.1 Variante 1: Trockentoilette	60
5.2.2 Variante 2: Trockentoilette mit Urintrennung	63
5.2.3 Variante 3: einfache Spültoilette.....	65
5.2.4 Variante 4: Spültoilette	68
5.3 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse der Sanitärösungen.....	71
6 Schlussfolgerungen	72
Literaturverzeichnis	74
Anhang I	80
Anhang II	85
Anhang III.....	89

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte der Ukraine.....	2
Abbildung 2: Wasserverbrauch ukrainischer Städte in Liter pro Einwohner und Tag	7
Abbildung 3: Zusammensetzung des häuslichen Abwassers	12
Abbildung 4: Toilette.....	15
Abbildung 5: Doppelgruben für Spültoilette, Dehydratationskammern ...	19
Abbildung 6: Absetzgrube/Faulgrube (Septic Tank).....	19
Abbildung 7: Aufbau und Funktion vertikal und horizontal durchströmter Pflanzenkläranlagen.....	25
Abbildung 8: Belebtschlammverfahren im Durchlaufbetrieb	26
Abbildung 9: Prozessfolge beim SBR-Verfahren	27
Abbildung 10: Fließschema einer Tropfkörperanlage.....	28
Abbildung 11: Schematischer Aufbau eines Unbepflanzte Trockenbeete	31
Abbildung 12: Schematischer Aufbau eines bepflanzte Trockenbeete	32
Abbildung 13: Kostenschätzungen für verschiedene Komponenten der Sanitärsystem und Technologieoptionen.....	39
Abbildung 14: Übersicht möglicher Komponenten für Trockentoilette- System.....	55
Abbildung 15: Übersicht möglicher Komponenten für Trockentoilette ...	56
Abbildung 16: Übersicht möglicher Komponenten für Einfach Spültoilette- System.....	57
Abbildung 17: Übersicht möglicher Komponenten für Trockentoilette- System.....	58
Abbildung 18: Übersicht möglicher Komponenten für Spülkasten Toilette	59
Abbildung 19: Fließschema Variante 1	60
Abbildung 20: Fließschema Variante 2.....	63
Abbildung 21: Fließschema Variante 3.....	65
Abbildung 22 Fließschema Variante 4.....	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Durchschnittstemperatur und -Niederschlag in der Ukraine	3
Tabelle 2 Wassernutzung im ukrainischen Teil des Bug-Einzugsgebietes ...	6
Tabelle 3 Verteilung der Schadstofffrachten nach Punkt- und diffusen Quellen (Bug-EZ).....	9
Tabelle 4 Direkteinleitung gereinigten Abwassers in Oberflächengewässer	10
Tabelle 5 Hygienische Anforderungen an die Ablaufqualität.....	10
Tabelle 6 Zusammensetzung von Urin und Fäzes in Deutschland.....	13
Tabelle 7 Notwendige Lagertemperatur und Lagerdauer zur Hygienisierung von Fäzes und Urin	14
Tabelle 8 Toilettentypen im Vergleich	16
Tabelle 9 Vorteile und Nachteile der Absetzgrube, ABR und Absetzgrube mit anaerobem Filter	20
Tabelle 10 Vergleich der Vor- und Nachteile.....	22
Tabelle 11 Vergleichung von weiteren Behandlungsverfahren für Flüssigphase	30
Tabelle 12 Bewertung von Behandlungsverfahren für Festphase	33
Tabelle 13 Bewertung von Entsorgung für Flüssigphase	34
Tabelle 14 Bewertung von Entsorgung für Festphase	36
Tabelle 15 Bewertung der Toilette.....	49
Tabelle 16 Bewertung für Transport.....	50
Tabelle 17 Bewertung der Komponenten für Sammlung und Vorbehandlung	51
Tabelle 18 Bewertung der Komponenten für Weitergehende Behandlungs- verfahren	52
Tabelle 19 Bewertung der Entsorgung.....	53
Tabelle 20 Ergebnisse der Materialflussanalyse von Variante 1	62
Tabelle 21 Ergebnisse der Materialflussanalyse von Variante	64
Tabelle 22 Ergebnisse der Materialflussanalyse von Variante 3	67
Tabelle 23 Ergebnisse der Materialflussanalyse von Variante 4	70

Abkürzungen

%	Prozent
a	Jahr
AFS	abfiltrierbare Stoffe
ATV	Abwassertechnische Vereinigung e. V.
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
cm	Zentimeter
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
d	Tag
E	Einwohner
F	Fracht [g/E*d]
g	Gramm
GDP	Gross Domestic Product
ha	Hektar
K	Kalium
k.A	Keine Angabe
kg	Kilogramm
kWh	Kilowattstunde
L	Liter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MBR	Membrane- Bio- Reactor
mg	Milligramm
ml	Milliliter
mm	Millimeter
N	Stickstoff
N _{ges}	Gesamt- Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ -N	Ammonium
P	Phosphor
PKA	Pflanzenkläranlagen
SBR	Sequencing Batch Reactor
t	Tonne
T	Temperatur
TS	Trockensubstanz
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
WHO	World Health Organization

1. Einleitung

“Independent of the type of toilets provided, interventions including the whole water and sanitation system are important to improve the health situation.”(Schönning, Stenström, 2004)

Durch nicht gereinigtes Abwasser können mehrere gravierende Probleme entstehen:

- Belastung von Trinkwasserquellen (Krankheitserreger, Nitratproblematik),
- Beeinträchtigung der Wohn- und Erholungsqualität durch Geruchsbelästigung,
- Verschlechterung der Gewässergüte und Änderungen in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften. (Traunmüller 1998)

In der westlichen Ukraine ist die Abwasserentsorgung auf einem relativ niedrigen Niveau, vorallem im ländlichen Raum. Die Planung eines an die Einwohner angepassten Sanitärsystems, die Rückgewinnung von im häuslichen Abwasser enthaltenen Nährstoffen und deren Wiederverwendung in der Landwirtschaft sind die Hauptschwerpunkte meiner Diplomarbeit.

Die folgende Arbeit stellt potentiell geeignete Systemkomponenten zusammen. Nach deren Bewertung werden die besten Systemkomenten ausgewählt und zusammengesetzt.

2. Einführung

Die Ukraine liegt in Osteuropa, sie ist nach Russland das flächenmäßig zweitgrößte Land Europas, mit einer Fläche von 603.700 km². Die Hauptstadt ist Kiew. Die Ukraine hat 45.994.287 Einwohner(2008) und die Bevölkerungsdichte beträgt 78 Einwohner/ km².



Abbildung 1: Übersichtskarte der Ukraine

(Wikipedia 2005)

2.1 Geographische und hydrologische Charakterisierung

2.1.1 Geographie und Vegetation

Der größte Teil der Ukraine (ca. 95%) liegt auf dem Gebiet der Osteuropäischen Ebene, die restlichen 5% gehören zu Mitteleuropa (die Karpaten und Lemberg) und Südosteuropa (Odessa und die Halbinsel Krim). Im Norden und Süden auf der Osteuropäischen Ebene gibt es große Tiefländer wie etwa das Dneprtiefland und die Schwarzmeersenk. Die Ukraine unterteilt sich in folgende Nutzflächen: Wald

15,9%, Landwirtschaft 53,9%, Weide 10,7%, sonstige 19,5%. Ukraine sind knapp 16% der Fläche bewaldet. Die Baumarten sind Buchen, Kiefern, Birken, Espen, Eichen, Erlen, Eschen und Ahorn. Die natürlichen Bedingungen der Ukraine, wie die fruchtbaren Schwarzerboden, das milde Klima sowie ausreichende Niederschläge, eignen sich gut für die Landwirtschaft. Die wichtigste Nutzpflanze ist der Weizen. Neben ihm wird aber auch viel Roggen, Gerste, Kartoffeln, Mais und vor allem Buchweizen angebaut.

2.1.2 Klima

Tabelle 1 Durchschnittstemperatur und -Niederschlag in der Ukraine

(wikipedia u. BUG – Report No.1)

	Temperatur (°C)		Niederschlag (mm)
	Winter	Sommer	
Prypjatsumpfgebiet	k.A	17-19	500-750
Waldsteppenzone(Süden und Südosten)	-7	20	350-400
Steppenzone(Südosten)	k.A	23	250
Halbinsel Krim und im südwestlichen Bessarabien	2-4	20	500
Das Einzugsgebiet des Bug	-4-5	18-19	700-800

Die Ukraine liegt zwischen dem 44. Und 52. Nördlichen Breitengrad. Zusätzlich zu den Küstenregionen auf der Halbinsel Krim und im südwestlichen Bessarabien hat sie ein subtropisches Klima. Wohningegen der Großteil des Landes zum gemäßigt-kontinentalen Klima zählt. In der Ukraine betragen die mittleren Temperaturen in den Wintermonaten -7 bis 2 °C, während die mittleren Temperatur im sommer zwischen 17 und 23 °C liegen. Die jährliche durchschnittliche Niederschlagsmenge nimmt von Westen und Nordwesten nach Südosten und Süden ab. Die maximale jährliche Niederschlagsmenge in den Karpaten kann bis zu 2.000

mm und in der südlichen Region ca. 500 mm erreichen. Allerdings treten in der Ukraine alle 2-3 Jahre Trockenperioden auf, welche negative Auswirkungen auf die Landwirtschaft haben.

2.1.3 Gewässerzustand

In der Ukraine wird ein Volumen von 10,9 Mrd.m³/a direkt in die Oberflächengewässer eingeleitet, dies entspricht 13% des hydraulischen Gesamtabflusses. Von den Einleitungen entfallen 35% auf die Abläufe kommunaler Kläranlagen, 58% auf die Industrie und 7% auf die Landwirtschaft(Dr. Hettler & Partner 2004).

Wasserqualität der Oberflächengewässer

Im BUG – Report No. 2 wurde die Wasserqualität des Flusses Bug beschrieben. Aufgrund der Einleitung unzureichend oder ungereinigter Abwässer aus Punktquellen, sowie von Schadstoffen aus diffusen. Quellen, neigt der Bug zu starken Eutrophierungen und ist sehr verunreinigt. Die Abwässer enthalten hohe Konzentrationen an Chlorophyll-a, Nitrit, Phosphorverbindungen, Schwebstoffe und Coli-Bakterien.

2.2 Politik, Ökonomie und Bevölkerungsentwicklung

2.2.1 Politik und Ökonomie

In der ehemaligen Sowjetunion werden Versorgungsunternehmen durch staatliche Subventionen, niedrige Energiekosten und schwache Umweltschutzaufgaben verstreben. Obwohl die Versorgungsunternehmen ineffizient hinsichtlich des Deckungsbeitrages arbeiteten, war die Qualität der Dienstleistungen auf einem zufriedenstellenden Niveau. Seit dem erfall der Sowjetunion verschlechterte sich die Situation im Versorgungs- und Entsorgungssektor deutlich. „Der

Investitionsbedarf zur Instandhaltung und Modernisierung der ukrainischen Wasserwirtschaft bis zum Jahr 2012 wird von der Weltbank auf insgesamt 7 Milliarden U.S.Dollar geschätzt, wobei ca. 60 % auf die Wasserversorgung und 40% auf die Abwasserentsorgung entfallen“ (Dreberis GmbH 2008). In der Wasserversorgung wird der Investitionsbedarf mit 72% im Netz (inkl. der Installation von Wasserzählern), 15% für die Aufbereitung, 9% für Pumpentechnik und 4% für Anlagen zur Wasserentnahmen geschätzt. In der Abwasserentsorgung wird der Investitionsbedarf im Kanalnetz (55%), bei den Kläranlagen (42%) und der Pumpentechnik (3%) unterteilt(Dreberis GmbH 2008).

Die GDP (Gross Domestic Product) Gesamtsumme der Ukraine betrug im Jahr 2009 117,052 Millionen U.S.Dollar und das durchschnittliche Pro-Kopf-Einkommen lag bei 2,537 U.S.Dollar (Statistikbehörde der Ukraine 2009). Der landwirtschaftliche Produktionswert in der Ukraine betrug 10% der GDP.

2.2.2 Bevölkerungsentwicklung

In der Ukraine sind 130 Nationalitäten vertreten, wovon 77,8 % der Bevölkerung Ukrainer und 17,3% Russen sind.

In den letzten Jahren gab es in der Ukraine ein negatives Bevölkerungswachstum. Bis 2008 hatte die Ukraine 45.994.287 Einwohner, von denen 68% in der Stadt bzw. in Gemeinden und 32% im ländlichen Raum lebten.

2.3 Zustand der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung

2.3.1 Wasserversorgung

Der Trinkwasseranschlussgrad der Bevölkerung in der Ukraine liegt bei 70%. In den Städten sind 83% der Einwohner an eine zentrale Trinkwasserversorgung

angeschlossen, auf dem Land sind es nur 26%. Die Wasserversorgung weist eine unzureichende Wasserqualität auf; 11 Mio. Einwohner (d.s. 23% der Bevölkerung) in den Kleinstädten und im ländlichen Raum benutzen Brunnen und offene Gewässer als Trinkwasserquelle, welche eine sehr schlechte Wasserqualität aufweisen(Dreberis GmbH 2008).

Wassernutzung

Grundwasser ist die wichtigste Quelle für die Wassernutzung in der Westukraine, folgende Tabelle zeigt die Wassernutzung im ukrainischen Teil des Bug-Einzugsgebietes:

Tabelle 2 Wassernutzung im ukrainischen Teil des Bug-Einzugsgebietes

	Wasserbedarf Mio. m ³ /a	
Trinkwasser (Haushalte)	55.2	Grundwasser (zu 100 %)
Industrie	13.1	Grundwasser (zu 50 %) Oberflächenwasser (zu 50 %)
Landwirtschaft	13.9	(keine Angaben)
Fischteiche/Fischzucht	2.8	(keine Angaben)

Wasserverbrauch

Im Jahr 2007 betrug der durchschnittliche kommunale Wasserverbrauch in den Städten 283 l/E·d, dies liegt deutlich höher über dem der EU (100-200 l/E·d). Folgende Abbildung zeigt einen Überblick über den Wasserverbrauch unkrainischer Städte.

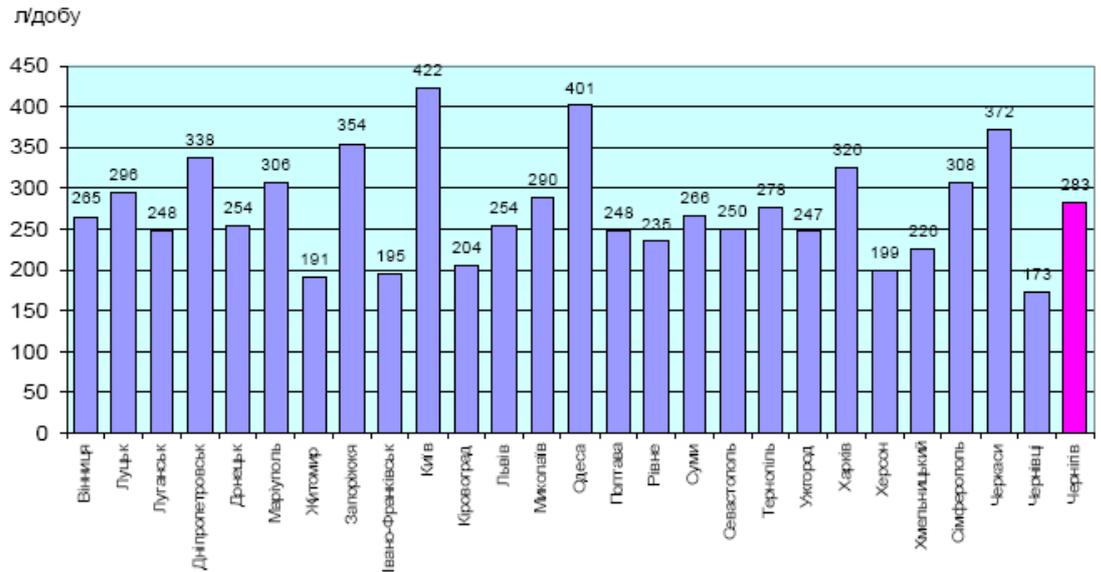


Abbildung 2: Wasserverbrauch ukrainischer Städte in Liter pro Einwohner und Tag(Skin, Oleksandr Mihajlovyc 2007)

Der durchschnittliche Wasserverbrauch der Bevölkerung für Trink- und Haushaltszwecke im ukrainischen Teil des Bug-Einzugsgebietes wird mit 192 l/E*d angegeben(BUG – Report No. 2).

In ländlichen Raum wird für den häuslichen Wasserverbrauch folgendes festgehalten: „Auf dem Lande (auch in den hochentwickelten Ländern) ist der Wasserbedarf viel geringer und geht größtenteils nicht über 100-200 l hinaus“ (TÖLGYESSY & PIATRIK 1990: S. 263).

2.3.2 Allgemeine Situation der Abwasserentsorgung in der Ukraine

In der Ukraine sind 53% der Bevölkerung an eine zentrale Kanalisation angeschlossen: in den Städten entspricht der Anschlussgrad 74% der Bevölkerung, im ländlichen Raum liegt er bei nur 9%(DI Nathalia Kisliakova 2006).

In der Ukraine sind 25% der bestehenden Kläranlagen sanierungsbedürftig und 1/3 der kommunalen Abwässer werden nicht gereinigt(DI Nathalia Kisliakova 2006).

Deshalb Bau und Rekonstruktion von kommunalen Kläranlagen ist wichtig. Viele der Kläranlagen wurden in den 1960er und 1970er Jahren gebaut (BUG – Report No. 2), so dass die Anlagen schon alt sind. Seit dem Bau wurden in den technischen Anlagen (Kanalisation und Kläranlagen) keine Instandhaltungs- oder Sanierungsarbeiten durchgeführt, deshalb die Reinigungsleistung der Kläranlagen ist verschlechterung. Zudem ist der größte Teil des in die Vorfluter eingeleiteten kommunalen Abwassers nicht oder nicht vollständig geklärt, was zu einer starken Verschmutzung der natürlichen Gewässer führt. (Dr. Hettler & Partner 2004)

Zur Zeit gibt es zwei Schwerpunkte der Abwasserwirtschaft in der Ukraine:

- 1) Aufbau der modernen Schlammbehandlungsanlagen
- 2) Energieeinsparung durch Umbau der Kläranlagen und Pumpwerken

Abwassereinleiter

In der Westukraine werden große Mengen an Abwasser, die nicht oder nur wenig gereinigt sind, in die Flüsse eingeleitet. Zum Beispiel werden im Flusseinzugsgebiet des Bug jährlich ca. 200.000 m³ Abwasser in den Bug bzw. seine Nebenflüsse eingeleitet (BUG – Report No. 2).

Das unzureichend gereinigte Abwasser kommt aus zwei Hauptquelle:

Punktquellen: aus kommunale Kläranlagen

In den meisten Fällen werden häusliches Schmutzwasser, Abwasser aus Industrie- und Gewerbebetrieben und Niederschlagswasser in den vorhandenen kommunalen Kläranlagen gereinigt. Die Kläranlagen wurden ohne spezielle Technologie um die Nährstoff (Stickstoff und Phosphor) zu reduzieren, dies führte zur Eutrophierung der Flüsse.

Diffuse Quellen: aus der Landwirtschaft

Die Gewässerbelastung aus diffusen Quellen ist ein Hauptverursacher, die

Hauptquellen sind:

- 1) Die Anwendung von natürlichen und künstlichen Düngemitteln sowie von Pflanzenschutzmitteln erhöht die Belastung der Gewässer mit Stickstoff und Phosphor sowie mit zum Teil biologisch schwer abbaubaren Chemikalien.
- 2) Unsachgemäße Lagerung bzw. Umgang mit dem natürlichen Dünger aus der Viehzucht kann als eine wesentliche diffuse Quelle der Gewässerbelastung angesehen werden.
- 3) Die Haushalte, die nicht an ein Abwasserentsorgungssystem angeschlossen sind, sind eine weitere wesentliche Quelle der diffusen Quellen der Gewässerbelastung.

Tabelle 3 Verteilung der Schadstofffrachten nach Punkt- und diffusen Quellen (Bug-EZ) (BUG – Report No.2)

	aus Punktquellen	aus diffuse Quelle		gesamt(100%)
	t/a	t/a	100%	t/a
Stickstoff N _{ges.}	426	2.231	84	2.657
Phosphor P _{ges.}	271	576	68	847

Die BSB-Konzentration im Zulauf zur Kläranlage liegt in ukrainischen Kommunen oftmals im Bereich zwischen 150 bis 250 mg/l.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die wichtigsten Parameter, die die Basis für die Einleitgenehmigung darstellen (zum Vergleich: Deutschland und EU):

Tabelle 4 Direkteinleitung gereinigten Abwassers in Oberflächengewässer

Grenzwert	CSB	BSB ₅	abfiltrierbare Stoffe(TSS)
Ukraine: bis 1999 gültig	30mg/l	6mg/l	6mg/l
Ukraine: seit 1999 gültig ¹	80	15mg/l	15mg/l
Deutschland: gültig für ² Größenklasse 5 (> 100.00 EW)	75	15mg/l	--
EU-Richtlinie 91/271/EWG ³ (prozentuale Mindestverringierung)	125mg/l (75%)	25mg/l (70-90%)	35mg/l (90%)

Tabelle 5 Hygienische Anforderungen an die Ablaufqualität

(Heinss, Strauss et al. 1997)

	Gewässereinleitung in Oberflächewasser	Bewässerung von Gemüse	Feststoffe in Landwirtschaftliche Nutzung
Helminthen- Eier (Anzahl/L)	≤ 10	≤ 1	$\leq 3- 8/g$ TS
Fäkal-Coliforme (Anzahl/100ml)	$\leq 10^5$	$\leq 10^3$	sicher, wenn Eier-Standard erreicht

¹ Ukraine: weiterhin keine generellen Grenzwerte für Stickstoff und Phosphor

² Grenzwerte für Stickstoff und Phosphor gelten generell (NH₄-N 10 mg/l, Nges 10 mg/l, Pges 1 mg/l)

³ EU: Bei Ausweisung des Vorfluters als sog. empfindliches Gebiet müssen Grenzwerte für Stickstoff und Phosphor eingehalten werden.

3. Sanitärsystem-Planung im ländlichen Raum

3.1 Menge und Zusammensetzung des häuslichen Schmutzwassers

3.1.1 Merkmale des Abwasser im ländlichen Raum

Das Abwasser im ländlichen Raum besteht aus Spül- und Waschwasser, Wasser zur Spülung von Gemüse, Badegewässern und menschlichen Ausscheidungen. Im Allgemeinen gibt es keine toxische Stoffe, aber meist viel Stickstoff, Phosphor und andere Nährstoffe, sowie eine Menge von Bakterien, Viren und Parasiteneiern.

Das Abwasser hat die folgenden Merkmal und Problem:

- Das Abwasserverteilung stärker dezentralisiert, und sehr breit angelegt, Pipeline-Kontrolle über das System ist nicht perfekt, umfangreichen Emissionen, wenig oder gar keine Kläranlagen.
- Das Niveau der ländlichen Wasserversorgung ist niedrig und der Abwasser Durchfluss ist kleinen, aber mit großen Variationskoeffizient.
- Die Abwasser-Komponenten sind komplex, aber desto geringer ist die Konzentration der verschiedenen Schadstoffe, wird das Abwasser eine starke verschmutzen.

3.1.2 Entstehung und Mengen des häuslichen Abwassers

Im Allgemeinen wird das häusliches Abwasser vom Schmutzwasser, Regenwasser, Mischwasser(aus Schwarzwasser und Regenwasser) und Fremdwasser unterschieden.

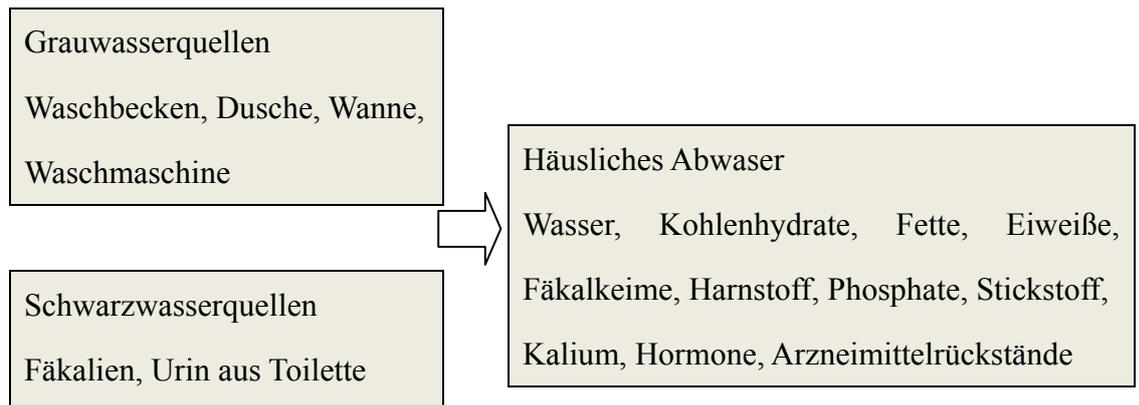


Abbildung 3: Zusammensetzung des häuslichen Abwassers

(Bahlo et al. 1996, S.9; Otterpohl et al. 1999, S.11)

3.1.3 Merkmale von Urin, Fäkalien und Grauwasser

Fäkalien: besteht aus organischen Stoffen, Nährstoffen und Spurenelementen, Die Hygienisierung ist notwendig, da möglicherweise eine Reihe von Krankheitserregern enthalten sind, welche zu über das Wasser übertragbare Krankheiten führen können (z. B. Bakterien, Viren, Protozoen, Nematoden, wormeggs). Fäkalien können die Bodenqualität verbessern.

Urin: enthält den größten Teil der Nährstoffe und nur sehr wenig organische Stoffe. Er kann Hormone oder Arzneimittelrückständen enthalten, ist prinzipiell keimfrei, weswegen eine Hygienisierung nicht notwendig ist.

Grauwasser: besteht aus vielen verschiedenen Substanzen und enthält normalerweise keine Nährstoffe. Es ist der volumetrisch größte Teil des Abwassers. Normalweise ist eine Hygienisierung nicht notwendig.

Schwarzwasser ist die Mischung aus Urin und Kot, zusammen mit Anal Reinigung Wasser und / oder trockenem Reinigungsmaterial (z. B. Toilettenpapier). Schwarzwasser enthält alle Erreger der Fäkalien und alle Nährstoffe des Urins. Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Überblick über die Stickstoff- und Phosphorgehalte in Urin und Fäzes in Deutschland.

Tabelle 6 Zusammensetzung von Urin und Fäzes in Deutschland
(Clemens, Daebel et al. 2008)

	Einheit	Urin	Fäzes	Grauwasser
Volumen	L/(E·d)	1.37	0.14	108
TS(TR bei Urin)	g/(E·d)	57	38	71
BSB ₅	g/(E·d)	5	20	18
CSB	g/(E·d)	10	60	47
N	g/(E·d)	10.4	1.5	1.0
P	g/(E·d)	1.0	0.5	0.5

3.1.4 Abwasseranfall im ländlichen Raum

Im Allgemeinen wird heute mit einem Abwasseranfall von 120 bis 150 l/(E·d) gerechnet (Umweltdaten 2002, S.7). Im ländlichen Raum liegen die Abwassermengen zwischen 70 und 120 l/(E·d) (Schmager et al. 2000, S.323; Finke 2001, S.27).

3.1.5 Entfernung von Pathogenen in Fäzes und Urin

Die Entfernung von Pathogenen ist nicht nur für die Ressource Wasser, aber auch für die Landwirtschaft wichtig. Durch Lagerung von Fäzes und Urin können Helminthen und Protozoen, Bakteien sowie Viren teilweise oder vollständig entfernt werden. Je länger die Lagerung, desto besser ist die Entfernung. Die Tabelle 7 zeigt die Lagertemperatur und Lagerdauer für die Wiederverwendung von Fäzes und Urin.

Tabelle 7 Notwendige Lagertemperatur und Lagerdauer zur Hygienisierung von Fäzes und Urin (WHO 2006)

Lagertemperatur	Lagerdauer
Trockene Fäzes und Fäkalschlamm	
2-20 °C	1.5- 2 Jahre
>20- 35 °C	>1 Jahre
Alkalische behandlung (kalkung)	pH > 9 über > 6 Monate
Urin	
4 °C	≥ 1 Monat
4 °C	≥ 6 Monat
20 °C	≥ 1 Monat
20 °C	≥ 6 Monat

Für trockene Fäzes: Durch Zugabe alkalischer Stoffe (z. B Kalk, Asche) können die Lagerzeiten deutlich verkürzt und Lagerraum gespart werden.

Für Urin: Nach kurzer Zeit oder bei niedriger Lagertemperatur werden möglicherweise noch Viren enthalten sein, deshalb muss er für die Bewässerung von Nahrungspflanzen weitergehend behandelt werden. Wenn der Urin mit 20 °C und länger als 6 Monate gelagert wird, dann kann er für alle Nahrungspflanzen benutzt werden.

3.2 Komponenten

3.2.1 Übersicht über die Toilette

Trockentoiletten (Dry Toilet): Einfache Bodenplatte mit einer Abdeckung für das Bodenloch. Urin und Kot fallen durch ein Loch, wird ohne Wasser betrieben.

Trockentoiletten mit Urintrennung (UDDT): Erhöhte Bodenplatte mit separatem Ablauf für Urin und einem abdeckbaren Bodenloch für Fäzes.

Einfache Spültoilette (Pour Flush Toilet): Toilettenbecken in Bodenplatte

eingelassen, spülen der Fäkalien durch Wasser aus Eimern.

Spültoilette mit Urintrennung (Urine Diverting Flush Toilet (UDFT)): Von der Außenansicht ähnlich wie die Spülkastentoilette, aber Urinablauf und Fäzes werden getrennt, nur die Fäzes werden mit Wasser weggespült.

Spülkasten-Toilette (Cistern Flush Toilet): Fäkalien-Toilette mit Wasserspülung aus einem Tank bzw. einer Zisterne.

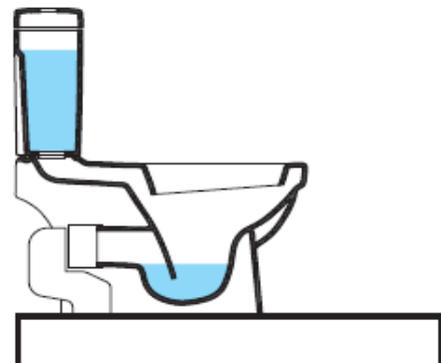
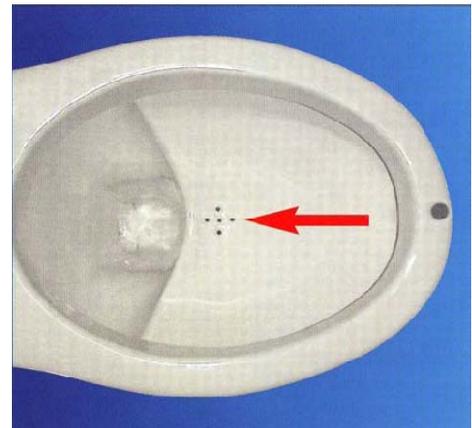


Abbildung 4: Toilette

(Tilley & Lüthi 2008)

Obenlinks: Trockentoilette mit Urintrennung

Obenrechts: Spültoilette mit Urintrennung

Untenlinks: Einfache Spültoilette Untenrechts: Spülkasten-Toilett

Tabelle 8 Toilettentypen im Vergleich

	Schmutzwasseranfall [L/(EW·d)]	Vorteile	Nachteile
Trockentoilette	-	<ul style="list-style-type: none"> - keine Wartung - keine Spezialkenntnisse - kein Wasserbedarf - geringe Investitions- und Betriebskosten 	<ul style="list-style-type: none"> - sehr geringer Nutzerkomfort - Belastung von Boden und Grundwasser
Trockentoilette mit Urintrennung	1.5 L Urin	<ul style="list-style-type: none"> - wie Trockentoilette - Nährstoffnutzung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - schwer sauber zu halten - häufige Wartung
Einfache Spültoilette	5-6 L	<ul style="list-style-type: none"> - einfache Reinigung - kostengünstig - einfache Wartung 	<ul style="list-style-type: none"> - regelmäßige Reinigung
Spültoilette mit Urintrennung	6 L+1.5 L Urin	<ul style="list-style-type: none"> - wie Spültoilette - Nährstoffnutzung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - häufige Wartung - nicht intuitiv, erfordert Schulung der Nutzer
Spülkasten-Toilette	25-40 L	<ul style="list-style-type: none"> - komfortabel und sauber - geruchlos - sehr einfach 	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Wasserverbrauch - hohe Verdünnung, keine Nährstoffnutzung möglich

3.2.2 Übersicht über die Sammlung und Vorbehandlung

Urinsammelbehälter (Urine Storage Tank): Urin wird in einem verschlossenem Tank oder Kanister gesammelt, nach Lagerung kann der Urin als Düngemittel in der Landwirtschaft verwendet werden. Die Vorteile sind:

- viele Materialien möglich, aber nicht aus Metall (Korrosion),
- Gewinnung eines hochwertigen, hygienisch unproblematischen Düngers,

- Reduktion der Nährstoffbelastung des zu behandelnden Abwassers.

Der Nachteile sind:

- muss dicht sein (Geruch, NH₃),
- verstärkte Ablagerungen,
- Vorsichtsmaßnahmen bei der Entleerung nötig,
- leichter bis starker Geruch beim Öffnen und Entleeren.

Einfache Trockengrubenlatrine (Simple Pit Latrine), **Entlüftete eingrubige Trockenlatrine** (Single Ventilated Improved Pit (VIP)) und **Entl. Doppelgruben-Trockenlatrine**: Die Trockengrubenlatrine ist eine der am häufigsten verwendeten Sammlungs- und Vorbehandlungsverfahren in Gebieten mit Wasserkanppheit. Exkremete mit Analreinigungsmaterial werden zusammen in einer Grube deponiert und die fest-flüssig Trennung erfolgt durch Infiltration in den Boden. Die entlüftete Trockenlatrine ist mit einem Entlüftungsrohr und Fliegengitter ausgestattet, wodurch die Fliegen- und Geruchsbelastung verringert werden kann. Die Vorteile von Trockengrubenlatrinen sind:

- kann mit lokal verfügbaren Materialien gebaut und repariert werden,
- kann sofort nach dem Bau verwendet werden,
- geringe Investitions- und Betriebskosten.

Die Nachteile sind:

- geringe BSB- und Pathogenentfernung,
- Fäkalschlamm benötigt weitergehende Behandlung,
- hohe Gefahr der Grundwasserverschmutzung.

Einsatzgrenzen: felsiger Untergrund und hoher Grundwasserstand

Aufbau: Grundfläche von einer Einzellatrine: mindestens 1,4 x 1,4 m mit 3 m Tiefe (Tilley, 2008)

Doppelgruben für Spültoilette (Twin Pits for Pour Flush): Diese Technologie besteht aus einer alternierenden Grube für eine Spültoilette. Über die Gruben

wird das anfallende Schwarzwasser in den Boden infiltriert, der Betrieb der Gruben erfolgt nacheinander. Die Vorteile sind:

- kann mit lokal verfügbaren Materialien gebaut und repariert werden,
- geringe Fliegen- und Geruchsbelastung,
- geringe Investitionskosten, keine oder nur geringe Betriebskosten, wenn selbst entleert,
- Humusentleerung ist einfach als Fäkalschlammentleerung,
- längere Lebensdauer.

Nachteil: muss regelmäßig entschlammte werden

Einsatzgrenzen: hoher Grundwasserstand und felsiger Untergrund

Platzbedarf von Doppelgruben: 2,25 m², Mindesttiefe: 2 m (Harvey 2007)

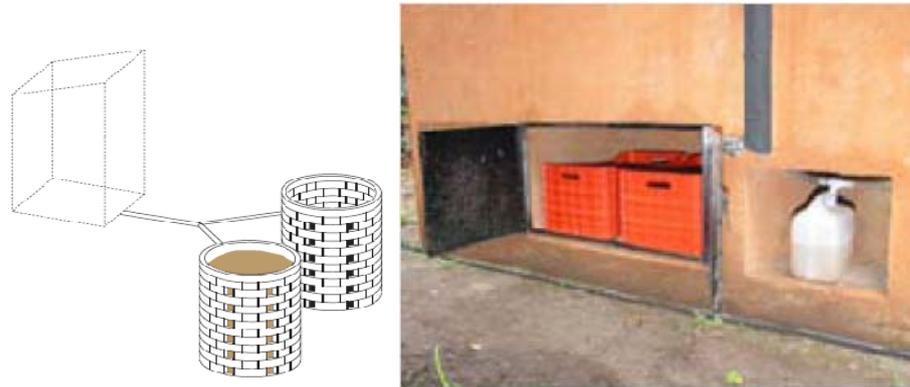
Dehydrationskammern (Dehydration Vaults) werden genutzt, um Fäzes zu sammeln, zu speichern und auszutrocknen. Urin wird separat gesammelt. Die

Vorteile sind:

- geringer Platzbedarf,
- einfache Entleerung,
- getrocknete Fäzes als Bodenverbesserer geeignet.

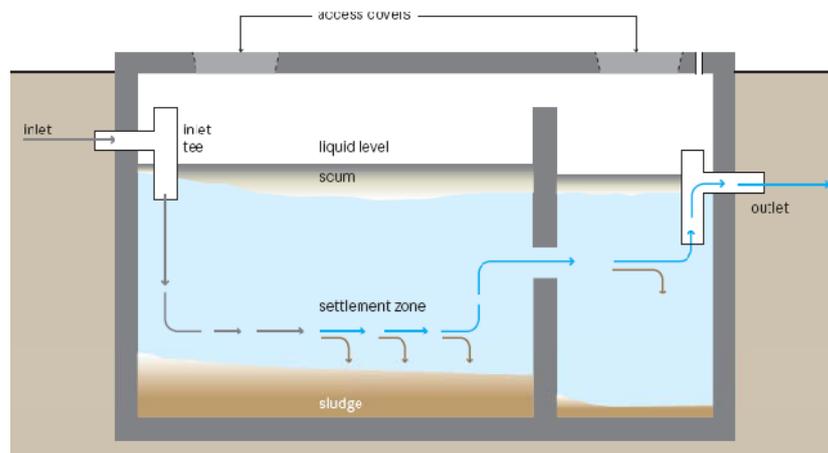
Die Nachteile sind:

- erfordert Asche, Sand oder Kalk,
- Entleerung nur manuell,
- benötigt Schulung zur Nutzung.



**Abbildung 5: Doppelgruben für Spültoilette(Tilley & Lüthi 2008)
Dehydratationskammern(GTZ 2006)**

Absetzgrube/Faulgrube (Septic Tank): Schwarzwasser und Grauwasser gelangen in einen wasserdichten Absetztank, der mindestens aus zwei hintereinander durchströmten Absetzkammern besteht. Durch Sedimentation und anaerobe Prozesse werden Feststoffe entfernt und organische Stoffe abgebaut. **Anaerober Schlaufenreaktor** (Anaerobic Baffled Reactor (ABR)): Der ABR ist eine verbesserte Absetzgrube, der aus mehreren Kammern besteht. Das Schwarzwasser kann aufgrund der erhöhten Kontaktzeit und der aktiven Biomasse gut abgebaut werden. **Absetzgrube mit anaerobem Filter** (Anaerobic Filter): es besteht aus einer Absetzgrube mit einem oder mehreren Tauchköpern (Kies). Gelöste organische und suspendierte Materialien aus dem Schwarzwasser werden in dem Tauchkörper behandelt.



**Abbildung 6: Absetzgrube/Faulgrube(Septic Tank)
(Tilley & Lüthi 2008)**

Tabelle 9 Vorteile und Nachteile der Absetzgrube, ABR und Absetzgrube mit anaerobem Filter

	Vorteile	Nachteile
Absetzgrube/Faulgrube	<ul style="list-style-type: none"> - kann mit lokal verfügbaren Materialien gebaut und repariert werden - längere Lebensdauer - geringer Wartungs- und Betriebsaufwand - keine Geruchs- und Fliegenbelästigung - kein Energiebedarf 	<ul style="list-style-type: none"> - muss dicht sein - hohe Abhängigkeit von Wasserzufuhr und regelmäßiger Entschlammung - Abwasser erfordert weitere Behandlung
Anaerober Schlaufenreaktor	<ul style="list-style-type: none"> - wie Absetzgrube - Grauwasser kann gleichzeitig verwaltet werden - hohe BSB₅ und TS Entfernung - beständig gegen organische und hydraulische Stoßbelastungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Wasserverbrauch mindestens 40- 60 L/(E·d) - nur in warmem Klima - Planung und Bau benötigt Fachpersonal - hoher Platzbedarf als Absetzgrube(1 m²/m³) (Sasse (1998))
Absetzgrube mit anaerobem Filter	<ul style="list-style-type: none"> - wie Absetzgrube - hohe BSB₅ und TS Entfernung 	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Bau- & Wartungsaufwand - nur in warmem Klima - Planung und Bau benötigt Fachpersonal

3.2.3 Übersicht über den Transport

Kanister, Tonnen, Tanks: Der Urin wird in dem Gefäß gesammelt und vom Entstehungsort zur weiteren Behandlung und Entsorgung transportiert. Die Gefäße (Kanister, Tonnen, Tanks) werden mit Fahrrad, Wagen, Karren zu einem Semi- oder Zentral-Speicherplatz transportiert.

Menschenbetrieben (Schaufeln, MAPET¹...): Die Entleerung erfolgt mit Schaufeln bzw. handbetriebenen Pumpen. MAPET und Handpumpen erfordern eine regelmäßige Wartung (Reinigung, Reparatur und Desinfektion).

Motorisierter Betrieb (Vakuumentank, Ladewagen...): Fäkalschlamm und Urin werden mit elektrisch betriebenen Pumpen und Vakuumentanks entleert und mit LKWs zur weiteren Behandlung transportiert.

Feststofffreies Kanalsystem: ist ein Netzwerk mit kleinem Rohrdurchmesser welches das feststofffreie Abwasser zur weiteren Behandlungsanlage transportiert.

Transferstation/Schlammstapel: ist ein Sammel-tank, der normalerweise in den Untergrund gebaut wird. Sie sammeln den Fäkalschlamm aus dezentralen Anlagen zur semi- bzw. zentralen Behandlung bzw. Entsorgung.

¹ MAPET: besteht aus einer Handpumpe mit ein angeschlossenen Sammel-tank, die auf einem Handkarren montiert wird. (Tilley & Lüthi 2008)

Tabelle 10 Vergleich der Vor- und Nachteile

	Vorteile	Nachteile
Kanister, Tonnen, Tanks	<ul style="list-style-type: none"> - niedrige Kosten - einfach zu reinigen und wiederverwendbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Gefahr des Verschüttens - Schwer zu tragen (Gewicht)
Menschenbetrieben	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Investitions- und Betriebskosten - gilt für alle Gebiete 	<ul style="list-style-type: none"> - benötigt Schutzkleidung (z. B. Handschuhe) - MAPET erfordert spezialisierte Reparatur
Motorisierter Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> - schnelle Entleerung - sicherer Transport 	<ul style="list-style-type: none"> - höhere Investitions- und Betriebskosten - spezialisierte Teile benötigt zur Reparatur - dicker getrockneter Klärschlamm kann nicht entleert werden
Feststofffreies Kanalsystem	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Verlegetiefe - einfacher Aufbau und Betrieb - ist gut erweiterbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Feststoff muss abgetrennt werden - erhöhte Investitionskosten - erfordert häufige Wartung - Planung und Aufbau durch Fachpersonal - funktionierende Infrastruktur muss vorhanden sein
Transferstation/Schlammstapel	<ul style="list-style-type: none"> - verkürzt die Transportdistanzen - geringere unkontrollierte Entsorgung der Fäkalien 	<ul style="list-style-type: none"> - Entleerung und Transport nur motorisiert - Planung und Aufbau durch Spezialisten - muss dicht sein, benötigt Entlüftung

3.2.4 Übersicht über die weitergehenden Behandlungsverfahren

- **weitere Behandlungsverfahren für Flüssigphase**

Abwasserteiche werden seit vielen Jahren als sicheres, naturnahes und kostengünstiges Verfahren zur Reinigung von häuslichem Abwasser eingesetzt. Es erfordert der relativ große Platzbedarf von ca. 10 bis 20 m² pro Einwohner zu nennen (Lange 2001 & Bischof 1993). Es bietet sich an, die Gesamtfläche des Teiches in mehrere Einzelteile aufzutrennen. Die Teichform sollte in Fließrichtung eher lang gestreckt sein, um das gesamte Teichvolumen auszunutzen. Gegen den Untergrund müssen die Teiche abgedichtet werden (Fehr 2000). Der Abwasserteich können von Absetzteiche, unbelüftete und belüftete Abwasserteiche, Schönungsteiche unterschieden werden.

- **Absetzteiche** (überwiegend anaerob) werden in der Regel als Vorstufe einer mehrstufigen Teichanlage eingesetzt. Die Absetzteiche dienen hauptsächlich der Abscheidung von absetzbaren Stoffen und der Ausfäulung des Rohwassers. Sie sind mit maximal 0,5 m³/EW auszubilden (ATV-DVWK 2003).
- **Unbelüftete (natürlich belüftete) Abwasserteiche** werden bei Anschlussgrößen unter 1 000 EW gebaut und werden durch aerobe und anaerobe Vorgänge zur Verminderung der nicht absetzbaren und gelösten Stoffe eingesetzt. Die Aufenthaltszeit des Abwassers beträgt meist mehr als 20 Tage (Webseite 1). Die Vorteile des unbelüfteten Abwasserteiches sind die relativ gute Reinigungsleistung bei günstigen Witterungsbedingungen, geringe Betriebskosten und eine gute Einbindung in die Landschaft. Nachteile sind die schnelle Überlastung und mögliche Geruchsentwicklung bei steigender Abwasserfracht und die kontinuierliche Schlammräumung. Im Winter geht die Leistung etwas

zurück.

- **Belüftete Abwasserteiche** sind zumeist durch den Einbau einer künstlichen Sauerstoffbegasung aus überlasteten unbelüfteten Teichen entstanden. Belüftete Teichanlagen sollten aus mindestens zwei belüfteten Teichen und einem unbelüfteten Nachklärteich zur Abtrennung von Schwebstoffen bestehen. Die Fläche ist kleiner als bei einem unbelüfteten Teich. Belüftete Abwasserteiche eignen sich besonders, wenn Abwässer aus Betrieben wie Bäckereien, Brauereien, Schlachtereien und Brennereien mitzubehandeln sind (Bischof 1993, S.572; Fehr 2000, S.52; Lange 2000, S.175- 176).
- **Schönungsteiche** werden zur Behandlung von biologisch gereinigtem Abwasser für eine weitere Qualitätsverbesserung und zum Konzentrationsausgleich genutzt. Die Aufenthaltszeit des Abwassers in einem 1,5 m tiefen Schönungsteich beträgt ca. 2,5 Tage (Bischof 1993, S.576).

Pflanzenkläranlagen werden als Abwasserbehandlungsanlagen mit einer biologischen Behandlung in Pflanzenbeeten definiert (ATV-DVWK 1998). Die Pflanzenkläranlagen werden nach der Durchströmungsrichtung in vertikal und horizontal durchströmte Anlagen unterschieden.

Prinzip: Das zureinigende Wasser (häusliches Abwasser wird zunächst in einer Vorklärung von absetzbaren Bestandteilen befreit) wird einem mit besonderen Sumpfpflanzen – wie Schilf - besetzten Bodenkörper zugeführt, um diesen in horizontaler oder vertikaler Richtung zu durchfließen und dabei gereinigt zu werden. Die Vorteile sind:

- geringe Investitions- und Betriebskosten,
- einfache Wartung,
- Weiterverwendung des geklärten Wasser ist möglich,
- ökologisch.

Nachteile:

- großer Platzbedarf,
- benötigt Bau durch Fachpersonal.

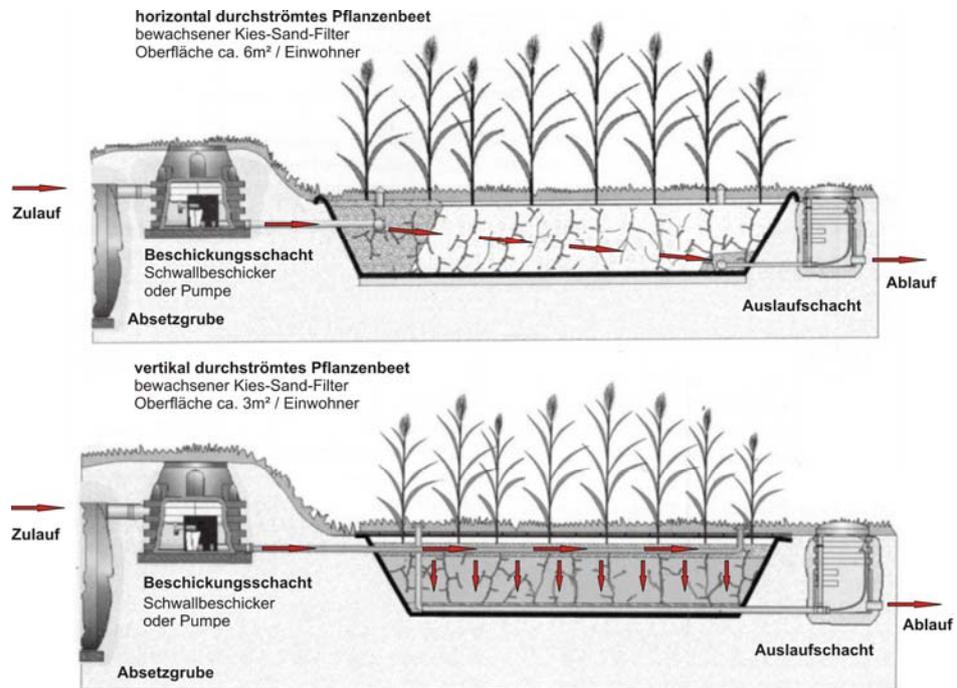


Abbildung 7: Aufbau und Funktion vertikal und horizontal durchströmter Pflanzenkläranlagen (Gerwal 2003)

Belebtschlammverfahren ist eines der wichtigsten biologischen Abwasserbehandlungsverfahren. Im Belebungsbecken werden die Schmutzstoffe von der vorhandenen Biomasse abgebaut und daraus Belebtschlammflocken gebildet. Der Belebtschlamm wird in Nachklärbecken abgetrennt. Dort dickt der abgesetzte Belebtschlamm ein und wird als Rücklaufschlamm ins Belebungsbecken zurück geführt. Das Belebtschlammverfahren ist sehr flexibel und prozessstabil und es hat eine gute Reinigungsleistung. Nachteile des Verfahrens sind die hohen erforderlichen Volumina, sowie die Gefahr des Auftretens von schlecht absetzbarem Belebtschlamm. Folgende Abbildung stellt den Durchlaufbetrieb von Belebtschlammverfahren dar:

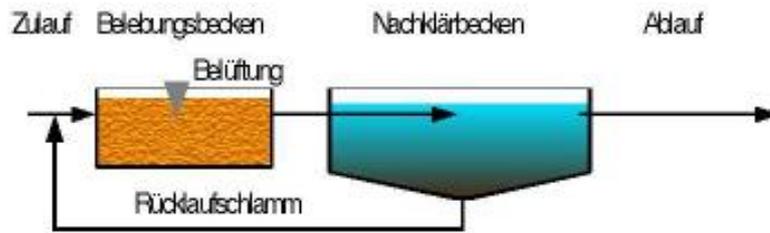


Abbildung 8: Belebtschlammverfahren im Durchlaufbetrieb
(Webseit 2)

SBR (Sequencing Batch Reactor)- Verfahren ist eine Variante des Belebtschlammverfahrens und sie ist weitgehend akzeptiert und angenommen in der Welt der Abwasserbehandlungstechnologien. Man bezeichnet dieses Verfahren auch als Aufstaubetrieb. Der Unterschied zum konventionellen Verfahren liegt darin, dass die Verfahrensschritte entlang einer Zeitachse geführt werden. Das heißt, die Reinigung des Abwasser findet nicht in mehreren voneinander getrennten Reaktionsbecken statt, sondern läuft mit einem geordneten und intermittierenden Betrieb in demselben Behälter ab.

Der Kern des SBR Verfahren ist der SBR-Reaktor, das Abwasser wird als Zulauf im Behälter aufgestaut. In diesem wird das Abwasser biologisch abgebaut und nach dem Absetzen wird das gereinigte Abwasser aus dem Behälter abgezogen. Bei diesem Verfahren gibt es keine Rücklaufschlammableitung. Die Schritte sind das Füllen, das Mischen, das Belüften, das Absetzen und der Abzug des Abwassers. Folgende Abbildung stellt die Prozessfolge beim SBR-Verfahren dar.

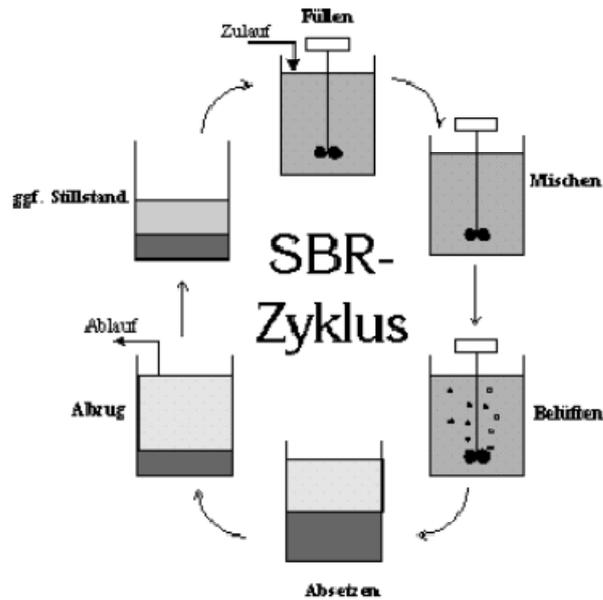


Abbildung 9: Prozessfolge beim SBR-Verfahren
(ATV1997)

Die Vorteile der SBR-Anlagen sind:

- Platz- und energiesparender als herkömmliche Belebungsanlagen,
- geringe Baukosten, da Belebung und Nachklärung in einem Behälter stattfinden.

Membran-Belebungsverfahren: eine weitere, neuere Variante des Belebtschlammverfahrens. Der Belebtschlamm wird durch Membranen vom Abwasser abgetrennt. Das Membran-Belebungsverfahren wird prinzipiell in zwei Varianten unterschieden: das Verfahren mit interner Membranfiltration und mit externer Membranfiltration. Vorteile dieser Verfahren sind:

- sehr gute Reinigungsleistung, keine weitere Desinfektion notwendig,
- eine Nachklärung erübrigt sich, platzsparend,
- die Rückführung des Schlammes ist nicht mehr notwendig,
- geringere Überschussschlammproduktion.

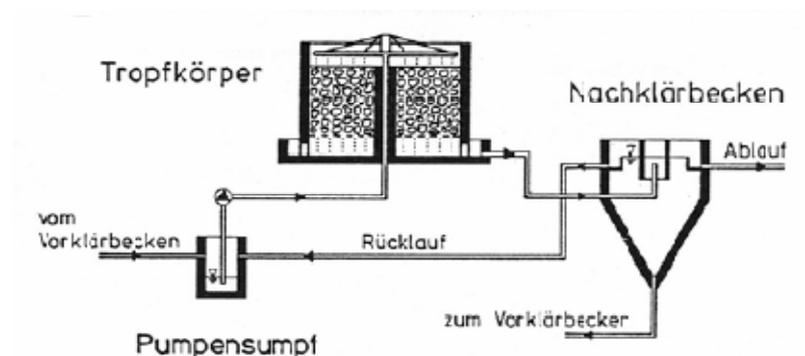
Das Membran-Belebungsverfahren erfordert eine sehr gute Vorreinigung des Abwassers. Zur Zeit sind die Investitionskosten für Membranmodule noch sehr hoch und auch der Energiebedarf ist hoch, weshalb es noch nicht so oft

eingesetzt wird (Wagner und Rosenwinkel, 1999, 4.46).

Biofilmverfahren: Tropfkörper, Tauchkörper

In Anlagen mit Biofilmverfahren sorgt Füll- oder Trägermaterial dafür, dass die Mikroorganismen, im Unterschied zum Belebungsverfahren, nicht mehr frei im Wasser schweben müssen. Mikroorganismen siedeln sich an den eingebrachten Füllmaterialien an und es bildet sich eine geschlossene Bewuchssicht (Biofilm). Aerobe Vorgänge erbringen die Reinigungsleistung. Das Füllmaterial besteht meist aus Kunststoff oder Lavagestein. Eine große spezifische Oberfläche sorgt für eine hohe Dichte an Mikroorganismen (Lange 2000, S.182; Boller et al. 2002a, S.45). Vorteile der Biofilmverfahren sind eine höhere Aktivität der Mikroorganismen als im Belebtschlammverfahren, der mögliche Betrieb mit höheren Feststoffkonzentrationen im Reaktor und ein im Vergleich zum Belebtschlammverfahren geringerer Flächenbedarf.

Tropfkörper sind Festbettreaktoren, bei denen sich die Aufwuchsflächen innerhalb des Reaktors nicht verschieben. Bei der Tropfkörperanlage rieselt ein dünner Wasserfilm über das Füllmaterial mit den Mikroorganismen. Durch den dünnen Wasserfilm und die Hohlräume im Füllstoff wird eine ausreichende Sauerstoffversorgung sichergestellt. Tropfkörperverfahren erfordern eine mechanische Vorklärung und eine Nachklärstufe.



**Abbildung 10: Fließschema einer Tropfkörperanlage
(Mudrack und Kunst, 1994)**

Rotationstauchkörper: Rotationstauchkörperanlagen bestehen meist aus 2 bis 4 hintereinander in getrennten Wannen angeordneten Walzen (Kaskadenordnung). Die Walzen tauchen in Trögen etwa zur Hälfte in vorgereinigtes Abwasser ein und werden in eine langsame Rotation versetzt, so dass die Mikroorganismen abwechselnd mit Abwasser und mit Luft in Kontakt gebracht werden. Während der Auftauchphase des Materials kann der Biofilm aus der Umgebungsluft Sauerstoff aufnehmen und in der Tauchphase die Schmutzstoffe aus dem Abwasser. Vorteilhaft ist der geringe Energiebedarf (0,5-2 kWh/m³), im Vergleich zum Belebtschlammverfahren.

Belebtschlammanlagen, SBR, MBR, Tropfkörper, Rotationstauchkörper sind als Container-Kläranlagen zu bezeichnen. Sie sind eine biologische Abwasserbehandlungsstufe mit aerobe Prozesse zur Abwasserreinigung. Sie erfordern eine gut Vorreinigungsstufe und einen konstanten Abwasserstrom. Die Container-Kläranlagen besteht z. B. aus Rechen als Vorklärung, einer biologischen Behandlung, einem Absetzbecken als Nachklärung und Desinfektion. Vorteilhaft sind die gute Reinigungsleistung und der geringere Platzbedarf im Vergleich zu Abwasserteichen und Pflanzenkläranlagen. Aber sie ist stark abhängig von Energie und Chemikalien. Aufbau, Betrieb, Wartung und Kontrollen muss durch Spezialisten erfolgen, wodurch sich die Investitions- und Betriebskosten erhöhen.

Tabelle 11 Vergleichung von weiteren Behandlungsverfahren für Flüssigphase (Kainan 2004)

	Flächenbedarf m ² /EW	Energiebedarf kWh/ m ³	Kosten im Vergleich zum Belebungs- v.
Belebtschlammverfahren	0.2-0.4	>2.5 ¹	- ²
SBR-Verfahren	0.1-0.2	1-2,3 ³	höher
Membran-Belebung	0.3-0.4	6 ⁴	höher
Tropfkörper	0.2-0.3	2 ¹	vergleichbar
Rotationstauchkörper	0.1-0.2	0,5-2 ⁵	vergleichbar
unbelüftete Abwasserteiche	>10	0,5-2 ⁵	40-60%
belüftete Abwasserteiche	3-5	0,5-2 ⁵	40-60%
Pflanzenkläranlagen, horizont.	>5	0,5-2 ⁵	ca.40%
Pflanzenkläranlagen vert.	>10	0,5-2 ⁵	60-90%

Quelle: ¹ eigene Schätzung

² Belebtschlammverfahren: Kosten: bei Größenklasse unter 1000EW

Investitionskosten: 250-400€/EW

Betriebskosten 20-80€/EW·a.

Die Investitionskosten nimmt ab, mit Größenklasse ansteigen.

GÜNTHERT und REICHERTER (2001,S.66., Kostenstand 1998)

³ Pontos, 2006

⁴ GEP Umwelttechnik, 2006b

⁵ Nolde, 1995

- **Weitergehende Behandlungsverfahren für Festphase**

Sedimentations-/Eindickbecken (Sedimentation/Thickening Pools) sind einfache Eindickungsteiche, mit denen der Fäkalschlamm eingedickt und somit entwässert wird. Die eingedickten Schlämme können dann getrocknet oder weiter kompostiert werden. Eindickbecken sind eine Low-Cost-Option und der Betrieb und die Wartung sind einfach. Allerdings hat es eine Geruchs- und Fliegenbelastung und hat einen großen Platzbedarf, weshalb sie meist am Rand von Gemeinden gebaut werden. Der Schlamm wird nicht hygienisiert und erfordert eine weitere Behandlung vor der Entsorgung. Idealerweise sollte diese Technologie mit einer Vor-Ort- Trocknung oder Co-Kompostierung gekoppelt werden. Die Entschlammung kann nur mechanisch erfolgen.

Unbepflanzte Trockenbeete (Unplanted Drying Beds) sind einfache, durchlässige Beete, bei denen die Fest-Flüssig-Trennung durch ein permeables Filterbett (z. B. Kies/Sand) erfolgt. Am Boden des Trockenbeetes werden perforierte Rohre eingelegt, durch welche das Sickerwasser abfließen kann. Der Schlamm sollte ca. 200 kg TS/m² enthalten und nicht mehr als 20 cm überschreiten. Nach 10 bis 15 Tagen hat sich das Schlammvolumen um ca 60 % verringert. Wenn der Schlamm getrocknet ist, muss die Sandschicht getrennt und entsorgt werden. Das gesammelte Sickerwasser sollte weitergehend behandelt werden. Nachteile von unbepflanzten Trockenbeeten sind ein großer Flächenbedarf, der getrocknete Schlamm muss alle 10 bis 15 Tag beseitigt werden und die Drainagen sollten regelmäßig gespült werden. Unbepflanzte Trockenbeete können nicht bei hohem Grundwasserstand und sehr starken Regenfällen eingesetzt werden.

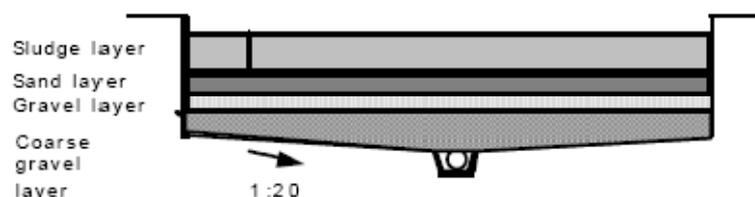
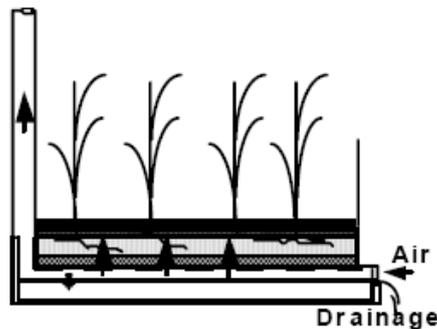


Abbildung 11: Schematischer Aufbau eines Unbepflanzte Trockenbeete (Martin 2003)

Vererdung/Bepflanzte Trockenbeete (Reed Beds/Planted Drying Beds) sind ähnlich wie unbepflanzte Trockenbeete mit dem Vorteil der erhöhten Transpiration. Der Unterschied zum unbepflanzten Trockenbeet liegt darin, dass das Trockenbeet nicht nach jedem Trocknungs-Zyklus entschlammt werden muss. Der neue Schlamm kann direkt auf die vorhergehende Schicht abgeladen werden. Durch die Pflanzenwurzeln werden natürliche Dränkanäle geschaffen, der Sauerstoffaustausch in den Wurzeln führt zu einem teilweisen Abbau bzw. einer Mineralisierung des Schlammes. Die Evapotranspiration der Pflanzen fördert die Entwässerung.



**Abbildung 12: Schematischer Aufbau eines bepflanzte Trockenbeete
(Martin 2003)**

Aerobe (Co-) Kompostierung: Der Fäkalschlamm wird gemeinsam mit organischen Abfällen und Strukturmaterial unter Temperaturentwicklung behandelt. Der Fäkalschlamm enthält eine hohe Feuchtigkeit und viel Stickstoff, die organischen Abfälle und Strukturmaterialien enthalten viel organischen Kohlenstoff. Durch die Kombination der beiden, wird der Prozess und das Produkt optimiert. Für den getrockneten Schlamm sollte das Verhältnis zwischen Fäkalschlamm und organischen Abfällen 1:2 bis 1:3 und für den flüssigen Schlamm 1:5 bis 1:10 betragen (Tilley & Lüthi 2008), um das notwendige C:N-Verhältnis von 30-35:1 sowie den idealen Feuchtegehalt von 50-60 % zu erreichen (Clemens, J., H. Daebel, et al. 2008). Das Endprodukt ist stabilisiert und gute hygienisiert, weshalb es gut für die Landwirtschaft nutzbar ist.

Tabelle 12 Bewertung von Behandlungsverfahren für Festphase

	Bewertung
Sedimentations- /Eindickbecken	+ lokale Herstellung mit einfacher Technik + keine elektrische Energie erforderlich - lange Lagerzeiten - großer Platzbedarf - benötigt regelmäßig Entschlammung - Spezialisten für Bau und Bemessung nötig
Unbepflanzte Trockenbeete	+ hohe Volumenreduktion + wie Eindickbecken - hoch belastetes Sickerwasser
Vererdung/ Bepflanzte Trockenbeete	+ höhere Beladung möglich + nur sehr seltene Schlammräumung - TS des aufzubringenden Schlammes < 4 %
Aerobe (Co-) Kompost	+ einfache Errichtung und Wartung + lokale Herstellung mit einfacher Technik - ausreichend organisches Zugabematerial muss vorhanden sein

3.2.5 Übersicht über die Entsorgung

● Entsorgung für die Flüssigphase

Urinverbringung: Nach der Lagerung wird der hygienisierte Urin in den Boden eingemischt bzw. (un-)verdünnt an die Pflanzen gegeben.

Bewässerung: Das behandelte Abwasser wird den Pflanzen über Kanäle, Sprinkler, Schlauchsystemen etc. zugeführt. Dadurch wird die Menge an Oberflächenwasser zur Bewässerung verringert und der Ertrag von Nahrungspflanzen gesteigert.

Gewässereinleitung: Einleitung des Abwassers in ein nahe liegendes Oberflächengewässer bzw. Vorfluter. Die Anforderung von Gewässereinleitungen wurden in Tabelle 4 gezeigt. Eine regelmäßige Überwachung und Entnahme von Proben ist wichtig, zur Gewährleistung der öffentlichen Gesundheit.

Sickergrube ist eine porös-wandige Grube, die unterhalb einer Sammelgrube

gebaut wird. Die flüssigen Bestandteile der Fäkalien bzw. des Schwarzwassers versickern in dem Boden und werden durch die Bodenpassage weitgehend von Pathogenen und Schwebstoffen befreit.

Sickerfeld: Im Prinzip ähnlich wie die Sickergrube. Die perforierten Schläuche oder Rohre werden in der umgebenden Kiespackung verlegt. Das Sickerfeld erfordert eine große Fläche und muss von Trinkwasserquellen entfernt gebaut werden.

Tabelle 13 Bewertung von Entsorgung für Flüßigphase

	Bewertung
Urinverbringung	<ul style="list-style-type: none"> + einfache Technik + hygienisch unbedenklich + sehr guter P, K, N Dünger - unangenehmer Geruch - großer Flächenbedarf, Urin eines Menschen düngt ca. 300- 400 m² pro Jahr (EcoSanRes)
Bewässerung	<ul style="list-style-type: none"> + Reduzierung von Wasserressourcen nutzen + gleichzeitige Düngung - Gefahr des Aufbringens von Keimen in der Nahrungsmittelproduktion
Gewässereinleitung	<ul style="list-style-type: none"> + technisch sehr einfach + schnelle Ableitung - Gewässerverschmutzungsgefahr bzw. Eutrophierung
Sickergrube	<ul style="list-style-type: none"> + geringer Platzbedarf + einfache Technik - nur für geringe Wassermengen - Bodendurchlässigkeit - Grundwasserbelastung
Sickerfeld	<ul style="list-style-type: none"> + für größere Wassermengen - großer Platzbedarf - Verstopfungsgefahr, Vorreinigung notwendig - Wartungsaufwand - Bodendurchlässigkeit

- **Entsorgung für die Festphase**

Füllen und Verschließen/Arborloo: Nachdem eine Grubenlatrine vollständig gefüllt ist, wird sie mit Boden abgedeckt und verschlossen. Die geschlossene Latrine stellt keine unmittelbare Gesundheitsgefahr dar. Mit der Zeit werden die Fäkalien abgebaut. Füllen und Verschließen wird eingesetzt, wenn die Latrinen nicht entleert werden können.

Trockenfäzesverbringung: Die getrockneten Fäzes bzw. der getrocknete Fäkalschlamm werden unter den Boden gemischt. Nach der Lagerung wird die Trockenfäzes in der Landwirtschaft benutzt. In Tabelle 7 wurden die notwendigen Lagertemperaturen und Lagerdauern zur Hygienisierung von Fäzes gezeigt.

Kompost- bzw. Humus-Verbringung: wie Trockenfäzesverbringung. Vorteile der Kompost – bzw. Humus-Verbringung sind, dass Kompost und Humus hygienisch sind.

Landverbringung von Klärschlamm: teilweise entwässerter Klärschlamm wird auf größeren Landflächen verteilt.

Deponierung: Der Schlamm wird oberirdisch oder unterirdisch gelagert. Deponien werden eingesetzt, wenn der Klärschlamm, Fäzes oder andere Materialien nicht weiter verwendet werden können.

Tabelle 14 Bewertung von Entsorgung für Festphase

	Bewertung
Füllen und Verschließen/Arborloo	<ul style="list-style-type: none"> + einfache Technik, niedriger Aufwand + geringe Gesundheitsgefahr beim Transport - Arbeitsintensiv
Trockenfäzesverbringung	<ul style="list-style-type: none"> + Bodenverbesserung + einfache Technik - keine Garantie der vollständigen Zerstörung von Pathogenen - kann nicht als Düngemittel (N, P, K) genutzt werden
Kompost- bzw. Humus-Verbringung	<ul style="list-style-type: none"> + Ertragssteigerung - Co-Substrat notwendig
Landverbringung von Klärschlamm	<ul style="list-style-type: none"> + Düngewirkung ist gut + einfache Entsorgung - hohe Belastung mit Pathogenen möglich
Deponierung	<ul style="list-style-type: none"> + zur Nutzung vakanter Flächen - Geruchsbelastung - regelmäßiger Betriebs- und Wartungsaufwand - Grundwasserbelastung

4. Bewertung der Technologien

4.1 Bewertungskriterien

Für die Bewertung der einzelnen Varianten ist quantitativ und qualitativ zu überlegen, ob die Varianten wirklich geeignet sind. So sollte man unter anderem folgende Schwerpunkte betrachten: die Anlagen sollten möglichst Benutzerfreundlich, wenig störanfällig, stabil im Betrieb und leicht zu warten sein. Die Bewertungskriterien unterteilt sich in 7 Gruppen,

4.1.4 Naturräumliche Aspekte

- Anwendungsebene
- Klima: Temperatur, Frost, Überschwemmungen, Starkregen
- Geographie: Grundwasserstand, Bodenverhältnisse und Vorfluter

Die *Anwendungsebene* umfasst die dezentrale, semizentrale und zentrale Ebene, mit der kann die gewählte Technologie im Verwendungsebenen gut passt werden. Der Faktor *Klima* umfasst Temperatur, Frost, Überschwemmungen und Starkregen. Die *Temperatur* unterteilt sich in kalte, gemäßigte und warme Klimaten. Kalt bedeutet, dass die Temperatur im Sommer eines Jahres unter 10°C liegt, gemäßigt, dass die Jahresdurchschnittstemperatur unter 20°C und im Sommer über 10°C liegt und warm, dass die Jahresdurchschnittstemperatur über 20°C beträgt. *Frost* heißt, im Winter werden die Oberflächen des Bodens und des Wassers gefrieren, manche Sanitärsystem können unter solchen Bedingungen nicht funktionieren, was man besonders beachten sollte. *Überschwemmungen* und *Starkregen*: die ausgewählte Technik sollte mit Hilfe der Regenintensitäten ausgelegt und es sollte über ein bestehendes Überflutungspotential nachgedacht werden.

Bodenverhältnisse: Manche Techniken erfordern eine gute Infiltrationskapazität bzw. Grabbarkeit des Bodens, wie z. B. die Sickergrube, und manche Sammlungskomponenten sind für felsige oder dichte Böden geeignet, wie z. B. die Absetzgruben.

Bei hohem *Grundwasserstand* wird dieses durch das Sickerwasser aus den

Gruben stofflich stark verschmutzt, weshalb dieser in den technischen Entscheidungen zu beachten ist.

Vorfluter: Mit Vorfluter wird in der Hydrologie jegliche Art von Gerinne, zum Beispiel Gewässer und Bodendrainagen, bezeichnet, in denen Wasser in Form von Abwasser, Regen- oder Drainagewasser in ein Gewässer abfließen kann. Container-Kläranlagen erfordern Vorfluter, um gereinigtes Abwasser in ein Gewässer einzuleiten.

4.1.2 Soziologische und kulturelle Aspekte

Die sozialen und kulturellen Indikatoren sind schwer zu quantifizieren und werden daher oft nicht angesprochen. Allerdings spielen diese Indikatoren eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der Technologien. Dies ist insbesondere für die Endnutzer wichtig, weil die Nutzer direkt daran beteiligt sind, z. B. bei sanitären Einrichtungen, und in kleinem Maßstab bei der On-site-Behandlung.

Die bewerteten Gesichtspunkte sind:

- Einfachheit der Nutzung
- Nutzerkomfort
- Sicherheit für den Nutzer
- Trennung von Urin/Analreinigungswasser

Die *Einfachheit der Nutzung* bedeutet, ob die Nutzer die Toilette intuitiv benutzen können. Urinseparation und separate Entsorgung des Analreinigungsmaterial erfordert eine Erläuterung und Schulung für die zukünftigen Nutzer. Für die Sammlung und Vorbehandlung kann die Zugabe von Analreinigungswasser/urin positive und negative Auswirkungen haben. Wenn die Zugabe negative Auswirkungen hat, sollte man das Analreinigungswasser und den Urin trennen. Der *Nutzerkomfort* ist von zwei Seiten zu überlegen, zum einen die Toilette an sich und zum anderen die Sammlung und Vorbehandlung. Der Geruch und der Kontakt mit Fäkalien wird die stärkste Unzufriedenheit der Nutzer mit sich bringen, d.h, die „verbesserten“ entlüfteten Einzelgrubenlatrinen und Spültoiletten sind zufriedenstellender, als die Trockentoilette und Trockengrubenlatrine

(Saywell und Shaw 1997). *Sicherheit für den Nutzer*: Trockentoiletten und Trockentoiletten mit Urentrennung werden meistens draußen gebaut, was zu einer Gefahr für Frauen und Kindern führen kann.

4.1.3 Ökonomische und finanzielle Aspekte

Bewertete Gesichtspunkte:

- Investitionskosten
- Betriebskosten: Personalaufwand für Aufbau & Betrieb, Energieaufwand, Materialaufwand

Im Allgemeinen ist eine Gegenüberstellung anhand der Jahreskosten üblich.

Folgend ist die Gleichung für die Jahreskosten beschrieben (LAWA, 2005):

$$\text{Jahreskosten} = \sum \text{KK} + \sum \text{BK} - \sum \text{E} \text{ [€/a]}$$

mit KK: Kapitalkosten (Investitionskosten)

BK: Betriebskosten

E: Erlöse

Die Investitions- und Betriebskosten sowie Erlöse werden auf Basis von Literaturangaben, Preisanfragen oder Erfahrungswerten angegeben.

Folgende Abbildung zeigt die Kostenschätzungen für verschiedene Komponenten der Sanitärsystem und Technologieoptionen:

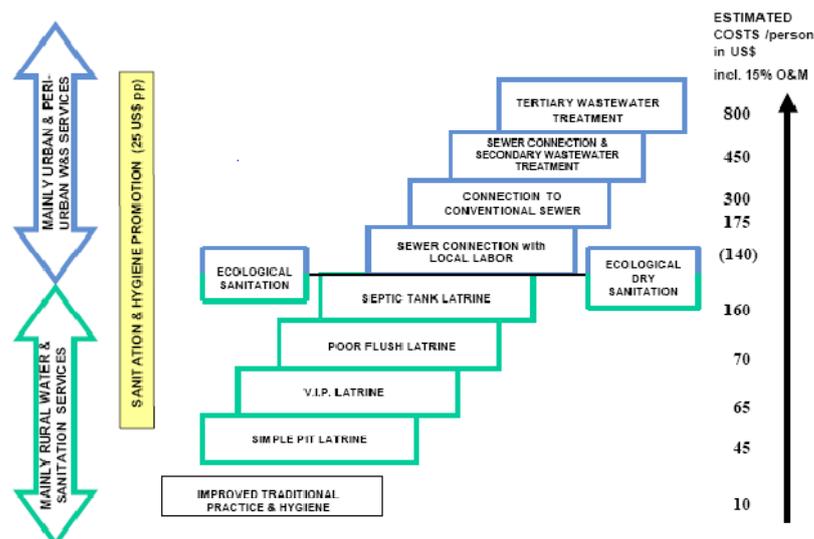


Abbildung 13: Kostenschätzungen für verschiedene Komponenten der Sanitärsystem und Technologieoptionen

(UNEP 2004)

Die Investitionskosten wird durch die Auswahl der verschiedenen Technologien beeinflusst. Einige Low-Cost-Optionen würden negative Auswirkungen auf die Umwelt beinhalten (z.B. unzureichende Klärschlamm Entsorgung und Abwasserbehandlung). Eine dezentrale Öko-Technologie ist kostengünstiger als die traditionellen zentralisierten Technologien.

Die Betriebskosten umfassen den Personalaufwand für Aufbau & Betrieb, den Energieaufwand und den Materialaufwand. Der Betrieb von manche Technologien kann durch Anwohner geschaffen werden, wodurch die Betriebskosten reduzieren werden können.

4.1.4 Logistik/Transport Aspekt

Bewertung Gesichtspunkte:

- Abhängigkeit von Wasser, Energie, Betriebsmittel, abbaubares Material
- Leerungsintervall
- Leerungstechnologie
- Transportsicherheit
- Transportdistanz
- Transportmittel

Die Logistik ist ein wichtiges Kriterium bei der Systemauswahl. Im ländlichen Raum spielen Transportdistanz und Transportmittelauswahl eine wichtige Rolle. Unter dem Aspekt Abhängigkeit von Wasser, Energie, Betriebsmittel, abbaubares Material, ist gemeint, daß der logistische Aufwand abhängig von dem Bedarf an Wasser, Energie, Betriebsmittel und abbaubares Material ist. Je mehr verbraucht wird, desto höher ist der Aufwand. Die Leerung umfasst das Leerungsintervall und die Leerungstechnologie. Die Entschlammungsintervalle wird durch die eingesetzte Technik bestimmt, manche Technologien erfordern eine regelmäßige Schlamm Entfernung, wie z.B. die Absetzgrube und die Container-Kläranlage. Allerdings erzeugen manche Technologien nur geringe Schlamm m mengen, weshalb das Leerungsintervall relativ lang sein kann, wie z. B. bei der Trockengrubenlatrine. Bei den Absetzgruben/Faulgruben und

Grubenlatrine kann die Entleerung durch Handbetrieb oder mittels motorisierte Leerungsverfahren erfolgen. Die Vorteile von Handbetrieb sind die geringen Material- und Betriebskosten, ein Nachteil ist, dass es relativ unsicher ist, da ein direkter Kontakt mit den Fäkalien erfolgt. Motorisiert kann eine schnelle Entleerung und ein sicherer Transport sichergestellt werden, was aber mit einem hohen Wartungsaufwand und Kosten, sowie einem erhöhten Treibstoffbedarf verbunden ist.

4.1.5 Technische Aspekt

Die mögliche Technologie kann durch folgende technische Daten ausgewählt und verglichen werden:

- Lokale Produzierbarkeit
- Platzbedarf
- Entfernung von CSB,BSB,TSS,N,P
- Hygienisierung
- Reparaturen und Wartung

Lokal Produzierbarkeit: Manche Sanitärkomponenten können mit lokal verfügbaren Materialien gebaut und repariert werden. Container-Kläranlage hingegen brauchen spezielle Teile, welche nicht Vorort hergestellt werden können.

Platzbedarf: Die Auswahl von Systemkomponenten wird auch von dem Platzbedarf limitiert. In Gemeiden oder Stadtgebieten ist der Platz relativ begrenzt, weshalb eine Anlage mit einem geringen Platzbedarf benötigt wird (z. B Container-Kläranlage). Naturnahe Verfahren der Abwasserbehandlung werden häufig im ländlichen Raum benutzt, da diese einen hohen Volumen- und Flächenbedarf aufweisen.

Die Entfernungsraten (Vergleich zum Zulauf) der chemischen Parameter ist auch ein wichtiges Kriterium beim Leistungsvergleich der Technologien. Die chemischen Parameter sind der chemische Sauerstoffbedarf (CSB), der biologische Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen (BSB₅), die gesamt-suspendierten Stoffe (TSS) („abfiltrierbare Stoffe“ (AFS)), der Gesamt- Stickstoff (N_{ges}) und der Gesamt- Phosphor (P_{ges}).

Hygienisierung: Im Abwasser und Klärschlamm sind pathogene Bakterien, Protozoen und Viren, sowie Eier von parasitären Würmern zu finden (Schön 1996, S.236). Der hauptsächliche Anteil der Fäkalkeime kommt aus dem Schwarzwasser. Aus dem Grauwasser sind nur wenige Fäkalkeime zu erwarten und der Bestand an pathogenen Keimen ist normalerweise im Urin gering (Wilderer et al. 2001, S.18). Pathogene sind häufig im häuslichen Abwasser zu finden. Werden die Pathogenen nicht oder nur teilweise entfernt, dann wären negative Auswirkungen bei einer Wiederverwendung zur Lebensmittelproduktion oder zur Einleitung in bzw. Anreicherung von Trinkwasserquellen zu erwarten. Deshalb ist die Hygienisierung ein wichtiger Bewertungsaspekt der auszuwählenden Technologien. Eine Trennung der Schmutzwasserströme und eine Teilbehandlung können aus hygienischer Sicht also nur von Vorteil sein. Vor allem steht das gering belastete und gereinigte Grauwasser einer weiteren Verwendung zur Verfügung.

Für den normalen Betrieb von Einrichtungen ist der Aspekt *Reparaturen und Wartung* wichtig. Der Einsatz von Spezialersatzteilen oder fachlich geschulten Personal ist für manche Einrichtungen notwendig, einige Reparaturen und Wartungsarbeiten (z. B. Reinigung) können allerdings auch durch den Nutzer erledigt werden. Der Wartungsaufwand hängt von Reparaturen und Wartung ab, je höher die Anforderungen an Reparaturen und Wartungsarbeiten, desto höher ist der Wartungsaufwand.

4.1.6 Politische bzw. institutionelle Aspekte

Politische bzw. institutionelle Aspekt

- Institutionelle Abhängigkeit
- Managementebene
- Zeithorizont für die Umsetzung

Institutionelle Abhängigkeit: gibt eine Aussage über die notwendige Unterstützung von Förderung, Schulung, Bau, Betrieb und Wartung der Technologie. Je höher die Anforderungen der Technologie ist, desto höher ist die institutionelle Abhängigkeit.

Managementebene: Einige Technologien erfordern Spezialisten für den Bau und höher Fertigkeiten für den Betrieb, weshalb diese nur auf semizentraler bzw. zentraler Ebene eingesetzt werden können. Im Gegensatz gibt es auch viele System mit einfacher Technik, die im Haushalt eingesetzt und betrieben werden können.

Zeithorizont für die Umsetzung: Viele Technologie benötigen Monate oder Jahre für die bauliche Umsetzung und danach häufig noch weitere Wochen bis ein ordnungsgemäßer Betrieb erfolgen kann, wie z. B. bei Container-Kläranlagen. Die Auswahl der Technologie sollte somit auch danach erfolgen.

4.1.7 Wiederverwendungsaspekt

Für die Landwirtschaft spielt die Wiederverwendung von Energie, Wasser, Nährstoff und Humus eine wichtig Rolle. Zum Beispiel in Wassermangelgebieten kann das gereinigte Abwasser für die Bewässerung verwendet werden, wodurch die Nutzung von Süßwasser reduziert wird. Urin und Fäzes enthalten viele Nährstoffe und nach einer entsprechenden Lagerung können diese als Düngemittel für Landwirtschaft benutzt werden.

4.2 Bewertung der Technologiekomponenten

4.2.1 Klassifizierung der einzelnen Bewertungskriterien

1. Anwendungsebene (dezentral, semizentral, zentral)

4 - kann auf alle Ebenen eingesetzt werden

3 - auf der dezentralen Ebene einsetzbar

2 - auf der dezentralen oder/und semizentralen Ebene einsetzbar

1 - auf der semizentralen oder /und zentralen Ebene einsetzbar

0 - kann nur auf der zentralen Ebene eingesetzt werden

Klima:

2. Temperatur:

4 - kann in allen Klimazonen eingesetzt werden, egal ob kalt, gemäßigt oder warm

2 - kann in der warmen und/oder gemäßigten Zone eingesetzt werden

0 - nur in der warmen Zone einsetzbar

3. Frost:

4 - geeignet

0 - nicht geeignet

4. Überschwemmungen & Starkregen

4 - geeignet

2 - nicht geeignet bei ständigen Überschwemmungen & Starkregen

0 - nicht geeignet

Geographie:

5. hoher Grundwasserstand

4 - geeignet

0 - nicht geeignet

6. Bodenverhältnisse

4 - geeignet für alle Bodentypen

0 - erfordert durchlässigen oder felsig/undurchlässig Boden

7. Vorfluter

4 - nicht notwendig

0 - notwendig

8. Einfachheit der Nutzung(Toilette)

- 4- keine Besonderheit
 - 2- Urinseparation, oder separate Entsorgung des Analreinigungsmaterials
 - 0- Urinseparation, und separate Entsorgung des Analreinigungsmaterials
- 9a. Nutzerkomfort (Toiletten)
- 2 - Tasten-Wasserspülung
(Toilette wird aus einem Wassertank oder Spülkasten gespült)
 - 1 - Hand-Wasserspülung (Toilettespülung mittels Wasser aus Handgefäße)
 - 0 - keine Wasserspülung, direkte Sicht auf Fäkalien (Geruchsbelästigung, Fliegen, unhygienische Wirkung)
- 9b. Nutzerkomfort (Sammlung und Vorbehandlung)
- 4 - keine Geruchsbelästigung, keine Fliegen, keine Sicht auf Fäkalien und hell
 - 3 - eins der genannten
 - 2 - zwei der genannten
 - 1 - drei der genannten
 - 0 - Geruchsbelästigung, Fliegen, direkte Sicht auf Fäkalien, dunkel
10. Sicherheit für den Nutzer
- 4 - drinnen gebaut, sicher
 - 0 - draußen gebaut, unsicher für Frauen und Kindern
11. Trennung von Urin/Analreinigungswasser (Sammlung und Vorbehandlung)
- 4 - nicht notwendig
 - 0 - notwendig
12. Investitionskosten
- 4 - niedrig
 - 3 - niedrig bis mittel
 - 2 – mittel
 - 1 - mittel bis hoch
 - 0 - hoch
13. Betriebskosten
- 4 - niedrig
 - 3 - niedrig bis mittel
 - 2 – mittel

1 - mittel bis hoch

0 - hoch

13a. Personalaufwand für Aufbau & Betrieb

4 - Aufbau & Betrieb von jedermann

2 - Aufbau & Betrieb von einfach geschultem Personal

0 - Aufbau & Betrieb von Fachpersonal

13b/c. Energieaufwand/Materialaufwand

4 - niedrig

3 - niedrig bis mittel

2 - mittel

1 - mittel bis hoch

0 - hoch

14/15/16/17/18.

Abhängigkeit

von

Wasser/Energie/Betriebsmittel/abbaubares Material/Treibstoff

4 - nicht notwendig

2.6 - selten

1.3 - diskontinuierlich

0 - kontinuierlich

19a. Leerungsintervall

4 - ≥ 20 Jahre

3 - >5 Jahre

2 - 2-5 Jahre

1 - < 2 Jahre

0 - regelmäßig

19b. Leerungstechnologie

4 - Leerung durch Handbetrieb (Schaufeln, MAPET, Handpumpen) oder maschinell (Vakuumtank)

2 - Leerung nur durch Handbetrieb

0 - Leerung nur maschinell

20a. Transportdistanz

4 - Transport zu Direktentsorgung

2 - Transport indirekt von dezentraler Einrichtung zu semizentraler

Behandlung

0 - Transport direkt von dezentraler Einrichtung zu semizentraler
Behandlung

20b. Transportmittel

4 - verschiedene Transportmittel (Karren, Wagen usw.)

0 - nur motorisierte Transportmittel

20c. Transportsicherheit

4 - keine nennenswerten Risiken beim Transport

2.6 - eins der genannten

1.3 - zwei der genannten

0 - direkter Umgang mit gesundheitsgefährdenden Fäkalien,
Fäkalschlamm und Urin

21. Lokale Produzierbarkeit

4 - keine Spezialteile und -Materialien, große Materialauswahl möglich

2.6 - keine Spezialteile notwendig, Einschränkung bei den möglichen

Materialien

1.3 - Spezialteile und -Materialien notwendig

0 - Import notwendig

22./23./24./25. Entfernung von CSB, BSB, TSS, N, P

4 - >75%

3 - 50%-75%

2 - 25-50%

1 - <25%

0 - keine Entfernung

26. Hygienisierung

4 - hohe Pathogenentfernung, benötigt keine weitergehende Behandlung

0 - geringe Pathogenentfernung, benötigt weitergehende Behandlung

27. Platzbedarf

4 - geringer Platzbedarf

3 - geringer bis mittlerer Platzbedarf

2 - mittlerer Platzbedarf

1 - mittel bis hoher Platzbedarf

0 - großer Platzbedarf

28. Reparaturen und Wartung

- 4 - keine besondere Wartung, Reparatur
 - 2.6 - Wartung/Reparatur von jedermann, keine Ersatzteile notwendig
 - 1.3 - Wartung/Reparatur von einfach geschultem Personal, Ersatzteile notwendig
 - 0 - Wartung/Reparatur und Reinigung nur durch Fachpersonal
29. Institutionelle Abhängigkeit
- 4 - keine
 - 2.6 - niedrig
 - 1.3 - mittel
 - 0 - hoch
30. Managementebene
- 4 - Haushalt, Gemeinschaft und Öffentlichkeit
 - 3 - Haushalt
 - 2 - Haushalt und Gemeinschaft
 - 1 - Gemeinschaft und Öffentlichkeit
 - 0 - Öffentlichkeit
31. Zeithorizont für die Umsetzung
- 4 - Tage
 - 2.6 - Wochen
 - 1.3 - Monate
 - 0 - Jahre
32. Wiederverwendung von Energie, Wasser, Nährstoff und Humus
- 4 - alle der Genannten
 - 3 - drei der Genannten
 - 2 - zwei der Genannten
 - 1 - eins der Genannten
 - 0 - keine Möglichkeit der Wiederverwendung

4.2.2 Bewertung der Systemkomponenten

In den folgenden Tabelle werden die Systemkomponenten unter die Bewertungskriteriums bewertet.

Tabelle 15 Bewertung der Toilette

	Trocken toiletten	Trocken toilette mit Urinentrennung	Einfache Spültoilette	Spültoilette mit Urinentrennung	Spülkasten-Toilette
Einfachheit der Nutzung	4	2	4	2	4
Nutzer-Komfort	0	1	4	4	4
Sicherheit des Nutzers	0	0	4	4	4
Investitionskosten	4	4	3	2	2
Betriebskosten	4	4	3	3	3
Abhängigkeit von Wasser	4	4	1.3	1.3	0
Reparatur und Wartung	4	4	2.6	1.3	1.3
Mittelwert	2.86	2.71	3.13	2.51	2.61

$$\text{Mittelwert} = \frac{\sum}{n}$$

Tabelle 16 Bewertung für Transport

	Kanister, Tonnen, Tanks	Menschenbetrieben (Schaufeln, MAPE3...)	Motorisiert Betrieb (Vakuumtank, Ladewagen...)	Feststofffreies Kanalsystem	Transferstation/ Schlammstapel
Anwendungsebene	3	3	2	2	2
Investitionskosten	4	3	2	1	2
Personalaufwand für Betrieb	4	3	2	0	2
Energieaufwand	4	3	2	3	2
Materialaufwand	4	3	2	1	1
Abhängigkeit von Wasser	4	2.6	2.6	1.3	2.6
Abhängigkeit von Treibstoff	4	2.6	0	4	0
Transportsicherheit	2.6	1.3	4	4	4
Transportdistanz	4	4	4	0	2
Transportmittel	4	4	0	-	0
Reparaturen und Wartung	4	2.6	1.3	1.3	1.3
Zeithorizont für die Umsetzung	4	4	4	1.3	2.6
Mittelwert	3.8	3.01	2.16	1.72	1.79

Tabelle 17 Bewertung der Komponenten für Sammlung und Vorbehandlung

	Urinsammelbehälter	Einfache Trockengrubenlatrine	Entlüftete eingrubige Trockenlatrine	Entl. Doppelgruben- Trockenlatrine	Doppelgruben für Spültoilette	Dehydrationskammern	Absetzgrube/Faulgrube	Anaerober Schlaufenreaktor	Absetzgrube mit anaerobem Filter
Anwendungsebene	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Temperatur	4	4	4	4	4	4	4	4	4
beim Frost	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Bei Überschwemmungen & Starkregen	4	2	2	2	4	4	4	4	4
bei hohem GW-Stand	4	0	0	0	0	4	4	4	4
Bodenverhältnisse	4	0	0	0	0	4	4	4	4
Nutzerkomfort	3	2	3	3	4	4	4	4	4
Trennung von Urin/Analreinigungswasser	0	4	4	4	4	0	4	4	4
Investitionskosten	4	4	3	3	3	3	2	0	1
Personalaufwand für Aufbau & Betrieb	4	4	4	4	4	2	0	0	0
Energieaufwand	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Materialaufwand	3	4	4	4	4	3	4	4	3
Abhängigkeit von Wasser	4	4	4	4	1.3	4	0	0	0
Abhängigkeit von Energie	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Abhängigkeit von Betriebsmittel	2.6	4	4	4	4	2.6	4	4	2.6
Abhängigkeit von abbaubares Material	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Leerungsintervall	0	4	4	4	0	0	2	1	2
Leerungstechnologie	2	2	2	2	2	2	4	4	4
Lokale Produzierbarkeit	2.6	4	4	4	4	2.6	4	2.6	0
Entfernung von CSB,BSB	1	0	0	0	0	0	1	4	4
Entfernung von TSS	1	0	0	0	0	0	3	3	4
Entfernung von N	1	0	0	0	0	0	2	2	3
Entfernung von P	1	0	0	0	0	0	2	2	2
Hygienisierung	4	0	0	0	0	4	0	0	0
Platzbedarf	4	3	3	2	2	4	2	2	2
Reparaturen und Wartung	2.6	4	4	2.6	2.6	2.6	1.3	1.3	0
Institutionelle Abhängigkeit	1.3	4	2.6	2.6	2.6	2.6	1.3	0	0
Managementebene	4	3	3	3	3	3	4	4	4
Zeithorizont für die Umsetzung	4	4	4	4	2.6	2.6	1.3	1.3	1.3
Wiederverwendbarkeit von Energie, Wasser, Nährstoff und Humus	1	0	0	0	0	2	0	0	0
Mittelwert	2.87	2.63	2.59	2.51	2.34	2.63	2.70	2.61	2.53

Tabelle 18 Bewertung der Komponenten für Weitergehende Behandlungsverfahren

	Urinlagerung	Konventionelles Belebtschlammverfahren	SBR(Sequencing Batch Reactor)- Verfahren	Membran-Belebungsverfahren	Tropfkörper	Rotationstaukörper	Abwasserteiche	Pflanzenkläranlagen	Sedimentations-/Eindickbecken	Unbepflanzte Trockenbeete	Vererdung/Bepflanzte Trockenbeete	Aerobe (Co-) Kompost
Anwendungsebene	4	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Temperatur	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2
beim Frost	4	4	4	4	4	4	0	0	4	4	4	4
Bei Überschwemmungen & Starkregen	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0
bei hohem GW-Stand	4	4	4	4	4	4	0	4	0	0	0	4
Bodenverhältnisse	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	4
Vorfluter	4	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4
Investitionskosten	3	1	1	0	1	1	2	3	4	3	3	3
Personalaufwand für Aufbau & Betrieb	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2
Energieaufwand	4	1	1	0	2	2	4	3	4	4	4	4
Materialaufwand	3	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2	3
Abhängigkeit von Wasser	0	0	1.3	0	0	0	2.6	2.6	2.6	4	2.6	4
Abhängigkeit von Energie	0	0	0	0	0	0	4	2.6	4	4	4	4
Abhängigkeit von Betriebsmittel	2.6	2.6	2.6	1.3	4	4	4	4	4	4	4	0
Abhängigkeit von abbaubares Material	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0
Leerungsintervall	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	1	0
Leerungstechnologie	2	0	0	0	0	0	4	-	4	4	4	4
Lokale Produzierbarkeit	1.3	1.3	1.3	0	1.3	1.3	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Entfernung von CSB,BSB	0	4	4	4	4	4	4	4	4	1	3	0
Entfernung von TSS	0	4	4	4	4	4	3	3	1	3	4	0
Entfernung von N	1	2	2	2	1	2	2	2	0	0	2	0
Entfernung von P	1	1	1	1	2	1	1	2	0	0	1	0
Hygienisierung	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Platzbedarf	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
Reparaturen und Wartung	2.6	0	0	0	0	0	1.3	1.3	0	1.3	2.6	1.3
Institutionelle Abhängigkeit	2.6	0	0	0	0	1.3	2.6	1.3	0	1.3	0	1.3
Managementebene	3	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	1
Zeithorizont für die Umsetzung	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.6	2.6	1.3	2.6
Wiederverwendbarkeit von Energie,Wasser, Nährstoff und Humus	1	2	2	2	2	2	1	2	0	0	1	1
Mittelwert	2.29	1.63	1.81	1.47	1.71	1.76	2.01	2.275	1.96	2.03	2.07	1.99

Tabelle 19 Bewertung der Entsorgung

	Uninverbringung	Bewässerung	Sickergrube	Sickerfeld	Gewässereinleitung	Füllen und Verschliessen/Arborloo	Trockenfäzesverbringung	Kompost- bzw. Humus-Verbringung	Landverbringung von Klärschlamm	Deponierung
Anwendungsebene	4	4	3	2	1	3	3	4	1	1
Temperatur	4	2	2	2	4	4	4	4	2	4
Bei Überschwemmungen & Starkregen	4	4	0	4	4	0	0	4	0	4
bei hohem GW-Stand	4	4	0	0	4	0	4	4	4	0
Bodenverhältnisse	0	0	0	0	4	0	4	4	4	0
Investitionskosten	4	3	4	4	4	4	4	4	4	2
Personalaufwand für Aufbau & Betrieb	2	0	2	0	4	4	2	2	2	2
Energieaufwand	4	2	4	3	3	4	4	4	4	4
Materialaufwand	3	2	3	2	2	4	3	3	2	3
Abhängigkeit von Wasser	4	0	4	1.3	2.6	4	4	4	4	4
Abhängigkeit von Energie	4	1.3	4	2.6	2.6	4	4	4	4	4
Abhängigkeit von Betriebsmittel	4	4	4	4	4	4	4	4	2.6	2.6
Lokale Produzierbarkeit	4	2.6	4	2.6	4	4	4	4	4	4
Platzbedarf	0	1	4	2	4	4	-	-	-	1
Reparaturen und Wartung	2.6	2.6	1.3	1.3	2.6	4	4	4	1.3	1.3
Institutionelle Abhängigkeit	1.3	1.3	4	1.3	2.6	4	4	4	1.3	0
Managementebene	4	4	2	4	4	2	4	4	4	4
Zeithorizont für die Umsetzung	0	1.3	0	0	0	0	2.6	2.6	0	0
Wiederverwendbarkeit von Energie, Wasser, Nährstoff und Humus	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0
Mittelwert	2.84	2.11	2.38	1.9	2.97	2.79	3.31	3.59	2.51	2.15

5. Systemauswahl

5.1. Beschreibung der Basissystem

5.1.1 Trockentoilette-System

Trockentoiletten-, UDDT-systeme sind wasserlose und einfache Systeme, welche aus einer Behandlungsstufe und keinen oder wenigen elektrische Teilen (d.h. geringer Bedarf an elektrischer Energie) bestehen. Der Betrieb und die Wartung sind einfach, deshalb sie können mit ungeschulten Arbeitern errichtet werden. Der Materialaufwand für den Bau ist gering. Bei Starkregen und Überschwemmungen kommt es zu einer Überflutungsgefahr der Latrine. Sie erfordert einen durchlässigen Boden, wodurch das Grundwasser verschmutzt werden kann und sie deshalb nur in einer gewissen Entfernung von Trinkwasserquellen eingesetzt werden können. Der Fäkalienschlamm wird im Handbetrieb entleert und transportiert.

Das Trockentoiletten-System erfordert kein Spülwasser, weshalb sie besonders für Gebiete mit Wasserknappheit geeignet ist. Allerdings kann das Grauwasser nicht mit in diesem System behandelt werden und das System hat einen geringen Komfort.

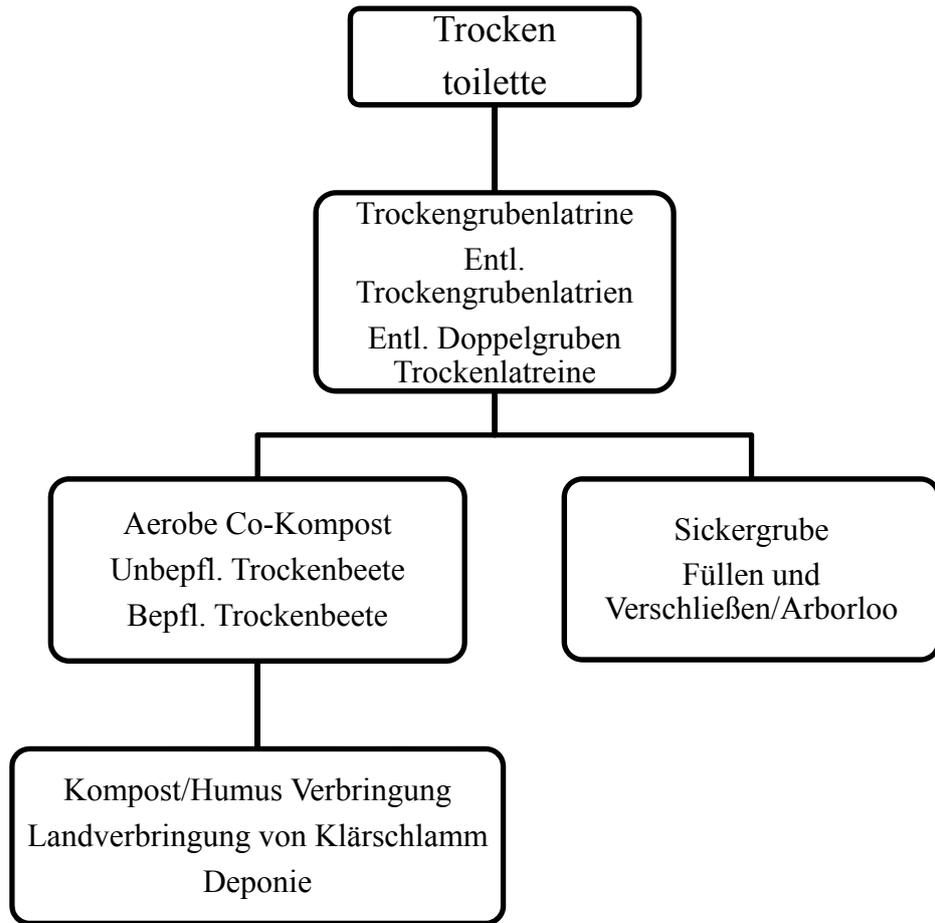


Abbildung 14: Übersicht möglicher Komponenten für Trockentoilette-System

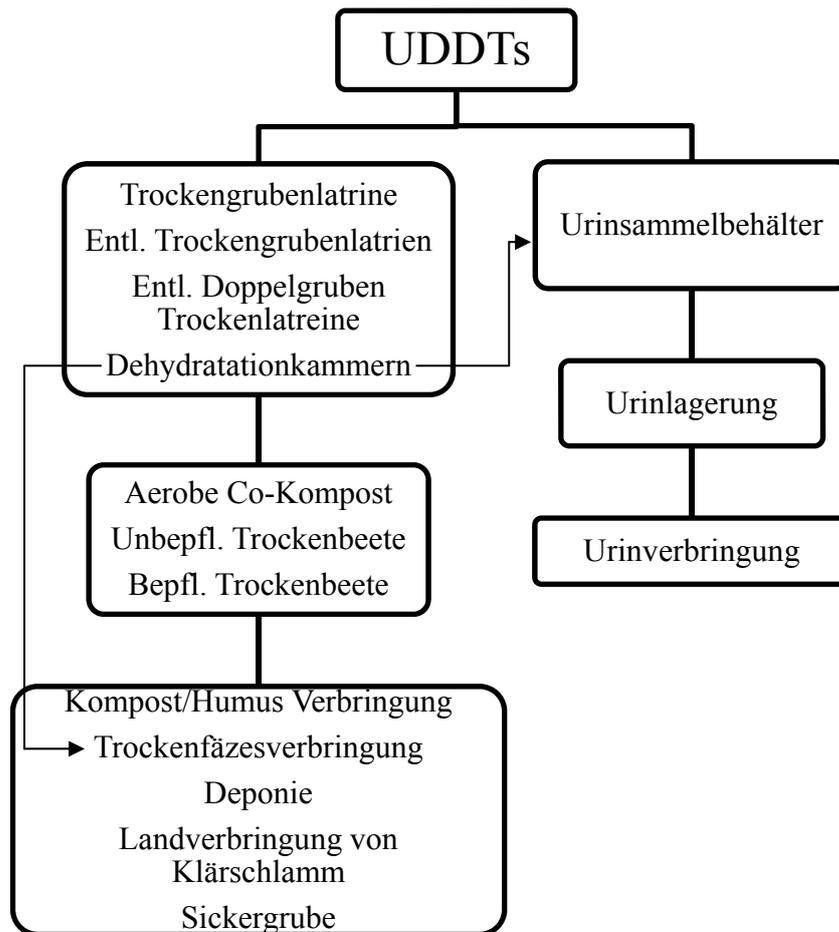


Abbildung 15: Übersicht möglicher Komponenten für Trockentoilette mit Urintrennung - System

5.1.2 Spültoilette-System

Das Schwarzwasser wird durch die Spültoilette in die Absetzgrube abgeleitet und dort zwischengelagert. Das Grauwasser kann ebenfalls mitbehandelt werden. In der primären Behandlungsstufe findet die Trennung von fester und flüssiger Phase durch Sedimentation statt. Die flüssigen Teile können durch Sickerfelder im Boden versickert bzw. zusammen mit den festen Teilen im Handbetrieb, motorisierten Betrieb oder durch ein feststofffreies Kanalsystem zur semizentralen bzw. zentralen Weiterbehandlungsstufe transportiert werden. Spültoiletten-Systeme sind wasserabhängig und benötigen einen regelmäßigen Wasserstrom. Sie müssen regelmäßig entschlammt werden. Im Vergleich zum Trockentoiletten-System sind die

Investitions- und Betriebskosten höher. Für das feststofffreie Kanalsystem muss eine funktionierende Infrastruktur vorhanden sein.

Die Co-Kompostierung ist auf Grund des hohen Wassergehaltes des Schlammes nicht geeignet. Es würden große Mengen an Co-Material benötigt, wodurch sich der Materialaufwand stark erhöhen würde.

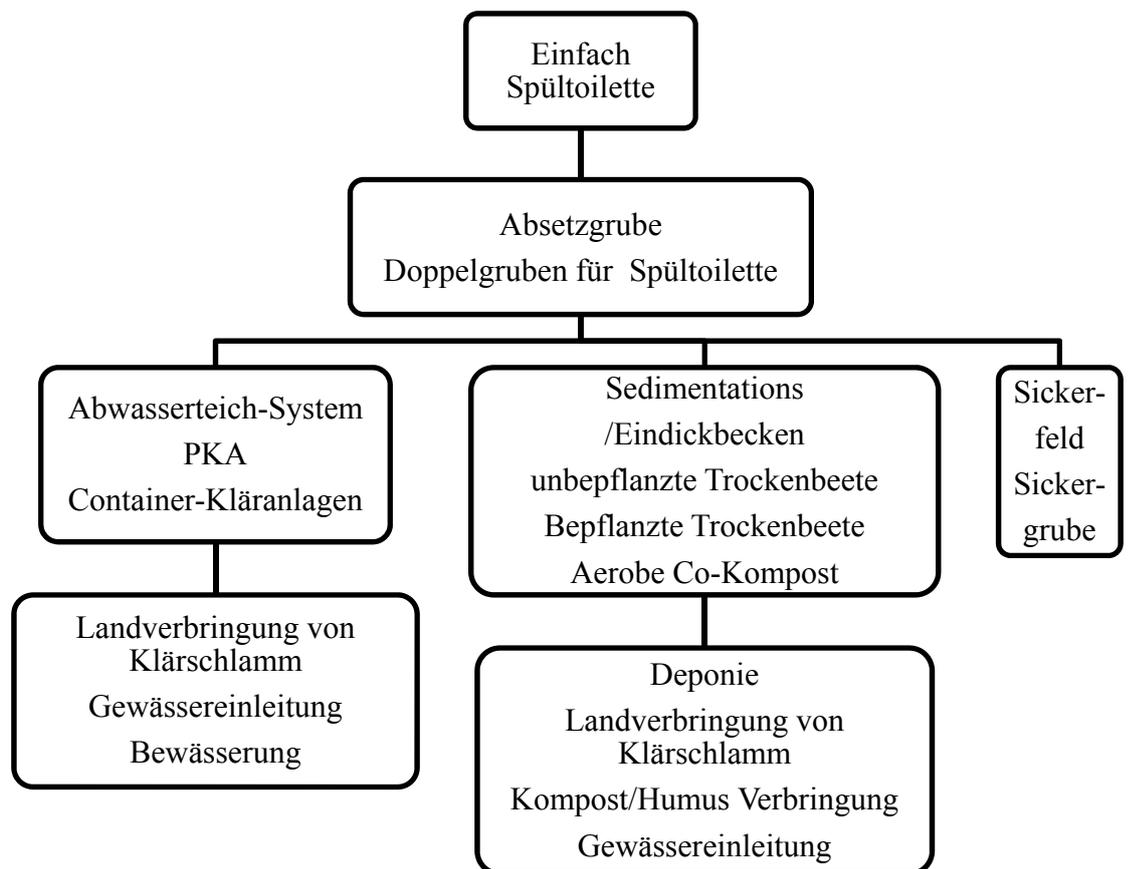


Abbildung 16: Übersicht möglicher Komponenten für Einfach Spültoilette-System

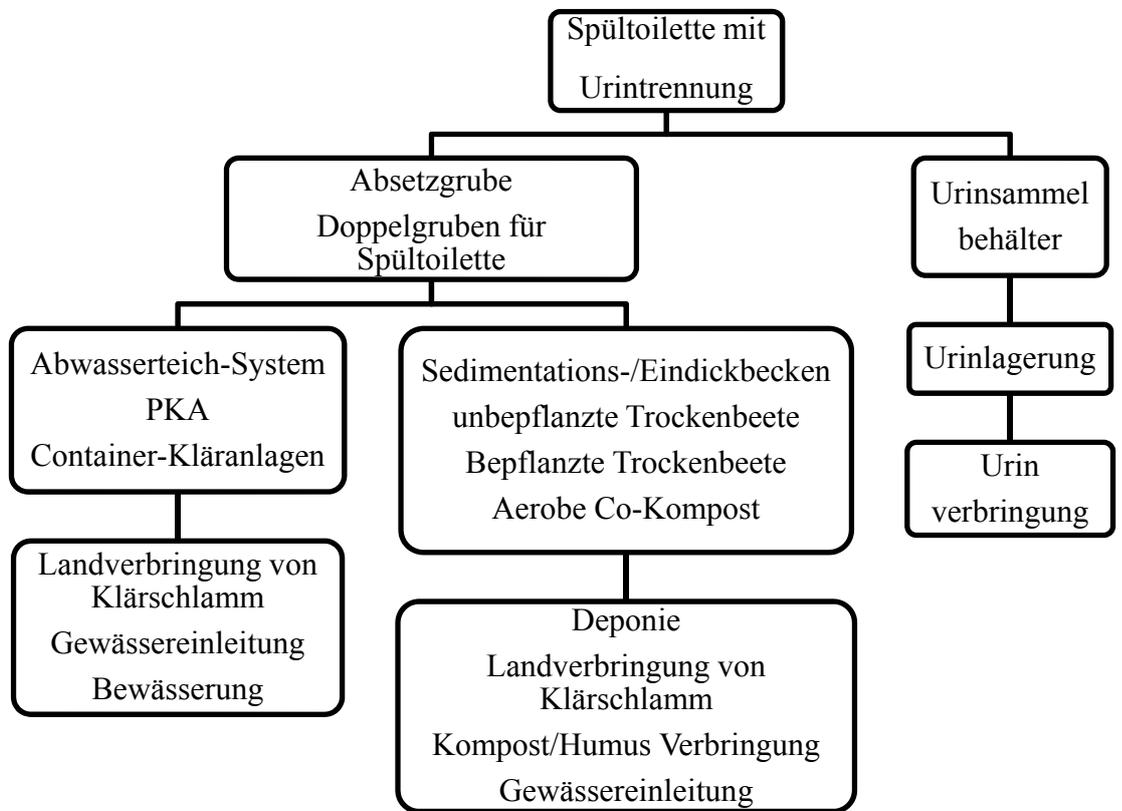


Abbildung 17: Übersicht möglicher Komponenten für Trockentoilette-System



Abbildung 18: Übersicht möglicher Komponenten für Spülkasten- Toilette

5.2 Beschreibung der ausgewählte System

In Tabelle 15 bis 19, wird der Mittelwert von jeder Komponente ausgerechnet und in Anhang I wird die Variante verglichen. Die Berechnungen und Reinigungsleistungen können ebenfalls dem Anhang entnommen werden.

5.2.1 Variante 1: Trockentoilette

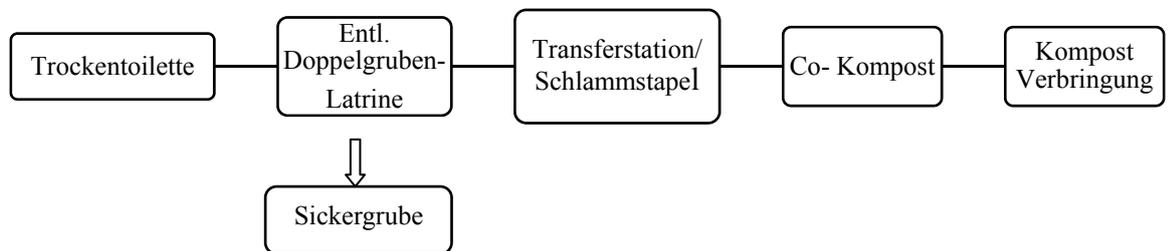


Abbildung 19: Fließschema Variante 1

Beschreibung Variante 1

Fäkalien werden ohne Wasserspülung in Entlüftete Doppelgrubenlatrine geleitet. Die flüssigen Bestandteile werden im Boden versickert, wodurch die enthaltenen Pathogene sowie Teile der Stofffracht reduziert werden. Nachdem die Grube gefüllt ist, wird sie verschlossen und die zweite Grube wird verwendet. Wenn die zweite Grube fast gefüllt ist, wird die erste Grube geöffnet und der Fäkalschlamm entleert. Die Leerung und der Transport zu einer Transfersation oder Schlammstapel kann durch den Nutzer bzw. Personal erfolgen. Der Fäkalschlamm wird dort zwischen gelagert, bis er zu einer zentralen anaeroben Kompostanlagen transportiert wird. Die Entleerung und der Transport des Schlammes aus dem Schlammstapel kann nur motorisiert erfolgen. Der entstehende Kompost kann als Düngemittel in der Landwirtschaft bzw. als Bodenverbesser eingesetzt werden.

Technische Anforderungen:

Der Platzbedarf der Entl. Doppelgrubenlatrine beträgt 2,25 m² pro Latrine, bei einer Mindestdiefe von 2 m (Harvey 2007). Es muss ein Entleerungsintervall von mindestens 4 Jahren angenommen werden. Die Toilette kann aus vorhandenen Materialien gebaut werden, z.B. Holz, Beton usw. Sickergruben sind ca. 2 m tief und werden unter die Latrine gebaut. Die Sickergruben sollen idealerweise mindestens 30 m von einer Trinkwasserquelle entfernt gebaut werden. Co-Kompostanlagen werden zentral errichtet. Sie erfordern kohlenstoffreiche Strukturmaterialien wie z.B. Holzspäne, Bioabfälle, Stroh usw. In der Ukraine ist Weizen die wichtigste Nutzpflanze, weshalb Stroh einfach zu beschaffen ist.

Berechnung von Co-Kompost:

Der feste Fäkalienschlamm wird zusammen mit Soil bzw. organisches Material (Stroh) im Verhältnis 1:3 kompostiert, und bei dem flüßiges Fäkalienschlamm beträgt das Verhältnis 1:5 bis 1:10.

Für die Schlammdichte werden für unbehandelten Schlamm und Faulschlamm mit 1020 g/L, für eingedickten Schlamm 1030 g/L und für entwässerten Schlamm 1060 g/L angenommen (Tschobanoglous, Burton et al. 2003).

$$\begin{aligned}M_{\text{Strohbagasse}} &= 3 * (\text{Volumen des Schlammes} * \text{Dichte des Schlammes}) \\ &= 3 * 0.151\text{L} * 1.06 \text{ kg/L} \\ &= 0.48 \text{ kg Strohbagasse pro Einwohner pro Tag}\end{aligned}$$

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Materialflussanalyse von Variante 1 dargestellt.

Tabelle 20 Ergebnisse der Materialflussanalyse von Variante 1

	Trocken- toilette	Entl. Doppelgrubenlatrine	Sickergrube	Co- Kompost	
				Zugabe von Co-Material	Abgabe
Q	1.51	0.151	1.359	0.48kg/E*d	0.63 kg/E*d
TS	95/62.91	76/503.3	19/14.07		
CSB	70/46.36	59.5/394.03	10.5/7.73		
N	11.9/7.88	3.21/21.4	8.69/6.43		
P	1.5/0.99	0.6/3.97	0.9/0.67		
Q (l/E*d) TS,CSB,N,P (g/E*d) / (g/l)					

Bewertung:

Die Variante 1 ist einfach zu bauen und zu betreiben, sie kann durch die Nutzer selbst umgesetzt werden und ist kostengünstig. Nach meinen Berechnungen werden ca. 230 kg Kompost pro Einwohner pro Jahr entstehen. Der Kompost ist hygienisch und kann als Düngemittel in der Landwirtschaft benutzt werden. Der entstehende Kompost kann verkauft werden, wodurch sich die Einkommen der Einwohner und Beschäftigungsmöglichkeiten erhöhen. Es sind keine speziellen Maschinen oder Elektrizität notwendig für die Entleerung.

Das Grauwasser kann nicht mitbehandelt werden. Tabelle 20 zeigt, dass große Stofffrachtmengen im Boden versickert werden, wodurch das Grundwasser verschmutzt wird. Diese Variante hat einen geringen Komfort im Vergleich zum Spültoiletten-System. Latrinen-Toiletten werden meist draußen gebaut, weshalb sie unsicher für Frauen und Kindern sind.

5.2.2 Variante 2: Trockentoilette mit Urintrennung

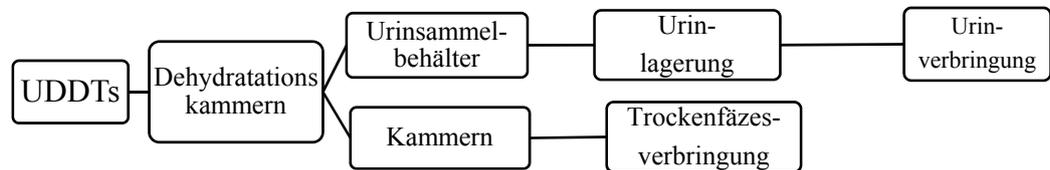


Abbildung 20: Fließschema Variante 2

Beschreibung Variante 2

Durch den Einsatz einer Trocken-Urintrenntoilette werden Fäkalien ohne Wasserspülung in Urin und Fäzes aufgeteilt. Fäzes und Urin werden getrennt und in Dehydratationskammern (siehe Abbildung 5) geleitet und gelagert. Durch Zugabe von Asche, Soil oder Kalk wird der Fäzes schnell getrocknet. Nach der Lagerung kann der Urin und Trockenfäzes im Garten und in der Landwirtschaft verwendet werden. In Tabelle 7 wurden bereits die notwendigen Lagertemperaturen und Lagerdauern zur Hygienisierung von Fäzes und Urin gezeigt.

Technische Anforderungen:

Jeder Mensch wird ca. 50 L Kot pro Jahr erzeugen, was für eine Familie mit 4 Personen einen 200 L Speicherplatz erfordert. Die Kammern müssen trocken gehalten werden. Dehydratationskammern erfordern einen Abzug, um Fliegen und Geruchsbelastungen zu vermeiden und die Kammern trocken zu halten. Urin kann in einem Eimer gesammelt werden und in dem Garten oder der Landwirtschaft verwendet werden. Der Urin eines Menschen kann ca. 300-400 m² (0,03-0,04 ha) pro Jahr düngen (EcoSanRes).

Tabelle 21 Ergebnisse der Materialflussanalyse von Variante

	Dehydratationskammern		Urinlagerung	
	Urinsammelbehälter	Kammern	Ausfällung	Ablauf von Urin
Q	1.37/-	0.14/-	0.0274/-	1.34
TS(TR bei Urin)	57/41.61	38/271.43	-/-	57/42.54
CSB	10/7.3	60/428.57	-/-	10/7.46
N	10.4/7.59	1.5/10.71	0.1/13.65	10.31/7.69
P	1.0/0.73	0.5/3.57	0.2/7.3	0.8/0.6
Q (l/E*d)				
TS,CSB,N,P (g/E*d) / (g/l)				

Bewertung:

Die Variante 2 ist ein wassersparendes ökologisches System. Wie Tabelle 21 zeigt, nehmen die Nährstoffe im Urin und Fäzes nur gering ab, weshalb diese nach der Lagerung als Düngemittel in der Landwirtschaft genutzt werden können. Dieses System umfasst nur eine Behandlungsstufe und ist einfach zu errichten. Es hat nur geringe Investitions- und Betriebskosten und der Betrieb kann durch den Nutzer geschaffen werden. Diese System ist besondere für den Haushalt geeignet.

Beim Umgang mit Urin und Fäzes haben die Menschen ein schlechtes Gefühl, auf Grund des direkt sichtbaren Fäzes und dem Geruch von Urin. Die Reinigung ist schwierig. Analreinigungsmittel müssen separat gesammelt werden und das Grauwasser kann nicht mitbehandlet werden.

5.2.3 Variante 3: einfache Spültoilette

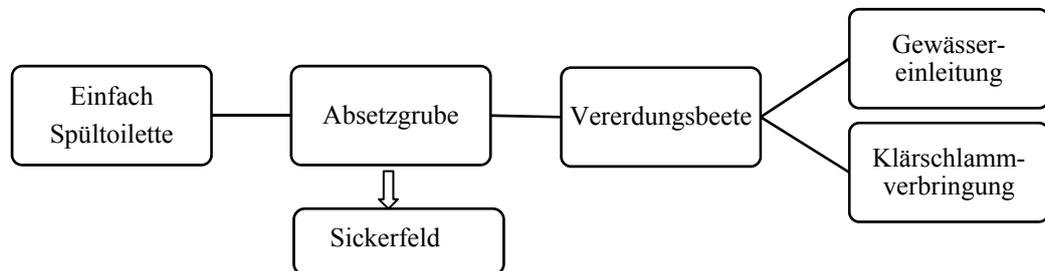


Abbildung 21: Fließschema Variante 3

Beschreibung von Variante 3

Fäkalien werden zusammen mit dem Spülwasser in die Absetzgrube geleitet, Analreinigungsmittel, wie z.B. Toilettenpapier, sollten separat gesammelt werden. Grauwasser kann ebenfalls in die Absetzgrube geleitet werden. Nach der Trennung der festen und flüssigen Phase wird die flüssige Phase zum Sickerfeld geleitet und dort durch das Versickern durch eine Bodenpassage von Pathogenen und Schwebstoffen befreit. Der abgesetzte Schlamm wird mechanisch entleert und zu einer zentralen Schlammbehandlungsanlage (Vererdungsbeete) transportiert. Der getrocknete Schlamm wird in der Landwirtschaft verbracht oder deponiert.

Technische Anforderungen:

- 5-6L / (EW·d) Schwarzwasseranfall aus Toilette
- Annahme von Abwassermenge: 70 l/(E*d)
- Absetzgruben

Der Platzbedarf von Absetzgruben beträgt ca. 0,03 - 0,05 m² pro Nutzer (von Sperling und de Lemos Chernicharo 2005). Die hydraulische Aufenthaltszeit beträgt ca. 1-3 Tage. Die Absetzgrube sollte dicht sein. Sie besteht aus mindestens zwei Kammern, wovon die erste Kammer doppelt so lang ist wie die zweite Kammer. Ein T-förmiges Ablaufrohr ist notwendig, um die Schwebstoffe zurück zu halten. Die regelmäßige Kontrolle des Wasserstandes und des Schlammspiegels ist notwendig. Die Absetzgrube sollte alle 2-3 Jahre entleert werden, um die Reinigungsleistung zu

gewährleisten.

- Sickerfeld

Der Platzbedarf wird aus der bodenspezifischen Infiltrationsrate (ca. 10- 50 L/m²·d, (Harvey 2007)) und der hydraulischen Belastung berechnet. Er liegt bei etwa 1-6 m² pro Nutzer (von Sperling und de Lemos Chernicharo 2005). Nach meiner Berechnung benötigt ein Haushalt mit 4 Person ca. 20 m². Die notwendigen Sicherheitsabstände zu Trinkwasserressourcen und Grundwasser sind 30 m (Tilley & Lüthi 2008).

- Vererdungsbeete

Die Belastbarkeit von Schilfbeeten ist begrenzt, bei zu hohen Schlammgaben erfolgt die Umsetzung nur unvollständig. Die spezifische Flächenbelastung liegt nach bisherigen Erfahrungen etwa zwischen 30 und 50 TS kg/m²·a. Der Platzbedarf ist abhängig von der Beschaffenheit des Klärschlammes und beträgt normalerweise 0,25-1 m²/E (Hoffmann, 1992). Das Kiesbett besteht aus einer 0,25 m tiefen Kiesschicht (Korndurchmesser 10 mm) und wird von einer ca 0,1 m dicken Sandschicht bedeckt (Crites, Middlebrooks et al. 2006). Der getrocknete Schlamm wird nach 2 bis 3 Jahren entfernt (Tilley & Lüthi 2008).

Bewertung:

Die System ist energieunabhängig und robust. Der Aufbau und Betrieb von dezentrale Anlagen kann durch geschultes Personal geschaffen werden, für zentrale Anlagen ist allerdings Fachpersonal nötig. Absetzgruben haben eine geringe Reinigungsleistung von Stickstoff und Phosphor (< 35%), weshalb bei ihnen mit einer hohen Belastung zu rechnen ist.

Die Vorteile sind:

- hohe hygienische und stoffliche Qualität des Ablaufes,
- Grauwasser kann mitbehandelt werden,
- komfortabler als das Trockentoiletten- System.

Nachteile:

- Grundwasser- und Bodenbelastung auf dezentraler Ebene
- höhere Investitions- und Betriebskosten als Trockentoiletten- System
- Planung und Bau benötigt Fachpersonal
- großer Platzbedarf auf dezentraler Ebene

Tabelle 22 Ergebnisse der Materialflussanalyse von Variante 3

	Absetzgrube			Sickerfeld	Vererdungsbeete		
	Zulauf	Schlamm	Ablauf		Zulauf	Schilf/Schlamm	Ablauf
Q	70	1.16	68.84	68.84	1.16	0.464	0.696
TS	141/2.01	77.55/66.85	63.45/0.92	63.45/0.92	77.55/66.85	51.18/110.3	26.37/37.89
CSB	100/1.43	25/21.55	75/1.09	75/1.09	25/21.55	19.75/42.56	5.25/7.54
N	12.55/0.18	0.63/0.54	11.9/0.17	11.9/0.17	0.63/0.54	0.315/0.68	0.315/0.45
P	1.85/0.026	0.2/0.17	1.65/0.02	1.65/0.02	0.2/0.17	0.1/0.22	0.1/0.14
Q (l/E*d) TS,CSB,N,P (g/E*d) / (g/l)							

5.2.4 Variante 4: Spültoilette

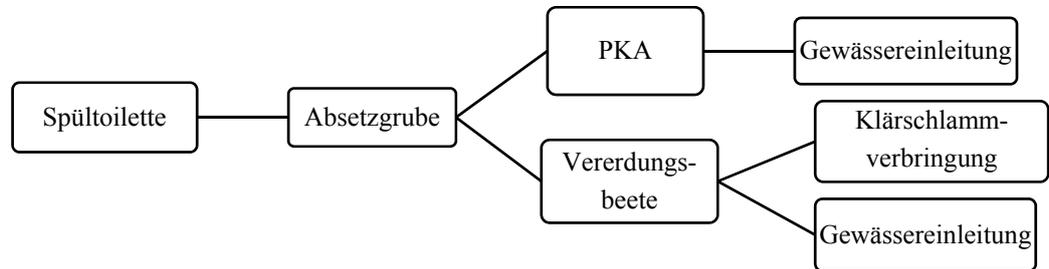


Abbildung 22 Fließschema Variante 4

Beschreibung von Variante 4

Fäkalien mit Spülwasser werden zusammen in eine Absetzgrube geleitet, Grauwasser kann ebenfalls in die Absetzgrube geleitet werden. Die flüssige Phase wird durch das feststofffreie Kanalsystem zur Pflanzenkläranlage transportiert und dort weitergehend behandelt. Das gereinigte Abwasser wird in ein nahe liegendes Gewässer eingeleitet. Die Entleerung und der Transport des angesetzten Schlammes zu zentralen bepflanzten Trockenbeeten erfolgt motorisiert. Dort wird der Nassschlamm über die Drainageschicht und in der Vegetationsperiode zusätzlich über die Blattmasse des Schilfes durch Verdunstung entwässert.

Technische Anforderungen:

- Absetzgruben und Vererdungsbeete gleich wie Variante 3.
- Feststofffreies Kanalsystem

Das feststofffreie Kanalsystem kann normalerweise mit PVC- Rohrleitungen verlegt werden. Der Durchmesser ist abhängig von der Fließgeschwindigkeit des Abwasseres und beträgt mindestens 75 mm. Typische Grabentiefen betragen 0,6 bis 0,9 m. Das feststofffreie Kanalsystem erfordert einen konstante Abwasserstrom, jedoch keine regelmäßige Reinigung.

- PKA

Das zu reinigende Wasser (häusliches Abwasser) wird zuerst in einer Vorklärung von absetzbaren Bestandteilen befreit. Wichtigste Voraussetzung

ist, dass die maximalen Zulaufmengen und –konzentrationen nicht langfristig überschritten werden dürfen, um eine optimale Reinigungsleistung zu gewährleisten und die Gefahr der Verstopfung zu vermeiden. Weiterhin ist beim Betrieb der Pflanzenkläranlage darauf zu achten, dass der Filterkörper möglichst gleichmäßig durchströmt wird und sich keine Kurzschlussströme bilden (Geller und Honer, 2003, 138). Die ATV- DVWK empfiehlt PKA-Anlagen nur bis zu einer Größe von 1.000 Einwohnerwerten einzusetzen.

Bewertung:

Diese Variante beinhaltet wenig Technik, wodurch sie relativ wartungsarm ist, aber trotzdem hervorragende Ergebnisse liefert. Pflanzenkläranlagen erbringen bei der Hygienisierung eine sehr gute Leistung, sie können Viren, Fäkalkeime, Coliforme, Wurmeier und Protozoen komplett entfernen. Das gereinigte Abwasser kann direkt in Oberflächengewässer abgeleitet oder in der Landwirtschaft zu Bewässerung genutzt werden. Der Bau- und Betriebsaufwand in den dezentralen Anlagen ist durch das feststofffreie Kanalsystem und die Absetzgruben höher als beim Trockentoiletten –System. Für kleine Gemeinden ist sie als eine permanente Lösung geeignet. Auf zentraler Ebene hat diese Variante einen großen Platzbedarf.

Tabelle 23 Ergebnisse der Materialflussanalyse von Variante 4

	Absetzgrube			PKA			Vererdungsbeete		
	Zulauf	Fest	Flüßig	Zulauf	Schilf	Ablauf	Zulauf	Schilf/Schlamm	Ablauf
Q	110	1.815	108.185	108.185	2.16	105.84	1.815	0.726	1.074
TS	166/1.51	91.3/50.30	74.7/0.69	74.7/0.69	67.23/31.125	7.47/0.07	91.3/50.30	60.26/83.0	31.04/28.9
CSB	117/1.06	29.25/16.25	87.75/0.81	87.75/0.81	81.61/37.78	6.14/0.06	29.25/16.25	23.11/31.83	6.14/5.72
N	13/0.12	0.65/0.36	12.35/0.114	12.35/0.114	4.94/2.29	7.41/0.07	0.65/0.36	0.325/0.45	0.325/0.30
P	2/0.018	0.22/0.12	1.78/0.016	1.78/0.016	0.89/0.41	0.89/0.01	0.22/0.12	0.11/0.15	0.11/0.10
Q (l/E*d)									
TS,CSB,N,P (g/E*d) / (g/l)									

5.3 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse der SanitÄrlösungen

In Variante 1 werden ca. 230 kg Kompost pro Einwohner pro Jahr entstehen. Für einen Haushalt mit 4 Personen werden ca. 1000 kg Kompost pro Jahr entstehen. Der Kompost ist hygienisch und kann als Düngemittel in der Landwirtschaft benutzt werden. Da die Kompostanlagen einen größeren Platzbedarf benötigen, können sie nur auf der zentralen Ebene errichtet werden. Dadurch erhöht sich der Transportaufwand. Die Kompostanlagen benötigen Arbeiter, durch den Kompostverkauf können die Arbeiter ihr Einkommen erhöhen. Diese Variante eignet sich für eine Gemeinde, deren Einwohner relativ zentral wohnen.

Die Variante 2 hat wenig Behandlungsstufen und auch einen einfacheren Aufbau und einfachere Steuerung, deshalb sind sie für sehr dünn besiedelte Gebiete besonders geeignet.

Diese beiden Varianten benötigen kein Wasser, deshalb können sie in Gebieten errichtet werden, wo keine zentrale Trinkwasserversorgung angeschlossen ist.

Bei den Varianten 3 und 4 handelt es sich um Spülwassersysteme, welche einen höheren Komfort bieten, jedoch einen Trinkwasseranschluss voraussetzen. Außerdem hat die Absetzgrube eine geringere Reinigungsleistung, deshalb ist eine weitergehende Behandlung notwendig. Für eine Gemeinde mit 500 bis 1000 Einwohnern ist eine Pflanzenkläranlage adäquat. Die Ablaufwerte von Variante 4 erfüllen die Anforderungen für die Einleitung (vgl. Tabelle 4). Variante 3 ist einfacher als Variante 4, aber sie ist eine Belastung für die Böden und auch eine Verschmutzungsgefahr für die Trinkwasserquellen. Für Einzelhaushalte mit geringerem Wasserverbrauch ist die Variante 3 die Vorzugslösung. Sie ist energieunabhängig und robust und auch einfacher im Betrieb.

6 Schlussfolgerungen

In der Ukraine gibt es große Unterschiede in der Abwasserentsorgung und Wasserversorgung zwischen Städten, Gemeinden und den ländlichen Gebieten. In den Städten und Gemeinden gibt es schon relativ komplette und zentrale Wasserversorgungssysteme und Abwasserentsorgungssysteme. Nach einer Sanierung können diese Systeme gut funktionstüchtig gemacht werden. In ländlichen Gebieten hingegen gibt es wenig oder keine Infrastruktur für die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Das Abwasser wird wenig oder ohne Behandlung direkt in die Gewässer eingeleitet, was zu einer starken Verschmutzung der natürlichen Gewässer führt. Die Ausscheidungen der Menschen bzw. Haustiere enthalten möglicherweise eine Reihe von Krankheitserregern (z.B. Bakterien, Viren, Protozoen usw.), wodurch die Böden und das Grundwasser schwer belastet werden. Das ungereinigte Abwasser und die Fäkalien verschmutzen ebenfalls die Trinkwasserquellen, was zu einer Gesundheitsgefahr für die Menschen führt.

Im ländlichen Raum wohnen die Bewohner zum Teil sehr weit von einander entfernt und Fachpersonal und fachliches Wissen fehlen, weshalb es an die Klärverfahren im ländlichen Raum spezielle Anforderungen gibt:

1. einfacher Bau, einfache Steuerung
2. robuster Betrieb, geringer Wartungsaufwand
3. Widerstandsfähig gegenüber schwankenden hydraulischen Belastungen und Schmutzstößen
4. Flexibel gegenüber veränderten Bedingungen
5. Ausbaufähig für höhere Reinigungsanforderungen
6. Klärschlammbehandlung, Klärschlammverwertung muss sichergestellt sein
7. Preiswerte Anlagen, Preiswerte Gesamtkonzepte

Die dezentralen Verfahren der Abwasserbehandlung werden im Zuge der Nachhaltigkeitsforderung zunehmend an Bedeutung gewinnen. Nachhaltige Sanitärversorgungssysteme („ecosan“) sind ein neues Paradigma in der Siedlungswasserwirtschaft. Es beinhaltet auch ökologische Abwasserentsorgungssysteme und besteht aus dem Sammlungs-, Lagerungs-, Transfer- & Transport-, Behandlungs-, und Ressourcenmanagement- und Wiederverwendungsprozess.

In der Praxis ist die separate Sammlung und Behandlung von Fäkalien, Urin und Grauwasser ein häufig angewandtes Verfahren des ecosan-Konzeptes, wodurch die Nutzung von Trinkwasser für die Spülung von menschlichen Ausscheidungen reduziert werden kann. Nach einer Behandlung können Fäkalien und Urin als Düngemittel in der Landwirtschaft wiederverwendet werden, Grauwasser kann nicht nur in der Landwirtschaft, sondern auch als lebendiges Wasser (z.B. für die Toilettenspülung) wieder genutzt werden. Eine häufig vorteilhafte Stoffstromtrennung und -konzentration lässt sich beispielsweise durch Urinseparation oder die Trennung von Schwarz- und Grauwasser erreichen.

Literaturverzeichnis

Agnes Montangero, Hasan Belevi (2006) Assessing nutrient flows in septic tanks by eliciting expert judgement: A promising method in the context of developing countries WAT E R R E S E A R C H

ATV (1997). Biologische und weitergehende Abwasserreinigung. Berlin, Ernst & Sohn.

ATV(1998) Abwassertechnische Vereinigung e.V. (Hrsg.): Arbeitsblatt ATV-A 262 - Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten für kommunales Abwasser bei Ausbaugrößen bis 1.000 Einwohnerwerte, Hennef, 1998.

ATV-DVWK(2003) Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.): ATV-DVWK-A 201 Entwurf (2003) - Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichanlagen, Hennef, 2003.

Bahlo et al.(1996) Bahlo, Klaus; Wach, Gerd: Naturnahe Abwasserreinigung Planung und Bau von Pflanzenkläranlagen, Staufen bei Freiburg, 1996. S.9

Bever, J. & Stein, A (2002). Weitergehende Abwasserreinigung, 4. Auflage, Verlag Oldenbourg.

Bischof(1993) Bischof, Wolfgang: Abwassertechnik, 10. Auflage, Stuttgart, 1993.

Boller et al. (2002a) Boller, Reinhard; Strunkheide, Jörg; Witte, Hartmut: Kleinkläranlagen - Ein Praxis- Handbuch für Betreiber, Wartungsbetriebe und Behörden, München, 2002.

Burkhard, R., A. Deletic, et al. (2000). Techniques for water and wastewater management: a review of techniques and their integration in planning. UrbanWater(2): 197-221.

Böhnke, B. & Bischofsberger, W. (1993). Anaerobtechnik, Handbuch der anaeroben Behandlung von Abwasser und Schlamm, Springer-Verlag.

Clemens, J., H. Daebel, et al. (2008). Neuartige Sanitärsysteme. Köthen, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Crites, R., E. J. Middlebrooks, et al. (2006). Natural Wastewater Treatment Systems, Taylor & Francis Group.

Crites, R. and G. Tchobanoglous (1998). Small and Decentralized Wastewater Management Systems, WCB/ McGraw-Hill.

DI Nathalia Kisliakova(2006), Umwelttechnikmärkte in Russland, der Ukraine und Georgien Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT)

Dr. Hettler & Partner – Consulting GUS(2004) Endbericht Konzeptarbeit zur Modernisierung typisierter Kläranlagen in der Ukraine

Dreberis GmbH (2008) Abschlussbericht „Grenzüberschreitendes Wassermanagement in der ukrainisch-polnischen Grenzregion von Bug und San“ Beratungshilfeprojekt FKZ 308 01 143

EAWAG, S. F. I. o. A. S. a. T. (2005). Household-Centred Environmental Sanitation- Implementing the Bellagio Principles in Urban Environmental Sanitation. Provisional Guideline for Decision-Makers. Dübendorf, Swiss, EAWAG/SANDEC: 48.

EcoSanRes (2008). EcoSanRes Factsheet 6: Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production, EcoSanRes- Stockholm Environment Institute.

EPA, U. (1991). Alternative Wastewater Collection Systems. Center for Environmental Research Information, U.S. Environmental Protection Agency.

EPA, U. (1994). Guide to Septage Treatment and Disposal, U.S. Environmental Protection Agency.

Fehr(2000) Fehr, Günter: Alternative Ortsteilkäranlagen, in: Kommunale Umwelt-Aktion U.A.N. (Hrsg.): Konzepte zur Abwasserbehandlung im ländlichen Raum Band III, Hannover, 2000, S.47-67.

Finke(2001) Finke, Gerrit; ATV-DVWK Landesverband Nord (Hrsg.): Kleinkläranlagen - Technik, Recht, Planung, Ausführung, Wartung, Hildesheim, 2001.S.27

Franceys, R., J. Pickford, et al. (1992). A Guide to Development of on-Site Sanitation, WHO World Health Organization.

Geller und Honer, 2003 Anwenderhandbuch Pflanzenkläranlagen Springer Verlag Berlin Heidelberg New York

Gerwal(2003) Gerwal GmbH und Co. KG (Oberstadt) (Firmenmaterial): Klärtechnik 2003, 2003.

GEP Umwelttechnik (2006b) Die GEP-Grauwasseranlage mit WME-4., Im Internet unter: <http://www.gep-umwelttechnik.com>

GTZ. (2006). Capacity Building for Ecological Sanitation- Ecosan Resource Material.

Harvey, P. (2007). Excreta Disposal in Emergencies- A Field Manual, WEDC

Water,Engineering and Development Centre,Loughborough University.

Heinss, U., M. Strauss, et al. (1997). Tons of excreta and ways to treat them. 23rd WEDC Conference- Water and Sanitation for all: Partnerships and Innovations. Durban, South Africa, WEDC.

Hoffmann, K. –F(1992) Entwässerung und Vererdung von Klärschlamm in Schilfbeeten, Stuttgart, 1992.

Hosang, W. and W. Bischof (1998). Abwassertechnik. Stuttgart; Leipzig, B.G. Teubner.

Imhoff, K. and K. Imhoff (2007). Taschenbuch der Stadtentwässerung. München, Oldenbourg Industrieverlag GmbH.

Informationssammlung für den internationalen Tag des Wassers
<http://mama-86.org.ua/waterday2005/resources.htm>

IWA (2005). Pond Treatment Technology, IWA International Water Association.

Jörg Londong, Hans-Peter Hack (2006) Abwasserbehandlung Gewässerbelastung, Bemessungsgrundlagen, Mechanische Verfahren, Biologische Verfahren, Reststoffe aus der Abwasserbehandlung, Kleinkläranlagen, Bauhaus-Universität Weimar (DWA), Rombach, Freiburg 2006.

Koné, D. & M. Strauss Low-cost Options for Treating Faecal Sludges (FS) in Developing Countries- Challenges and Performance. EAWAG/SANDEC, EAWAG/SANDEC, Dübendorf, Swiss: 7.

Krekeler, T. (2008). Decentralised Sanitation and Wastewater Treatment, BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: 69.

Lange et al. (2000). Lange, Jörg; Otterpohl, Ralf: Abwasser - Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft - Ökologie Aktuell, 2000.

LAWA, 2005 Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen. Hrsg.:

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Berlin, Kulturbuchverlag Berlin GmbH, 7. überarbeitete Auflage, ISBN 3-88961-240-7

Mara DD. (1984). The Design of Ventilated Improved Pit Latrines (UNDP Interreg. Project INT/81/047). The World Bank + UNDP, Washington.

Martin Strauss & Silke Drescher(2003) Co-composting of Faecal Sludge and Municipal Organic Waste A Literature and State-of-Knowledge Review(EAWAG) & (SANDEC)

Metropolitan Consulting Group(2006) Vergleich Europäischer Wasser- und Abwasserpreise

Mudrack und Kunst (1994) Biologie der Abwasserreinigung. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Nolde, E.(1995) Betriebswassernutzung im Haushalt durch Aufbereitung von Grauwasser, Wwt, Nr. 1, S. 17 – 25, Hrsg.: Huss-Medien GmbH, Berlin

Otterpohl et al. (1999) Otterpohl, Ralf; Oldenburg, Martin; Zimmermann, Jens: Integrierte Konzepte für die Abwasserentsorgung ländlicher Siedlungen, in: Wasser & Boden, 11 / 1999, S.10-13

Pontos(2006) Produktinformationen der Fa. Pontos, Im Internet unter: <http://www.pontos-aquacycle.de>

Sasse, L. (1998). DEWATS Decentralized Wastewater Treatment in Developing Countries, BORDA Bremen Overseas Research and Development Association.

Saywell, D. and R. Shaw (1997). On-plot sanitation in urban areas. Technical Briefs for Fieldworkers- Running Water, WELL Water and Environmental Health at London and Loughborough. 61: 4

Schmager(2000) Schmager, Carsten; Heine, Arnd: Leistungsfähigkeit von Pflanzenkläranlagen - eine statistische Analyse, in: GWF Wasser - Abwasser, 5 / 2000, S.315-326.

Schön(1996). Schön, Georg: Mikrobielle Grundlagen zur biologischen Abwasserbehandlung, in: Brauer, Heinz (Hrsg.): Additiver Umweltschutz - Behandlung von Abwässern, Berlin, 1996, S.173- 250

Schönning, Stenström(2004). For more information visit the Swedish Institute for Disease Control www.smi.ki.se

Skin, Oleksandr Mihajlovyc(2007). Vortrag über die Wasserversorgung und Abwasserbehandlung der Stadt Černihiv

Sphere (2004). Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster

Response, The Sphere Project.

Staatskomitee für Wasserwirtschaft <http://www.scwm.gov.ua/vz2003.htm>
(chinesisch)

Statistikbehörde der Ukraine(2009).
[http://www.heybrain.com/notheal/article/4849.html\(chinesisch\)](http://www.heybrain.com/notheal/article/4849.html(chinesisch))

Strauss, M., S. Drescher, et al. (2003). Co-composting of Faecal Sludge and Municipal Organic Waste: 50.

Tilley, E., C. Lüthi, et al. (2008). Compendium of Sanitation Systems and Technologies, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG).

Traunmüller, E(1998) Ökosystem Pflanzenkläranlage, Allgemeine Mikrobielle Aktivitäten und Stickstoffumsetzungen in Abhängigkeit von Jahreszeit, Bodentiefe und Nährstoffzufuhr. Wien: Universität Wien.

Tschobanoglous, G., F. L. Burton, et al. (2003). Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, Tata McGraw-Hill.

Tölgyessy&Piatrik(1990) Wasser. Berlin

Ukraine/Poland/Belarus, Zamość,(October 1998). BUG – Report No.1 – Inception Report

Ukraine/Poland/Belarus,(April 2002). BUG – Report No. 2 – Identification and Review of Water Management Issues

UBA(2002) Umweltbundesamt (Hrsg.): Umweltdaten Deutschland 2002, Berlin, Wiesbaden, 2002.

UNEP (2004). Financing wastewater collection and treatment in relation to the Millennium Development Goals and World Summit on Sustainable Development targets on water and sanitation. Global Ministerial Environment Forum. Jeju, Republic of Korea, UNEP.

von Sperling, M. and C. A. de Lemos Chernicharo (2005). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, IWA International Water Association.

Wagner,J. und K.-H.Rosenwinkel(1999). Praktische Probleme beim Einsatz der Membrantechnik. Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität Hamburg-Harburg, Band 28, S.33-47

- Webseite 1 Abwasserteich
<http://www.aquakulturtechnik.de/Lexikon/a/abwasserteich.htm> (Am 18.06.2010 gelesen)
- Webseite 2 Belebtschlammverfahren
<http://de.wikipedia.org/wiki/Belebtschlammverfahren> (Am 20.06.2010 gelesen)
- Webseite 3 (2005). Überblick der Ukraine
<http://www.overseasstudy.cn/ukraine/gb/article/2005-9/4643-1.htm>
 (Am 29.05.2010 gelesen). (chinesisch)
- WELL (1998). Guidance Manual on Water Supply and Sanitation Programmes, DFID Department for International Development.
- Wikipedia (2005). Liste der Städte in der Ukraine
http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_St%C3%A4dte_in_der_Ukraine#Agglomerationen_nach_Einwohnerzahl (Am 01.06.2010 gelesen).
- Wikipedia (31.05.2010). Ukraine <http://de.wikipedia.org/wiki/Ukraine>
 (Am 01.06.2010 gelesen).
- Wilderer et al. (2001). Wilderer, Peter; Paris, Stefanie: Integrierte Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Gebiete - Abschlussbericht, Technische Universität München, Garching, 2001
- WHO (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, WHO. I- Policy and Regulatory Aspects.
- WHO (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, WHO. II- Wastewater Use in Agriculture.
- WHO (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, WHO. III- Wastewater and Excreta Use in Aquaculture.
- WHO (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, WHO. IV- Excreta and Greywater Use in Agriculture.
- World Bank (2006) Ukraine: Addressing Challenges in Provision of Heat, Water and Sanitation

Anhang I

Tabelle 1 Rechnung mit Trockentoilette - System

Trocken toilette	Einfache Trockengrubenlatrine	Entlüftete eingrubige Trockenslatrine	Entl. Doppelgruben-Trockenslatrine	Menschenbetrieben (Schaufeln, MAPET3...)	Motorisiert Betrieb (Vakuumtank, Ladewagen...)	Unbepflanzte Trockenbeete	Vererdung/Bepflanzte Trockenbeete	Aerobe (Co-) Kompost	Füllen und Verschliessen/Arborloo	Sickergrube	Landverbringung von Klärschlamm	Kompost- bzw. Humus-Verbringung	Deponierung	Mitterpunkt
2. 86	2. 7	2. 65	2. 57	3. 01	2. 16	2. 03	2. 07	1. 99	2. 79	2. 38	2. 51	3. 59	2. 15	
x	x			x		x				x	x			2. 582
x	x			x		x				x			x	2. 522
x	x			x			x			x	x			2. 588
x	x			x			x			x			x	2. 528
x	x			x				x		x		x		2. 755
x	x				x	x				x	x			2. 44
x	x				x	x				x			x	2. 38
x	x				x		x			x	x			2. 447
x	x				x		x			x			x	2. 387
x	x				x			x		x		x		2. 613
x		x		x		x				x	x			2. 573
x		x		x		x				x			x	2. 513
x		x		x			x			x	x			2. 58
x		x		x			x			x			x	2. 52
x		x		x				x		x		x		2. 747
x		x			x	x				x	x			2. 432
x		x			x	x				x			x	2. 372
x		x			x		x			x	x			2. 438
x		x			x		x			x			x	2. 378
x		x			x			x		x		x		2. 605
x			x	x		x				x	x			2. 56
x			x	x		x				x			x	2. 5
x			x	x			x			x	x			2. 567
x			x	x			x			x			x	2. 507
x			x	x				x		x		x		2. 733
x			x		x	x				x	x			2. 418
x			x		x	x				x			x	2. 358
x			x		x		x			x	x			2. 425
x			x		x		x			x			x	2. 365
x			x		x			x		x		x		2. 592
x	x								x					2. 783
2. 86	2. 7	2. 65	2. 57	3. 01	2. 16	2. 03	2. 07	1. 99	2. 79	2. 38	2. 51	3. 59	2. 15	

Tabelle 2 Rechnung mit Trockentoilette mit Urinentrennung System

Trocken toilette mit Urinentrennung	Urinsammelbehälter	Urinlagerung	Urinverbringung	Trockengrubenlatrine	Entl. Trockengrubenlatrien	Entl. Doppelgruben Trockenlatrine	Dehydratationkammern	Menschenbetrieben (Schaufeln, MAPET3...)	Motorisiert Betrieb (Vakuumtank, Ladewagen...)	Aerobe Co-Kompost	Unbepfl. Trockenbeete	Bepfl. Trockenbeete	Kompost/Humus Verbringung	Trockenfäzesverbringung	Deponie	Landverbringung von Klärschlamm	Sickergrube	Mittelwert
2. 71	2. 97	2. 29	2. 84	2. 7	2. 65	2. 57	2. 7	3. 01	2. 16	1. 99	2. 03	2. 07	3. 59	3. 31	2. 15	2. 51	2. 38	
x	x	x	x	x				x		x			x				x	2. 72
x	x	x	x	x				x			x				x		x	2. 23
x	x	x	x	x				x			x					x	x	2. 604
x	x	x	x	x				x				x			x		x	2. 569
x	x	x	x	x				x				x				x	x	2. 609
x	x	x	x	x					x	x			x			x		2. 626
x	x	x	x	x					x		x				x		x	2. 47
x	x	x	x	x					x		x					x	x	2. 51
x	x	x	x	x					x			x			x		x	2. 474
x	x	x	x	x					x			x				x	x	2. 514
x	x	x	x		x			x		x			x				x	2. 714
x	x	x	x		x			x			x				x		x	2. 559
x	x	x	x		x			x			x					x	x	2. 599
x	x	x	x		x			x				x			x		x	2. 563
x	x	x	x		x			x				x				x	x	2. 603
x	x	x	x		x				x	x			x			x		2. 62
x	x	x	x		x				x		x				x		x	2. 464
x	x	x	x		x				x		x					x	x	2. 504
x	x	x	x		x				x			x			x		x	2. 469
x	x	x	x		x				x			x				x	x	2. 509
x	x	x	x			x		x		x			x				x	2. 706
x	x	x	x			x		x			x				x		x	2. 55
x	x	x	x			x		x			x					x	x	2. 59
x	x	x	x			x		x				x			x		x	2. 554
x	x	x	x			x		x				x				x	x	2. 33
x	x	x	x			x			x	x			x			x		2. 626
x	x	x	x			x			x		x				x		x	2. 456
x	x	x	x			x			x		x					x	x	2. 496
x	x	x	x			x			x			x			x		x	2. 46
x	x	x	x			x			x			x				x	x	2. 5
x	x	x	x				x	x						x	x			2. 748
2. 71	2. 97	2. 29	2. 84	2. 7	2. 65	2. 57	2. 7	3. 01	2. 16	1. 99	2. 03	2. 07	3. 59	3. 31	2. 15	2. 51	2. 38	

Tabelle 3 Rechnung mit Einfach Spültoilette System

Einfach Spültoilette	Absetzgrube	Doppelgruben für Spültoilette	Menschenbetrieben (Schaufeln, MAPET3...)	Motorisiert Betrieb (Vakuumtank, Ladewagen...)	Transferstation/ Schlammstapel	Abwasserteiche	Pflanzenkläranlagen	Container-Kläranlagen	Sedimentations /Eindickbecken	Unbepflanzte Trockenbeete	Vererdung/Bepflanzte Trockenbeete	Aerobe Co-Kompost	Kompost/Humus Verbringung	Landverbringung von Klärschlamm	Gewässereinleitung	Bewässerung	Deponie	Sickerfeld	Mittelwert
3. 13	2. 7	2. 4	3. 01	2. 16	1. 79	2. 01	2. 23	1. 68	1. 96	2. 01	2. 07	1. 99	3. 59	2. 51	2. 97	2. 11	2. 15	1. 9	
x	x		x							x				x				x	2. 543
x	x		x								x			x				x	2. 553
x	x			x		x			x					x	x				2. 491
x	x			x	x	x				x				x	x		x		2. 289
x	x			x	x	x				x				x	x				2. 467
x	x			x			x			x					x				2. 533
x	x			x			x				x				x				2. 507
x	x			x				x			x			x	x				2. 348
x	x			x	x					x					x		x		2. 297
x	x			x							x				x		x		2. 53
x	x			x				x		x				x	x				2. 451
x	x			x	x			x	x						x		x		2. 318
x		x	x							x				x				x	2. 493
x		x	x								x			x				x	2. 503
o		o		o								o	o						2. 528
x		x		x						x				x	x			x	2. 53
o		o		o							o			o	o				2. 54

Tabelle 4 Rechnung mit Spülkasten- Toilette System

Spülkasten-Toilette	Absetzgrube	Anaerober Schlaufenreaktor	Absetzgrube mit ananerobem Filter	Motorisiert Betrieb (Vakuumtank, Ladewagen...)	Feststofffreies Kanalsystem	Abwasserteich-System	PKA	Container-Kläranlagen	Sedimentations-/Eindickbecken	unbepflanzte Trockenbeete	Bepflanzte Trockenbeete	Landverbringung von Klärschlamm	Gewässereinleitung	Bewässerung	Deponie	mittelwert
2. 61	2. 7	2. 61	2. 53	2. 16	1. 72	2. 01	2. 23	1. 68	1. 96	2. 01	2. 07	2. 51	2. 97	2. 11	2. 15	
x	x			x		x				x		x	x			2. 424
o	o			o		o				o		o		o		2. 301
x	x			x			x				x			x		2. 313
o	o			o	o	o					o	o	o			2. 37
x	x			x			x				x		x			2. 457
o	o			o				o	o			o	o			2. 37
x		x		x			x				x		x			2. 442
o		o		o		o					o		o		o	2. 369
x		x		x				x			x	x		x		2. 25
o			o	o							o		o		x	2. 415

Tabelle 5 Rechnung von Spültoilette mit Urintrennungssystem

Spültoilette mit Urintrennung	Urinsammelbehälter	Urinlagerung	Urinverbringung	Absetzgrube	Doppelgrube für Spültoilette	Menschenbetrieben (Schaufeln, MA-PET3...)	Motorisiert Betrieb (Vakuumtank, Ladewagen...)	Feststoffreies Kanalsystem	Abwasserteich-System	PKA	Container-Kläranlagen	Sedimentations-/Eindickbecken	unbepflanzte Trockenbeete	Bepflanzte Trockenbeete	Aerobe Co-Kompost	Landverbringung von Klärschlamm	Gewässereinleitung	Bewässerung	Deponie	Kompost/Humus Verbringung	mittelwert
2. 51	2. 97	2. 29	2. 84	2. 16	1. 72	3. 01	2. 7	2. 4	2. 01	2. 23	1. 68	1. 96	2. 01	2. 07	1. 99	2. 51	2. 97	2. 11	2. 15	3. 59	
x	x	x	x	x			x		x				x			x	x				2. 497
o	o	o	o	o			o		o					o		o	o				2. 503
x	x	x	x	x			x		x				x					x	x		2. 375
o	o	o	o	o			o	o	o				o			o	o				2. 488
x	x	x	x	x			x			x			x			x	x				2. 519
o	o	o	o	o			o			o				o			o				2. 527
x	x	x	x	x			x	x		x							x				2. 514
o	o	o	o	o							o	o		o		o	o				2. 396
x	x	x	x	x			x	x			x			x		x	x				2. 464
o	o	o	o		o	o							o				o		o		2. 497
x	x	x	x		x	x							x			x	x				2. 282
o	o	o	o		o	o								o		o	o				2. 543

Anhang II

Bilanzierung der einzelnen Behandlungsstufen und deren Reinigungsleistung

Für die Umrechnung zwischen Frachten und Konzentrationen gilt:

$$F = Q \cdot c$$

F... Fracht [g/E*d]
 Q...Abwasservolumen [L/E*d]
 c... Konzentration [g/L]

1. Urin und Fäzes → Entlüftete Doppelgruben-Trockenlatrine → Kompost

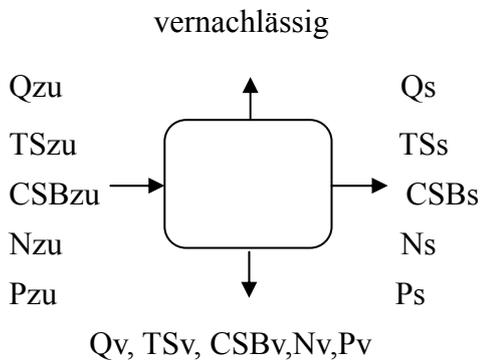


Tabelle 1 Reinigungsleistung von Entl. Doppelgruben- Trockenlatrinen(Agnes Montangero, Hasan Belevi 2006)

Zulauf	Versickerung	Ablauf
Qzu(100%)	90% ¹	10%*
TSzu(100%)	< 20%*	80%*
CSBzu(100%)	< 15%*	85%*
Nzu(100%)	73-91%	9-27%
Pzu(100%)	60-82%	18-40%

Q: Abwasservolumen (L/(E*d)
 X: Stoffflussgröße(TS,CSB,N,P)
 Xzu: Fracht von X im Zulauf
 Xs: Fracht von X im Schlamm
 Xv: Fracht von X im Versickerung

¹ eigene Schätzung

2. Urin → Urinlagerung → Urin

Tabelle 2 Reinigungsleistung von Urinlagerung(Clemens, J., H. Daebel, et al. 2008)

Zulauf	Ausfällung & Ausgasung	Ablauf
Qzu(100%)	2%	98%
TSzu(100%)	-	100%
CSBzu(100%)	-	100%
Nzu(100%)	1-30%	70-99%
Pzu(100%)	20%	80%

Q: Abwasservolumen (L/(E*d)
X: Stoffflussgröße(TS,CSB,N,P)
Xzu: Fracht von X im Zulauf
Xab: Fracht von X im Ablauf

3. Urin und Fäzes → Dehydratationskammern → Trockenfäzes und Urin

Tabelle 3 Reinigungsleistung von Dehydratationskammern(Clemens, J., H. Daebel, et al. 2008 & Agnes Montangero, Hasan Belevi 2007)

	Zulauf		Verflüchtigung in die Gas	Ablauf	
	Urin	Fäzes		Urin	Fäzes
Q	91% ²	9%*	1%	90%	9%
TS(TR bei Urin)	60%*	40%*	-	60%	40%
CSB	15%*	85%*	-	15%	85%
N	87%	13%	4-15%	41-71%	21-53%
P	67%	34%	-	27-58%	41-73%

Q: Abwasservolumen (L/(E*d)
X: Stoffflussgröße(TS,CSB,N,P)
Xzu: Fracht von X im Zulauf
Xu: Fracht von X im Urin
Xf: Fracht von X im Fäzes

² Umrechnung von Clemens, J., H. Daebel, et al. 2008

4. Grauwasser →
 Schwarzwasser → Absetzgrube → Abwasser und Fäkalienschlamm

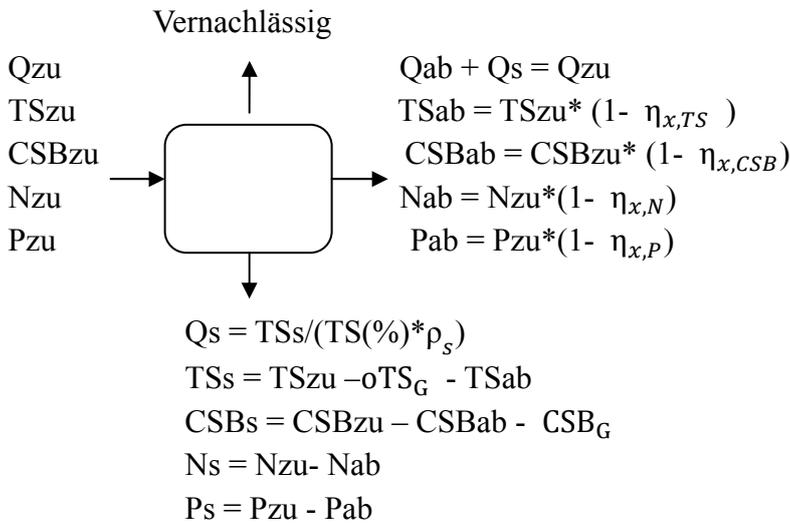


Tabelle 4 Reinigungsleistung von Absetzgrube (Agnes Montangero, Hasan Belevi 2007 & von Sperling und de Lemos Chernicharo 2005)

Zulauf	Reinigungsleistung	Ablauf	
		Schlamm	Abwasser
Qzu(100%)	-	1.65% ³	98.35%
TSzu(100%)	55-65%	55%	45%
CSBzu(100%)	25-35%	25%	75%
Nzu(100%)	< 30%	5-14%	86-95%
Pzu(100%)	< 35%	11-27%	73-89%

Q: Abwasservolumen (L/(E*d)
 X: Stoffflussgröße(TS,CSB,N,P)
 Xzu: Fracht von X im Zulauf
 Xab: Fracht von X im Ablauf
 Xs: Fracht von X im Schlamm

³errechnet über TS-Bilanz mit TS-Gehalt = 3 % und TS-Entfernung von Absetzgruben nach von Sperling und de Lemos Chernicharo

5. Schwarzwasser → Pflanzenkläranlagen → Abwasser

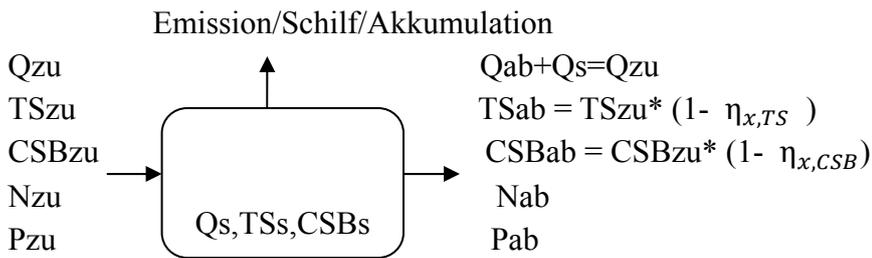


Tabelle 5 Reinigungsleistung von Pflanzenkläranlagen (Clemens, J., H. Daebel, et al. 2008)

Zulauf Xzu	Emission/Schilf/Akkumulation Xs	Ablauf Xab
Qzu(100%)	2%	98%
TSzu(100%)	$\eta_{x,TS} = 90\%$	$1 - \eta_{x,TS} = 10\%$
CSBzu(100%)	$\eta_{x,CSB} = 93\%$	$1 - \eta_{x,CSB} = 7\%$
Nzu(100%)	40%	60%
Pzu(100%)	50%	50%

Q: Abwasservolumen (L/(E*d)
 X: Stoffflussgröße(TS,CSB,N,P)
 Xzu: Fracht von X im Zulauf
 Xab: Fracht von X im Ablauf
 Xs: Fracht von X beim Emission, Schilf, Akkumulation
 η_x : Entfernungsleistung von Technologie

6. Fäkalienschlamm → Vererdungsbeete → Abwasser

Tabelle 6 Reinigungsleistung von Vererdungsbeete (von Sperling und de Lemos Chernicharo 2005)

Zulauf Xzu	Klärschlamm/schilf Xs	Abwasser Xab
Qzu(100%)	40%	60%
TSzu(100%)	66-88%	12-34%
CSBzu(100%)	79-98%	2-21%
Nzu(100%)	50-75%	25-50%
Pzu(100%)	50%	50%

Q: Abwasservolumen (L/(E*d)
 X: Stoffflussgröße(TS,CSB,N,P)
 Xzu: Fracht von X im Zulauf
 Xab: Fracht von X im Ablauf
 Xs: Fracht von X beim Schilf, Klärschlamm

Anhang III

Bewertung der Technologien

Die Bewertung der Technologien werden von viel Datenquelle einschätzt.

Folgende Literaturquellen wurden verwendet:

- A guide to the development of on-Site Sanitation (Franceys, Pickford et al. 1992)
- Abwassertechnik (Hosang und Bischof 1998)
- Betriebswassernutzung im Haushalt durch Aufbereitung von Grauwasser (Nolde, E.1995)
- Biological Wastewater Treatment Systems in Warm Climate Regions (von Sperling und de Lemos Chernicharo 2005)
- Biologische und Weitergehende Abwasserbehandlung (ATV 1997)
- Compendium of Sanitation Systems and Technologies (Tilley, Lüthi et al. 2008)
- Decentralized Sanitation and Wastewater Treatment (Krekeler 2008)
- Excreta Disposal in Emergencies- A Field Manual (Harvey 2007)
- Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten für kommunales Abwasser bei Ausbaugrößen bis 1.000 Einwohnerwerte ATV(1998)
- Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichanlagen ATV-DVWK(2003)
- Guidance Manual on Water Supply and Sanitation Programmes (WELL 1998)
- Integrierte Konzepte für die Abwasserentsorgung ländlicher Siedlungen (Otterpohl et al. 1999)
- Leistungsfähigkeit von Pflanzenkläranlagen Schmager(2000)
- Low-cost Options for Treating Faecal Sludges (FS) in Developing Countries- Challenges and Performance (Koné und Strauss)
- Natural Wastewater Treatment Systems (Crites, Middlebrooks et al. 2006)
- Neuartige Sanitärsysteme (Clemens, Daebel et al. 2008)
- Planung der Abwasserentsorgung im Ländlichen Raum anhand von räumlichen Einflussfaktoren (Kainan Seiler 2004)
- Small and Decentralized Wastewater Management Systems (Crites und Tchobanoglous 1998)
- Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges in the Tropics- Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design (Heinss, Larmie et al. 1998)
- Techniques for Water and Wastewater Management: A Review of Techniques and Their Integration in Planning (Burkhard, Deletic et al. 2000)