

Einsatz von Trockentoiletten

**zur Reduzierung der Abwasserproblematik am Beispiel der Gemeinde
Yuvienta im ecuadorianischen Regenwald**

Bachelorarbeit

**am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
der Technischen Universität München**

Sarah Quast

Erstprüfer: Dipl.-Ing. Claus Lindenblatt

Zweitprüfer: Dr. Brigitte Helmreich

Rahmendaten

Abgabedatum: 29.10.2010

Matr.Nr. 3188045

Abstract (Deutsch)

Durch den Einsatz von Trockentoiletten wird die Abwasserproblematik auf ein Viertel reduziert; das übrig bleibende Grauwasser kann durch eine einfache naturnahe Aufbereitung wieder in den Stoffkreislauf zurück geführt werden. Vor allem in entwicklungsbedürftigen Ländern stellt dieses Konzept eine kostengünstige, wassersparende und machbare Lösung dar. Anhand der Gemeinde Yuvientsa im Regenwald Ecuadors wird die Anwendung einer Trockentoilette diskutiert. Durch den Einsatz dieser wird eine grundlegende Sanitärversorgung sicher gestellt und darüber hinaus wird durch die Trennung der Fest- und Flüssigstoffe eine Weiterverwendung der Nährstoffe als Düngemittel in der Landwirtschaft ermöglicht, wodurch der Nährstoffkreislauf geschlossen wird. Neben der Krankheitsvorbeugung für die Bewohner, trägt dies zum Schutz der Umwelt und zur Bewahrung der Gewässer bei.

Abstract (Englisch)

Sewage problems can be reduced by one quarter by the implementation of dry toilets and the resulting grey water can therefore be lead back to the material cycle after a treatment on natural basis. Especially in developing countries this concept provides a low-cost, water-efficient and simple solution. This concept provides a low-priced, water-efficient and viable solution especially for development countries. In the following, the application of a dry toilet will be illustrated based on the municipality Yuvientsa in the rainforest of Ecuador. Not only does the use of dry toilets guarantee an essential sanitation but also does it enable the re-utilization of nutrients as fertilizers in agriculture by separating solid from liquid substances. Thereby, the eternal cycle of nutrients becomes closed. Besides the prevention of diseases among the civilization, it contributes to the conservation of the environment and prevention of water pollution.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	1
Aufgabenstellung	3
Teil A: Theorie	5
1 Einführung	5
2 Prinzip der Trockentoilette	9
2.1 Behandlungsmöglichkeiten der Fäzes zur Hygienisierung.....	9
2.2 Zuschlagsmaterialien	12
2.3 Urinseparierung.....	13
2.4 Nährstoffverwertung.....	14
3 Trockentoiletten für Entwicklungsländer	16
3.1 Situation und Bedürfnisse	16
3.2 Konzepte der Trockentoilette.....	18
Teil B: Anwendung	22
4 Yuvienta	22
5 Planung der Abwasserreinigung	25
5.1 Gesamtkonzept.....	25
5.2 Einsatz der Trockentoilette.....	27
6 Darstellung der Ergebnisse	29
6.1 Vorhandene Sanitäranlagen	29
6.2 Befragung von Familien	31
6.3 Systemvergleich Trockentoiletten.....	34
6.4 Problematik bestehender Trocknungstoiletten.....	35
7 Handlungsempfehlung	36
7.1 Verbesserungsvorschläge für bestehende Trocknungstoiletten	36
7.2 Geplante Trockentoilette.....	38
Fazit und Ausblick	40
Begriffserklärungen	42
Anhang	43
Literaturverzeichnis	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hauptinhaltsstoffe im Abwasser ^[29; 37]	7
Abbildung 2: Anfallende Abwassermenge eines Dauergasts in Liter pro Tag abhängig von der sanitären Situation, Inhalt aus der OEWA V Richtlinie Nr.1	8
Abbildung 3: Urinseparierung, keine Trennung, Evaporation ^[46; 48]	13
Abbildung 4: Composting Chamber ^[15]	18
Abbildung 5: Grubenlatrine ‚Arborloo‘ ^[15]	19
Abbildung 6: 'Dehydrating Vaults' nach dem Zweikammer-Prinzip ^[15]	20
Abbildung 7: Ecuador, Yuvienta (Koordinaten: 2°09'90" Süd/ 77°34'60" West) ^[4]	22
Abbildung 8: Lageplan der Gemeinde Yuvienta, Ecuador	26
Abbildung 9: Planungskonzept für die Akademie	27
Abbildung 10: Prinzip des geschlossenen Kreislaufs	27
Abbildung 11: Prinzip der Trockentoilette mit Urinseparation	28
Abbildung 12: verschmutzte Wassertoilette der Schule mit kaputter Tür	29
Abbildung 13: Trocknungstoilette des Sanitätshauses mit Maßangaben	30
Abbildung 14: Familienbefragung; Benutzung der Trockentoilette	31
Abbildung 15: Familienbefragung; Verwendung der Fäzes als Bodenverbesserungsmittel	32
Abbildung 16: Familienbefragung; Verwendung des Urins als Flüssigdünger	32
Abbildung 17: Hinweisschild zur Benutzung der Trocknungstoilette	37
Abbildung 18: Eine Schwedische Komposttoilette ^[48]	43
Abbildung 19: Eine Multrum Komposttoilette ^[47]	43
Abbildung 20: 'Wastewater technical classification of alpine properties' [Quelle: OEWA V Richtlinie Nr.1]	43
Abbildung 21: 'Standard values for specific wastewater loads in l and g BOD5 per day for preliminary design [Quelle: OEWA V Richtlinie Nr.1]	44
Abbildung 22: Zusammensetzung verschiedener Abfälle bezogen auf die Trockenmasse in Prozent ^[8]	44
Abbildung 23: Abbildung 2.1.4: Einfluss des Wassergehalts auf die mikrobielle Aktivität gemessen als T _{max} ^[8]	45
Abbildung 24: Typischer pH-Wert-Verlauf während einer Rotte ^[8]	45
Abbildung 25: Zeit, nach der die Temperatur T= 50, 45, 30° C erreicht wurde, abhängig vom Anfangs-pH-Wert ^[8]	45
Abbildung 26: Bewertung verschiedener Materialien, die in Komposttoiletten gelangen in Bezug auf C:N-Verhältnis, Strukturstabilität und Wassergehalt ^[36]	46
Abbildung 27: Eigenschaften kompostierbarer Materialien (nr.r = nicht relevant; -= ungünstig; += günstig; k.A.= keine Angaben) ^[8]	46
Abbildung 28: Urintrenneinsatz der Firma Berger Biotechnik ^[6]	47
Abbildung 29: Kindersitzaufsatz für Trenntoiletten der Firma Berger Biotechnik ^[7]	47
Abbildung 30: Eine Doppelkammer-Komposttoilette mit Solarkollektoren für Mexiko ^[47]	47

Abbildung 31: Eine Trocknungstoilette mit solarerwärmter Dehydrationskammer entwickelt für Vietnam von Uno Winblad ^[48]	47
Abbildung 32: Vietnamesische Trockentoilette nach dem Zweikammer-Prinzip ^[32,48]	48
Abbildung 33: Vietnamesische Trockentoilette, Vorderansicht ^[32,48]	48
Abbildung 34: Zweikammer Trockentoilette in Guatemala ^[32,48]	48
Abbildung 35: Zweikammer-Trockentoilette in Guatemala mit getrennter Urinableitung und beweglichem Sitz ^[32,48]	48
Abbildung 36: Anaerober Biogas Reaktor ^[15]	49
Abbildung 37: Externe Nachkompostierung (Co-Composting) ^[15]	49
Abbildung 38: Mülltrennvorrichtung in Yuvienta.....	49
Abbildung 39: Kompostanlage in Yuvienta.....	49
Abbildung 40: verschmutzte Spültoilette zum Hocken.....	50
Abbildung 41: verschmutztes Urinal.....	50
Abbildung 42: beschädigte Konstruktion der Wasserspültoiletten.....	50
Abbildung 43: Unterbau der Trocknungstoilette.....	50
Abbildung 44: Innenansicht der Trocknungstoilette.....	50
Abbildung 45: Sanitäreinrichtung der Studenten.....	50
Abbildung 46: Besuch bei einer Familie zur Umfrage.....	51
Abbildung 47: Familienumfrage; Personenanzahl im Haus.....	51
Abbildung 48: Familienumfrage; Krankheitsbilder.....	51
Abbildung 49: Trocknungstoilette mit großen Schäden (links).....	52
Abbildung 50: Innenraum der beschädigten Trocknungstoilette (rechts).....	52
Abbildung 51: 'The Kerala double-vault toilet' mit einem Pflanzenbeet ^[49]	52
Abbildung 52: Komposttoilette mit Gewächshaus von Greenpeace, Design: David Del Porto ^[49]	52

Aufgabenstellung

Projekt:

Vor ungefähr einem Jahr, im Juni 2009 nahm die Münchner Stiftung Amazonica Kontakt zu dem Fachgebiet Hydromechanik der Technischen Universität München auf. Sie baten für ihre Dörfer im Regenwald Ecuadors um Unterstützung für den Aufbau der Infrastruktur in den Bereichen der Wasserkraft, der Wasserversorgung, des Brückenbaus und der Abwasserbehandlung. Es beteiligten sich elf Studenten an dem Pilotprojekt in Verbindung mit ihren Abschlussarbeiten. Der Siedlungswasserlehrstuhl übernahm die Betreuung des Abwasserprojekts und somit die Arbeiten von vier Studentinnen.

Abwasserbehandlung:

Ziel war die Ausarbeitung eines Gesamtkonzepts zur Behandlung des Abwassers für die neu gegründete Wissenschaftsakademie in Yuvientsa, die sich momentan noch im Bau befindet. Da das Konzept einen naturnahen Lösungsansatz fordert, wurde diesbezüglich nach einfachen Teilkonzepten gesucht, die miteinander kombinierbar waren. Um eine effektive Reinigung des Abwassers zu gewährleisten wurde auf den Ansatz einer Trennung der Stoffströme aufgebaut. Die Fäkalstoffe sollten dabei mit Hilfe des Konzepts der Trockentoilette behandelt werden und das anfallende Grauwasser in einer Pflanzenkläranlage oder alternativ in einem Absetzteich. Da für die Waschräume der Dozenten die Errichtung von zwei Spültoiletten bereits in Planung war, wurde als mechanische Reinigungsstufe eine Klärgrube vor die biologische Stufe vorangestellt, um das zusätzlich anfallende Schwarzwasser ausreichend zu reinigen. Für die Waschräume der Studenten waren vier Trockentoiletten in Planung.

Vor Ort:

Im Juni 2010 fand die Begutachtung zur Klärung der Sachlage vor Ort in Yuvientsa statt. Es stellte sich heraus, dass das Wohnhaus inklusiv Waschräume der Akademie waren bereits fertiggestellt, wobei entgegen den Planungen der Trockentoiletten kommerzielle Wasser-Spültoiletten installiert wurden. Der Ausschied der Komposttoilette führte unweigerlich zu Änderungen des Gesamtkonzepts, denn durch die zusätzliche Behandlung des problematisch anfallenden Schwarzwassers vergrößert sich die Dimensionierung der anderen Teilsysteme erheblich.

In Planung:

Der Bau der Akademie beinhaltet die Gebäudeplanungen der Bibliothek und der Küche einschließlich dem Speisesaal. Für diesen Gebäudekomplex sollen zwei wasserlose Sanitärsysteme für Studenten und Küchenmitarbeiter errichtet werden.

Notwendigkeit:

In Yuvientsa ist das System der Trockentoilette bereits etabliert: Jede Familie ist seit ungefähr fünf Jahren im Besitz einer Trockentoilette. Aufgrund dieser neuen Gegebenheiten ändert sich die Aufgabenstellung dieser Arbeit grundlegend, denn zum einen entfällt ein großer Anwendungsbereich durch das Vorhandensein der Wassertoiletten und zum anderen existiert im Dorf bereits eine gängige Lösung eines wasserlosen Sanitärsystems, die Trocknungstoilette. Dadurch steht nun nicht mehr die Entwicklung eines neuen

Sanitärsystems im Vordergrund, sondern steht die Auseinandersetzung mit der Trockentoilette im Vordergrund, um herauszukristallisieren welches System am besten für Yuvientsa geeignet ist.

Ziel:

Ziel dieser Arbeit ist die Handlungsempfehlung für den Einsatz einer Trockentoilette für den Gebäudekomplex der Bibliothek und Küche. Zudem werden Verbesserungsvorschläge für die Benutzung der bereits etablierten Trocknungstoiletten mit eingebracht. Dabei bezieht sich diese Arbeit auf die praktischen Erfahrungen von EcoSan, ^[42; 43; 47; 48; 49] und bindet die recht neuen Richtlinien der WHO ^[50] mit ein.

Inhalt:

Im ersten Teil wird die Theorie der Trockentoilette behandelt. Dabei wird auf die Systeme der Komposttoilette, Trocknungstoilette und der Grubenlatrine näher eingegangen, die für entwicklungsbedürftige Länder als sinnvoll erachtet werden und anhand einer Konstruktion näher erläutert werden. Im zweiten Teil wird die aufgezeigte Theorie auf die Gemeinde Yuvientsa angewandt, indem die verschiedenen Systeme in Bezug auf die örtlichen Gegebenheiten mit einander verglichen werden. Anschließend wird eine Handlungsempfehlung für die Errichtung eines Systems für den geplanten Gebäudekomplex der Akademie herausgearbeitet. In diesem Zusammenhang werden aktuelle Probleme vor Ort aufgezeigt und Verbesserungsvorschläge zur Benutzung genannt.

Teil A: Theorie

1 Einführung

In Europa verfügen wir über Kanalnetzwerke und aufwändige Aufbereitungsanlagen. Als standardisierte Sanitäre Lösung hat sich die Benutzung der Wassertoilette etabliert. Diese steht weltweit für den hygienischen Fortschritt, doch ist sie gleichzeitig ein Symbol für einen großen ökologischen Unsinn. Es wird viel Wasser benötigt um die anfallenden Fäkalien wegzuspülen^[32]. Durch die Vermischung dieser zwei Komponenten ist eine aufwändige Aufbereitung notwendig, um das Wasser wieder in den natürlichen Kreislauf, die Flüsse, einbringen zu können. Der dabei zurückbleibende Klärschlamm enthält viele Nährstoffe, doch auch viele Schadstoffe durch die Abwasservermischung, so dass eine Wiederverwendung nur sehr schwer möglich ist. Inzwischen werden nach Lösungen alternativer Entsorgungswege gesucht, doch ist in den Industrieländern eine Abwasserversorgung ohne die Mischbehandlung kaum mehr vorzustellen. Jedoch stellen diese Nationen den Stand der Technik dar und fungieren als Vorbild für die Entwicklungsländer. Doch diesen fehlt es zumeist an finanziellen Mitteln, und sie kämpfen zudem mit Wasserknappheit bzw. der Wasserversorgung. Somit ist es nicht möglich, bestehende Sanitärtechnik in die nicht entwickelten Länder zu übertragen. Sinnvoller ist es jedoch zugängliche Lösungskonzepte für diese Länder zu entwickeln, die für die weitgehende Mehrheit der Weltbevölkerung erschwinglich und vor allem auch an die kulturellen und sozialen Bedürfnissen angepasst sind^[8; 48]. Diese Systeme sollen den Menschen zudem eine zukunftsfähige und nachhaltige Lebensgrundlage bieten^[48]. In Yuvienta ist eine dezentrale Lösung gefragt, die ohne Einfluss von außen autonom funktioniert, so dass die Bewohner im Dorf weiterhin ungestört und naturnah leben können. Die Häuser sind sehr weit verstreut, so dass ein weitflächiges Kanalnetz zu teuer und auch nicht sinnvoll wäre. Somit benötigt jedes Haus eine individuelle Lösung der Abwasserentsorgung. Die beste Methode einer Abwasserbehandlung ist die Vermeidung von Abwasser^[26]. Will man Wasser für den Transport von Fäkalien gar nicht erst verschmutzen und ist zudem nicht ausreichend Wasser vorhanden, so gelangt man zu dem neuen ‚alten‘ Sanitärsystem Trockentoilette^[8]. Die Trockentoilette wurde bereits Mitte des 19. Jahrhunderts entdeckt^[32]. Neu ist, dass durch konstruktive und verfahrenstechnische Weiterentwicklungen eine hygienisch einwandfreie Aufbereitung der Fäkalien möglich wird, der Betrieb absolut geruchfrei erfolgt und die Toiletten heutigen Komfort- und Hygieneanforderungen entsprechen^[8]. Dabei bleiben die in den Fäzes und im Urin enthaltenen Nährstoffe weitgehend erhalten^[8] und können anschließend als wertvoller Dünger weiterverwendet werden. Die Abwassermenge verringert sich durch die Reduzierung des Schwarzwassers, wodurch nur noch das Grauwasser anfällt. Dieses beinhaltet das Abwasser aus Küche, Bad und Waschen und kann relativ einfach und vollständig behandelt werden. Die Dimensionierung dieser Anlage wird dadurch verringert, wodurch eine kleinere Fläche in Anspruch genommen wird und geringere Kosten entstehen.

Perspektive

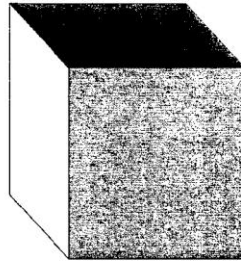
Das zunehmende Bewusstsein in den letzten Jahren hat zu Veränderungen zugunsten der Akzeptanz und Verbreitung von dezentralen Entsorgungs- und Verwertungslösungen von menschlichen Ausscheidungen geführt^[8]. Zudem wird von der Wissenschaft immer mehr verstanden, dass zukünftige Sanitärösungen nicht auf Wasser basieren können^[29]. Verschiedene Organisationen setzen sich vermehrt für die nachhaltige und standortangepasste Sanitärtechnik und deren Verbreitung in Entwicklungsländern ein. In diesem Zusammenhang wurde der Begriff ‚Sustainable Sanitation‘ (=Nachhaltige Sanitärkonzepte) entwickelt^[36]. Darunter die internationale Vereinigung ‚Ecological Sanitation‘, kurz EcoSan. Deren Hauptziele sind die Vermeidung der Wasserverschmutzung, die Erfassung gegenwärtiger Nährstoffe menschlicher Exkremente und deren Aufbereitung für eine landwirtschaftliche Nutzung^[48]. Dabei bietet EcoSan ein breites Angebot an verschiedenen Toilettenkonzepten weltweit an und entwickelt für verschiedene Kulturkreise individuelle Entwicklungskonzepte, wie in Indien, Vietnam, Mexiko, Ecuador oder auch in Süd- und Ostafrika^[33]. Als Hilfestellung in einkommensschwachen Ländern werden beispielsweise Internet-basierte Übungskurse von dem „UNESCO-Institute for Water Education“ zur Anwendung von EcoSan-Systemen angeboten^[11]. EcoSan bietet auch moderne Lösungen für weiter entwickelte Länder an. Beispielsweise in Schweden wurde bereits in vielen Häusern, Hochhäusern, Schulen und öffentlichen Gebäuden Urin-Separierstoiletten installiert^[29]. Es gibt immer mehr Anbieter, unter anderem die Firma Berger, die zunehmend Lösungen ausgerichtet für den alternativen Sanitärbereich anbieten. Dabei sind viele dieser Konzepte schon heute kostengünstiger einzustufen als die zentralen Lösungen^[27]. Damit sich eine ökologisch orientierte Abwasserentsorgung vermehrt durchsetzen kann, bedarf es unter anderem der verstärkten Umweltaufklärung über die Abwasserproblematik und der Darstellung und Verbreitung vorhandener Alternativen vor allem in den Ländern, die noch nicht über sanitäre Anlagen verfügen^[27].

Die moderne Komposttoilette

Komposttoiletten finden vermehrt Einsatz in den Industrieländern. In Schweden wurden bereits vor 50 Jahren die ersten Komposttoiletten in Ferienhäusern eingeführt^[48]. Das klassische Modell ‚Clivus Multrum‘ wurde 1939 von dem Schweden Rikard Lindstom entwickelt^[10] (siehe im Anhang Abbildung 16 und 17). Seit 1973 vermarktet „Clivus Multrum Incorporated“ alternative Sanitärsysteme in vorwiegend westlichen Ländern, wie in den USA. Inzwischen gibt es ein vielfältiges Angebot an immer moderneren Ausführungen zu kaufen^[30; 48], die vermehrt auf die hygienischen und ästhetischen Bedürfnisse der reicheren Länder ausgelegt sind. Hier wäre wünschenswert, dass diese Firmen ihre Erfahrungen weiter tragen und Entwicklungskonzepte konzipieren, die auch in ärmeren Ländern Einsatz finden können.

Abwasserinhaltsstoffe

Jeder ausgewachsener Mensch produziert im Durchschnitt ca. 1,5 Kilogramm Fäkalien (=Braunwasser), bestehend aus 100-150 Gramm Fäzes (=Schwarzwasser) und circa 1,4 Liter Urin (=Gelbwasser) pro Tag^[8]. In der Tabelle von Otterpohl^[27] werden die Hauptinhaltsstoffe des Abwassers in Bezug auf das Grauwasser, den Urin und die Fäzes angegeben (siehe Abbildung 1).



			Greywater	Urine	Faeces
Volume		m ³ /(E a)	25 - 100	0,5	0,05
N	~ 4 - 5	kg/(E a)	~ 3 - 4 %	~ 84 - 87 %	~ 10 - 12 %
P	~ 0,75	kg/(E a)	~ 10 - 18 %	~ 47 - 50 %	~ 35 - 40 %
K	~ 1,8	kg/(E a)	~ 13 - 34 %	~ 54 - 62 %	~ 12 - 25 %
CSB	~ 30	kg/(E a)	~ 41 - 46 %	~ 2 - 12 %	~ 47 - 52 %

Abbildung 1: Hauptinhaltsstoffe im Abwasser ^[29; 37]

Ein Vergleich zeigt, dass das Grauwasser volumenmäßig zwar den größten Anteil des Abwassers ausmacht, doch die geringste Konzentration an Nährstoffen beinhaltet. Obwohl menschliche Ausscheidungen mengenmäßig den kleineren Teil ausmachen, beinhalten diese den größten Anteil an Stickstoff, Phosphor und Kalium ^[12]. Der menschliche Urin beinhaltet sogar fast 90 % der Gesamtstickstoffmenge der Exkremente und ungefähr 50 % des ausgeschiedenen Phosphors und des Kaliums ^[12; 33; 36]. Die Kohlenstofffracht des Abwassers wird dabei hauptsächlich von dem Grauwasser und den Fäzes getragen. Dies zeigt, dass menschliche Ausscheidungen viele Nährstoffe enthalten, die nach einer entsprechenden Behandlung in der Landwirtschaft als Dünger Anwendung finden können. Denn Stickstoff, Phosphor und Kalium sind die drei wichtigsten Bestandteile im Düngemittel und die ausgeschiedenen Nährstoffe entsprechen in etwa den Größenverhältnissen eines kommerziellen Düngemittels ^[29; 33]. Die Nährstoffmenge, die von einer Person in einem Jahr ausgeschieden wird, ist mit der Menge an notwendigen Nährstoffen identisch um den Nahrungsbedarf einer Person für ein Jahr zu decken, was einer Menge von 200 kg Getreide entspricht ^[8; 29; 33]. Somit produziert eine Person genau die Nährstoffe, die benötigt werden um seine eigene Nahrung zu düngen ^[33]. Um eine Wiederverwendung zu ermöglichen ist es entscheidend die Stoffströme getrennt zu behandeln; einmal vermischt ist diese nur durch die Behandlung in hochmodernen Anlagen möglich ^[29]. Der „Guideline No. 1“ des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbands (OEWA) gibt Werte für das anfallende Abwasser abhängig von der Sanitärausstattung an. In Abbildung 2 sind die relevanten Werte zusammenfassend abgebildet, die aus den Tabellen, die im Anhang abgebildet sind, entnommen sind (Abbildungen 19 und 20). Die anfallende Abwassermenge in Abbildung 2 bezieht sich auf einen ‚Permanent guest‘.

	Type 2 'slight'	Type 3 moderate'	Type 4 'mean'
sanitäre Situation	keine Wasserversorgung; Wassertoiletten	Wasserversorgung; keine Wassertoiletten; wenige Duschen	Wasserversorgung; Wassertoilette; Duschen; technische Geräte (Spül-, Waschmaschine)
anfallendes Abwasser	10-25	25-75	75-120

Abbildung 2: Anfallende Abwassermenge eines Dauergasts in Liter pro Tag abhängig von der sanitären Situation, Inhalt aus der OEWA-V Richtlinie Nr.1

Die sanitären Verhältnisse in Yuvientsa entsprechen der Kategorie 2 bis 3. Die Kategorie 4 entspricht dagegen dem europäischen Standard. Bei einem Vergleich wird deutlich, dass sich durch die separate Handhabung menschlicher Ausscheidungen, was Kategorie 2 bis 3 entspricht, die Abwasserproblematik auf ein Viertel reduziert. Die Behandlung des verbleibenden Grauwassers kann dadurch mit wenig Aufwand und kostengünstig erfolgen und kann dabei in den Wasserkreislauf zurückgeführt oder wiederverwendet werden. Bei einer Trennung der Fäkalien kann der Urin als Dünger und die Fäzes nach Hygienisierung als Bodenverbesserungsmittel oder zur Erzeugung von Biogas verwendet werden ^[29;33]. Das Konzept einer Abwasserbehandlung durch die Kombination Komposttoilette und Pflanzenkläranlage ist dabei am weitesten entwickelt ^[27].

Vermischung des Wasser- und Nährstoffkreislaufs

Durch den heutzutage alltäglichen Umgang mit der Wassertoilette stellt sich niemand mehr die Frage, was eigentlich mit den Ausscheidungen passiert. Mit jeder Benutzung der Wasserspülung vermischt der WC-Benutzer den Nährstoffkreislauf der Natur mit dem Wasserkreislauf. In den reichen Industrieländern gibt es eine hoch entwickelte Klärtechnik, um mit hohem Aufwand und dennoch unvollständig die Mischung wieder voneinander zu trennen ^[8]. Bei den konventionellen Ansätzen dürfen in Deutschland nach den gesetzlichen Rahmenrichtlinien die enthaltenen Pflanzennährstoffe nicht mehr auf den Acker ausgebracht werden, da diese speziell durch die Industrieabwässer, vor allem durch Schwermetalle, stark belastet werden ^[8]. Zusätzlich problematisch ist die Notwendigkeit der Verbrennung von anfallendem Klärschlamm. Statt einer Abfallverwertung findet eine Abfallbeseitigung statt ^[32]. Dadurch wird das darin enthaltene Phosphat, einer der Hauptpflanzennährstoffe, ebenfalls verbrannt, wobei die heute weltweit nutzbaren Phosphatlagerstätten für die Düngerproduktion nur noch ca. 60 Jahre verfügbar sind ^[8]. Schon 1975 war all dies Friedenreich Hundertwasser bewusst. In ‚Scheiße wird Gold‘ beschreibt er in seiner recht provokanten Ausdrucksweise, wie die Wasser-Toilette eine der vielen gefährlichen Sackgassen unserer Zivilisation ist, da somit nicht nur wertvolles Trinkwasser verschwendet wird, sondern auch 1 kg Wertvolles zu 50 Liter gefährlicher Substanz werden, die Grundwasser, Brunnen, Flüsse, Seen und Meere verseucht. Dabei geht er auch auf die Verarmung der Böden ein, da der Fäkaldünger ausbleibt und Kunstdünger sei kein Ersatz ^[32].

2 Prinzip der Trockentoilette

Eine Trockentoilette verbraucht kein Wasser und wandelt menschliche Ausscheidungen in Nährstoffe um, die als Düngemittel in der Landwirtschaft verwendet werden können. Der Bau ist relativ einfach und mit Hilfe lokaler Materialien möglich.

2.1 Behandlungsmöglichkeiten der Fäzes zur Hygienisierung

Es gibt zwei grundlegende Möglichkeiten bei der Behandlung von Fäzes. Zum einen die Dehydratation und zum anderen die Kompostierung, sowie eine Kombination der beiden. Hauptziel ist jeweils die Vernichtung pathogener Keime und die Erhaltung von Nährstoffen. ^[48]

Dehydratationsprozess

Bei der Dehydratation ist es wichtig den Feuchtigkeitsgehalt des Materials auf weniger als 25 % zu reduzieren. Dies gelingt durch die Zugabe von Zuschlagsmaterial wie Asche oder Sägespäne und durch Evaporation. Dabei darf kein Wasser, Urin oder organischer Abfall zu den Fäzes zugegeben werden. Bei dem Dehydratationsprozess geschieht die Hygienisierung durch die Unterbindung von Feuchtigkeit, welche die Organismen zum Überleben benötigen. Durch Zuschlagsmaterial wird Feuchtigkeit entzogen, oder auch durch Verdunstungswärme der Sonneneinstrahlung. Bei der Dehydratation werden bei einem hohen pH-Wert von 12 Mikroorganismen sehr schnell inaktiviert. Doch je niedriger dieser ist, desto länger braucht der Vorgang. Toilettenpapier muss bei dieser Methode separat entsorgt werden, da es durch den Prozess nicht zersetzt wird. Durch den Zusatz von organischem Material und den Feuchtigkeitsentzug wird das Volumen reduziert. Das Endprodukt nach der Austrocknung ist reich an Nährstoffen, Kohlenstoff und faserigem Material und durch den Feuchtigkeitsentzug frei von pathogenen Organismen ^[48]. Je höher dabei die Umgebungstemperatur und der pH-Wert ist, desto schneller die Abtötung der pathogenen Keime. Je nach verwendetem System können die getrockneten Fäzes nach 6-24 Monaten der Kammer entnommen und als Bodenverbesserungsmittel eingesetzt werden. Durch die notwendige Separation des Urins kann dieser als Dünger verwendet werden ^[12; 15; 48].

Kompostierungsprozess

Bei dem Kompostierungsprozess handelt es sich um einen komplexen biologischen Prozess, bei dem organische Substanzen mineralisiert und anschließend in Humus umgewandelt werden. In einem Komposttoilettensystem laufen dieselben biologischen Prozesse wie in der Natur ab, allerdings kontrolliert und auf engem Raum ^[8; 25; 47]. Dabei ist besonders auf eine gute Sauerstoffversorgung, einen mittleren Feuchtigkeitsgehalt und ein ausreichendes Nährstoffangebot zu achten. Durch die biochemischen Abbauvorgänge der Mikroorganismen entstehen als Endprodukte Humusstoffe, Mineralstoffe, Kohlendioxid, Wasser und Energie ^[24]. Mittels der Selbsterhitzung des Materials werden die pathogenen Keime abgetötet, so dass die entstehende Komposterde in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann ^[24]. Es ist wichtig den Prozess der Kompostierung zu verstehen, damit Fehler im Umgang mit der Komposttoilette vermieden werden können ^[48].

Beteiligung der Mikroorganismen:

Die Kompostierung ist ein Vorgang, der seit Millionen Jahren in der Biosphäre abläuft, ohne dass ein Mensch

eingreift. Der natürliche Prozess ist außerordentlich stabil, was in erster Linie an dem breiten Spektrum von Mikroorganismen liegt, die den Prozess bestimmen. Mikroorganismen verfügen über einen hohen Stoffumsatz und sind zudem in der Lage, eine Vielzahl verschiedener Stoffe abzubauen und sich innerhalb kurzer Zeit an neue Umgebungsbedingungen und die angebotene Nahrung anzupassen. Dabei können diese verschiedene organische Verbindungen abbauen, wie menschliche und tierische Fäkalien, Speisereste, Gartenabfälle, Papier und auch Textilien aus Naturfasern. Denn all diese Stoffe bestehen aus einem mineralischen und einem organischen Anteil sowie aus Wasser. Die mineralischen Substanzen sind von Bedeutung für die Qualität der Komposterde, doch für den Kompostierungsprozess sind sie weniger interessant. Grundlage für die Nahrung der aeroben Organismen sind organische Substanzen bestehend aus Kohlenstoff-Wasserstoffverbindungen. ^[8] (siehe Anhang: Abbildung 18)

Bei dem Kompostierungsprozess wird die die Umsetzungsgeschwindigkeit von einigen Umweltparametern, die folgend genauer beschrieben werden, beeinflusst ^[48].

Sauerstoffangebot:

Die Kompostierung ist ein aerober Prozess, d.h. für den Abbau von organischen Materialien wird Sauerstoff benötigt ^[8]. Unter diesen Bedingungen läuft der Kompostierungsprozess verhältnismäßig schnell und geruchlos ab ^[48]. Kommt es zu einer anaeroben Zersetzung, erfolgt, da nicht ausreichend Sauerstoff vorhanden ist, der Prozess langsamer, bei niedrigeren Temperaturen und übelriechend ^[48]. Der Sauerstoff kann nur in gelöster Form von den Mikroorganismen aufgenommen werden, wobei die Löslichkeit in Wasser von der Wassertemperatur abhängig ist. Hohe Temperaturen führen zu einer Verschlechterung der Sauerstoffversorgung ^[8]. Das Materialinnere ist vom Luftausschluss besonders gefährdet ^[48], da das Einbringen und die gleichmäßige Versorgung von Sauerstoff schwierig ist ^[8]. Zur Auflockerung der Struktur trägt die Zugabe von Zuschlagsmaterial sowie die Aktivität von Insekten und Regenwürmern bei. Durch das Graben von Gängen bilden diese Makroporen, wodurch sie für aerobe Verhältnisse sorgen und dabei organisches Material in Humus umwandeln ^[36; 48]. Bei Komposten mit einer Höhe über 1,5 m ist besonders auf eine zufriedenstellende Sauerstoffversorgung zu achten, da infolge des Eigengewichts eine zunehmende Verdichtung auftritt.

Feuchtigkeit/Wassergehalt:

Da Mikroorganismen ihre Nahrung nur in gelöster Form aufnehmen können, ist die Bereitstellung von Wasser ebenso wichtig wie die von Sauerstoff. Dabei beträgt der optimale Wassergehalt zwischen 50-60 %. Nach den meisten Untersuchungen ist ein Rotteprozess bei Wassergehalten über 70 % nicht mehr möglich ^[8]. Denn bei einem zu hohen Feuchtigkeitsgehalt ist das Material zu feucht und dicht, so dass die Organismen keinen Sauerstoff bekommen. Um dies auszuschließen, ist es wichtig, regelmäßig Zuschlagsmaterial hinzuzugeben, den Einlass von Regen- oder Grundwasser zu verhindern und eine zuverlässige Urinseparation zu gewährleisten. Hingegen bei Wassergehalten unter 40 % nimmt die Aktivität der Mikroorganismen durch den Feuchtigkeitsmangel schnell ab ^[16], und bei einem Wassergehalt unter 25 % kommt der Prozess praktisch zum Stillstand ^[8; 32]. Abbildung 19 im Anhang zeigt den direkten Einfluss des Feuchtegehalts auf die Rottetemperatur. Dabei zeigt sich, dass abweichende Wassergehalte vom Optimum zwar den Prozess durch eine niedrige Temperatur verlangsamen, doch nicht prozessgefährdend sind.

Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis:

Mikroorganismen benötigen als Nährstoffe für den Zellaufbau vor allem Kohlenstoff und Stickstoff, wobei die frei werdende Energie durch den Kohlenstoffabbau wiederum den Mikroorganismen zur Verfügung steht ^[36]. In der Literatur werden unterschiedliche Werte für ein günstiges C:N-Verhältnis angegeben ^[8,16,36]; beispielsweise nach WINBLAD soll es im Bereich von 15:1 bis 30:1 liegen ^[47]. Bei einer Anwendung in den Tropen soll es mindestens 30:1 betragen ^[31]. Jedenfalls verlangsamt sich bei einem zu großen C:N-Verhältnis der mikrobielle Abbau, da für den Abbau der Kohlenstoffverbindungen nicht genügend Stickstoff zur Verfügung steht ^[16; 48]. Bei einem wiederum sehr geringen Kohlenstoffanteil kommt es zu einer recht geruchsintensiven Freisetzung des überschüssigen Stickstoffs in Form von Ammoniak ^[32; 36]. Somit wirkt sich das C:N-Verhältnis im Wesentlichen auf die Rottedauer aus. Da Fäzes über eine größere Menge an Stickstoff als Kohlenstoff verfügen, ist es ratsam, den Prozess durch den Zusatz von kohlenstoffreichen Materialien, wie organische Abfälle oder Holzspäne zu unterstützen (siehe Kapitel 2.2).

pH-Wert:

Der pH-Wert des Ausgangssubstrates übt Einfluss auf die Anfangsbedingungen des Kompostierungsprozesses aus. Untersuchungen zeigen, dass sich ein pH-Wert im alkalischen Bereich positiv auf die Rotteintensität auswirkt. Ein hoher pH-Wert fördert die schnelle Inaktivierung pathogener Mikroorganismen. Dahingegen kann ein pH-Wert im sauren Milieu Hemmungen verursachen. Dies kann zu unerwünschten Nebenwirkungen führen, wie der Bildung von geruchsintensiven Stoffen oder der übermäßigen Insektenbildung. Abbildung 20 im Anhang zeigt dabei eine charakteristische pH-Wert Kurve. Mit steigendem pH-Wert zu Beginn kann der Prozess in kürzerer Zeit bzw. unter niedrigeren Temperaturen ablaufen (siehe Anhang: Abbildung 21). ^[8; 32]

Temperatur:

Die hohen Temperaturen bei der Kompostierung werden durch die biologische Aktivität hervorgerufen ^[8]. Abbildung 2.1.7 zeigt den typischen Temperaturverlauf bei dem Kompostierungsprozess. Zu Beginn der mikrobiellen Aktivität erfolgt ein exponentieller Temperaturanstieg ^[8], durch den Abbau mesophiler Mikroorganismen werden leicht abbaubare Substanzen, wie Eiweiß und Zucker, abgebaut ^[20]. Infolge des starken Temperaturanstiegs sterben die Mesophilen schnell ab, und thermophile Mikroorganismen treten an ihre Stelle ^[20], die bereits schon schwer abbaubare Substanzen biologisch zersetzen. Während der Abkühlphase besiedeln höhere Organismen wie Würmer den Kompost, die für den Aufbau der Huminstoffe zuständig sind (Gotschall in ^[36]). Die besten Abbaubedingungen liegen in dem Temperaturbereich zwischen 45° C und 55° C ^[8]. Für eine Hygienisierung ist das Erreichen von hohen Temperaturen bedeutsam. Temperaturen über 60° C vernichten zuverlässig und effektiv Pathogene im Kompost ^[48]. Das Diagramm nach Berger (Abbildung 20 im Anhang) zeigt dabei auf, dass bei hohen Temperaturen in recht kurzer Zeit die pathogenen Mikroorganismen zerstört werden, doch dasselbe Ergebnis auch bei niedrigeren Temperaturen über längere Zeiträume vorliegt ^[8]. Die WHO-Richtlinien schreiben eine Temperatur von 50° C für mindestens eine Woche vor ^[50]. Da es in der Praxis schwer ist, diese hohen Temperaturen zu erreichen, ist es wichtig, das Material gelegentlich aufzumischen und zu lockern ^[8].

Rottegrad:

Darüber hinaus kann als Bewertungskriterium der Kompostreife der Rottegrad hinzugezogen werden. Dieser ist ein Maß für die biologische Aktivität eines Komposts, charakterisiert durch das Maß an Selbsterhitzung und Atmung. Zudem gibt er Auskunft, in wie weit die biologisch leichter abbaubaren organischen Substanzen umgesetzt wurden ^[5].

2.2 Zuschlagsmaterialien

Bei dem Dehydratations- wie auch bei dem Kompostierungsprozess ist die Zugabe von Streumaterial von großer Wichtigkeit. Denn ohne die richtigen Zuschlagsmaterialien kann der jeweilige Prozess nicht stattfinden bzw. unterliegt einer beträchtlichen Störung. Zudem wirkt nach LEHMANN (1993) das Zuschlagsmaterial vorbeugend gegen Geruch und Fliegenvermehrung ^[36]. Bei dem zu wählenden Streumaterial ist aus Gründen der Nachhaltigkeit auf die Verfügbarkeit vor Ort zu achten. Ecosan empfiehlt nach jedem Toilettenbesuch ein bis zwei Handvoll Streumaterial auf die Ausscheidungen zugeben, wobei dieses ungefähr fünf Mal so viel an Gewicht als die ausgeschiedenen Fäzes haben soll ^[48]. Jedoch variiert Einstreuart und Menge, so dass dies für eine Trockentoilette erst einmal vor Ort getestet werden muss, bevor das System für die gesamte Kommune eingeführt wird ^[31]. Neben dem Einstreumaterial ist es notwendig das Material gelegentlich zu durchmischen, damit das neu hinzukommende Material an der Oberfläche in die Mitte des Haufens gemischt wird, wo die Temperatur am höchsten ist ^[31].

Bei dem Kompostierungsprozess führt der Zusatz des Strukturmaterials zu einer Auflockerung des Komposts, so dass dieser mit Sauerstoff versorgt werden kann und folglich eine rasche und komplette Kompostierung erreicht wird ^[48]. Wie bereits unter Kapitel 2.1 dargestellt, ist für einen guten Kompostierungsprozess ein C:N-Verhältnis zwischen 15 und 40 und ein Wassergehalt zwischen 40 % und 60 % erforderlich. Menschliche Fäzes weisen jedoch ein C:N-Verhältnis von 5-10 und menschlicher Urin von sogar unter 1 auf. Der Wassergehalt von Fäzes (65-85 %) liegt deutlich über dem für eine Kompostierung günstigen Wassergehalt. Daher ist es nach ROHRER & GEIGER (1996) notwendig Strukturmaterial beizumischen, um das C:N-Verhältnis anzuheben, den Wassergehalt zu senken und um eine poröse, luftdurchlässige Struktur zu schaffen ^[36]. NADAUSCHER listet nach ROHRER & GEIGER (1996) in einer Tabelle verschiedene Zuschlagsmaterialien im Hinblick auf die genannten Kriterien auf (siehe Abbildung 22 im Anhang). Als Zuschlagsmaterial in tropischen Gebieten werden organische Abfälle, Asche oder Sägespäne empfohlen ^[31]. Toilettenpapier kann mit kompostiert werden, da es durch die vorhandene Feuchtigkeit zersetzt wird. Es weist nach BERGER ein sehr hohes C:N-Verhältnis von 1000 auf, besitzt ein gutes Absorptionsvermögen und wirkt sich günstig auf die Strukturbildung aus ^[8; 36]. Vor der ersten Benutzung es ist ratsam eine Schicht Zuschlagsmaterial in die Grube zu geben, so dass die Feuchtigkeit der Fäzes aufgezogen werden kann und diese nicht an den Boden anhaften ^[8].

Bei dem Dehydratationsprozess wird nach jeder Benutzung eine Handvoll Asche, Kalk oder Sägespäne zu den Fäzes hinzugefügt um den pH-Wert auf einen Mindestwert von 9 zu erhöhen und zugleich den Feuchtigkeitsgehalt zu reduzieren. Da kein organischer Abbauprozess stattfindet, wird keine Zellulose zersetzt, so dass die Zugabe von Toilettenpapier nicht erfolgen darf. Asche verfügt über einen hohen Kalium- und

Phosphorgehalt, so dass diese bei Verwendung als Zuschlagsmittel den Nährstoffgehalt des Bodenverbesserungsmittel verbessert und sich zudem positiv auf die Geruchsbindung auswirkt, wie sich in der Tabelle von Berger zeigt (siehe Abbildung 23 im Anhang).^[8]

2.3 Urinseparierung

Die Frage einer Urinseparierung ist eine sehr wichtige Überlegung. Für den Dehydratationsprozess wird die Fest-Flüssig-Trennung vorausgesetzt, doch der Kompostierungsprozess kann mit oder auch ohne eine Urinseparierung erfolgen. Dabei gibt es die Möglichkeiten der sofortigen Trennung, der nachträglichen Trennung und der Austrocknung durch Evaporation (siehe Abbildung 2). Bei der nachträglichen Trennung kommen beide Stoffe in einen gemeinsamen Behälter, wobei der Urin dann weitergeleitet wird, um für die Verwendung als Dünger sterilisiert zu werden, da er bereits mit den Fäzes in Kontakt gekommen ist. Unter der Verwendung von Solarkollektoren und der Zugabe von viel Streumaterial kann der Urin in trockenen und warmen Klimaten mit den Fäzes gemeinsam behandelt werden (siehe Abbildung ecosan 4.4).^[46; 48]

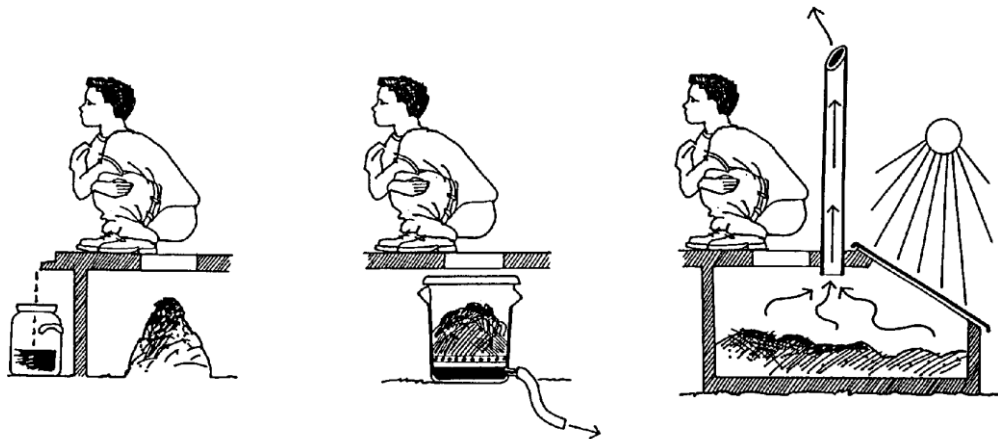


Abbildung 3: Urinseparierung, keine Trennung, Evaporation^[46; 48]

Das gewählte System ist dabei abhängig vom örtlichen Klima, einer möglichen Urinverwertung und den Hygieneanforderungen. Dabei erachten ROHRER & GEIGER (1996) eine Urinseparierung für notwendig, da sich andernfalls der hohe Wassergehalt, das geringe C:N-Verhältnis und die Strukturstabilität ungünstig auf den aeroben Prozess der Kompostierung auswirken^[36]. Für tropische Gebiete wird unbedingt die Trennung von Urin empfohlen, da es in diesen Gebieten ohnehin schwer genug ist aerobe Bedingungen herzustellen^[31]. Gegen eine Urinseparierung spricht, dass es durch die fehlende Feuchtigkeit des Urins zu einer Austrocknung des Materials kommen kann. Doch ist dies sehr unwahrscheinlich und, falls es dazu kommt, sehr unproblematisch, da es nur die Umsetzung verzögert und der Prozess durch die Zugabe von ein wenig Wasser wieder in Gang gesetzt wird^[36].

Allgemein sprechen folgende Punkte für die Trennung von Urin und Fäzes ^[48]:

- Urin und Fäzes benötigen verschiedene Behandlungsmethoden
- purer Urin ist relativ frei von pathogenen Keimen
- Urin dient als exzellenter Dünger in Garten- und Landwirtschaft
- Kleinhalten des Volumens von potenziell gefährlichem Material
- Vereinfachte Hygienisierung der Fäzes
- Unterbindung von überschüssiger Feuchtigkeit
- Reduzierung von Geruch

Die grundlegende Idee wie man Fäzes und Urin voneinander trennt ist einfach: Der Toilettenbenutzer sitzt über einer Trennvorrichtung; die Fäzes fallen hinter dieser und der Urin vor dieser in getrennte Auffangbehälter ^[36; 48]. Wichtig ist dabei die einwandfreie Trennung von Urin und Fäzes. Dabei können moderne als auch einfache Trennvorrichtungen zur Anwendung kommen und für den Selbstbau können auch fertige Urintrenneinrichtungen im Handel erworben werden. Wie beispielsweise der SEP-Urintrenneinsatz der Firma Berger (siehe Abbildung 24 im Anhang). Ergibt sich die Sitzgröße für kleine Kinder als problematisch, empfiehlt sich der Zusatz eines kleineren Sitzes, der dann einfach über den größeren Sitz gelegt werden kann (siehe Abbildung 25 im Anhang). Grundlegend ist die Idee der Urinseparierung nicht neu; in Japan und China beispielsweise wird dieses Prinzip einschließlich der Verwendung als Dünger und einer externen Nachkompostierung der Fäzes seit Jahrzehnten angewendet. Obwohl dieses Konzept bereits schon lange existiert, findet es in den meisten Teilen der Erde kaum Anwendung. Daher sind viele Menschen nicht vertraut mit dem Prinzip und zweifeln an der Funktionsfähigkeit. Erfahrungen von EcoSan zeigen, dass die Konstruktion sowohl für Männer als auch für Frauen funktioniert ^[48].

2.4 Nährstoffverwertung

Viele alte Kulturen, wie die Chinesen und Azteken, haben dieses Potenzial über Jahrtausende für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und zur Erzeugung ihrer Nahrungsmittel genutzt ^[8; 9]. Noch heute werden in Japan ungefähr 50 % der menschlichen Ausscheidungen in der Agrikultur angewendet ^[9].

Doch bevor die Komposterde bzw. die getrockneten Fäzes als Bodenverbesserungsmittel in der Landwirtschaft eingesetzt werden, ist es sehr wichtig Krankheitserreger vollständig abzutöten ^[48]. Dies geschieht bei der Kompostierung und bei der Dehydratation durch jeweils unterschiedliche Einflussfaktoren (siehe Kapitel 2.1). Doch aufgrund der hygienischen Unbedenklichkeit und der guten Düngereigenschaften, ist für eine effiziente Nährstoffrückführung grundsätzlich die separate Erfassung von Urin zu empfehlen ^[8].

Urin ist in der Regel keimfrei und kann bei einer Trennung der hygienisch problematischen Fäzes separat gelagert und nach kurzer Zeit bereits weiterverwendet werden ^[33; 36]. Doch besteht generell die Möglichkeit, dass Keime aus den Fäzes überwandern und den Urin verunreinigen ^[9; 33]. Aus diesem Grund sollte der Urin vorsichtshalber behandelt werden, um mögliche enthaltene Pathogene abzutöten, bevor er in der Landwirtschaft wiederverwendet wird ^[33]. Durch die desinfizierende Wirkung des Urins wird die Inaktivierung

der Keime gefördert und die Fortpflanzung von Mücken unterbunden^[48]. Im Falle einer Kreuzkontamination sollte somit der Urin gering verdünnt möglichst lange Zeit bei hohen Temperaturen, einer hohen Stickstoffkonzentration und einem hohen pH-Wert aufbewahrt werden, wobei die meisten Bakterien innerhalb weniger Tage absterben. Infolge eines hohen pH-Wertes wandelt sich der restliche Stickstoff vollständig in Ammonium um, so dass er von den Pflanzen aufgenommen werden kann^[33]. Der Anstieg auf einen pH-Wert von 9 wirkt bereits für viele anwesende Mikroorganismen toxisch (Vinneras in^[12]). Ab einer einmonatigen Lagerung bei 20° C kann der unverdünnte Urin nach EcoSan sicher in der Landwirtschaft eingesetzt werden^[48]. Die Lagerung kann beispielsweise in Kanistern erfolgen (siehe Anhang Abbildung) und die Aufbringung in einer Gießkanne^[8]. Urin braucht nicht verdünnt werden, wenn er vor der Bepflanzung direkt auf den Boden ausgetragen wird^[48]. Ansonsten sollte Urin mit Wasser im Verhältnis 1:5 bis 1:10 verdünnt werden um Blattverbrennungen durch den Stickstoff auszuschließen. Um ein Gesundheitsrisiko völlig auszuschließen, ist es ratsam den organischen Dünger nicht direkt auf die Pflanzen von Früchten oder Gemüse, die roh konsumiert werden, sondern auf den Boden aufzubringen.^[8; 9, 9; 48]

In dem Andengebiet Ecuadors wurden von J. Aragundy Versuche in Hinsicht auf die Lagerungszeit von Urin als Düngemittel gemacht. Dabei entdeckte diese, dass sich hohe und stetige Temperaturen, sowie Sonnenlicht, günstig auf eine pH-Wert Erhöhung auswirken. Bei dem Erreichen eines pH-Wertes von 9 färbt sich der Urin orange und zum anderen ändert sich die Konsistenz des Kunststoffbehälters. Somit helfen diese Ergebnisse bei der Anwendung des Urins, um zu erkennen, wann das organische Düngemittel ausgebracht werden darf.^[1]

Der Düngereffekt von Urin wirkt am besten in Verbindung eines Bodens mit einem hohem organischen Anteil. Die Komposterde vermischt mit Asche als Bodenverbesserungsmittel und der Urin als Düngemittel ergeben daher eine gute Kombination für die Nährstoffversorgung von Pflanzen. Der hohe Phosphor- und Kaliumgehalt des Bodenverbesserungsmittels gleicht den niedrigen des Urins aus und kann durch dessen hohen Stickstoffanteil den kommerziellen Dünger gleichwertig ersetzen. Doch beinhalten Fäzes im Gegensatz zu Urin eine erhöhte Konzentration an pathogenen Mikroorganismen und sind verantwortlich für die Verbreitung von Krankheiten durch menschliche Ausscheidungen. Aus diesem Grund ist eine entsprechende Nachbehandlung zur Hygienisierung dieser unverzichtbar (siehe Kapitel 2.1). Durch die Dehydratation und die Kompostierung werden pathogene Keime in den Fäzes harmlos gemacht, so dass die Fäzes sicher in der Landwirtschaft eingesetzt werden können.^[9; 48]

Die Ausbringung von Fäkalkompost wirkt sich positiv auf den Boden aus, indem er den Boden lockert und belüftet und dadurch eine bessere Kultivierung ermöglicht wird. Zudem wird die Wasserrückhaltefunktion verbessert und die Verschlammung nach starken Niederschlägen verringert^[48]. Der Zusatz von Humuserde ist notwendig um den Oberboden zu erhalten und zu erneuern. Im Kompost ist ein großer Teil der Nährstoffe in organischer Form gebunden, der erst mit der Zeit mineralisiert wird und eine langsame, kontinuierliche Düngewirkung besitzt^[8]. Da tropische Böden vor allem arm an organischen Inhaltsstoffen sind, ist der Zusatz von Komposterde hier besonders wichtig. Zudem sind Bodenverbesserungsmittel aus der Kompostierung oder Dehydratation reich an Phosphor und Kalium. Obwohl hier verhältnismäßig geringe Mengen an Nährstoffen gebunden sind, können diese fast vollständig von den Pflanzen genutzt werden. Kunstdünger hingegen sind

wasserlöslich, so dass ein Großteil der Nährstoffe ausgewaschen wird statt von den Pflanzen für ihr Wachstum verwendet zu werden ^[48]. Es ist nicht zu empfehlen, Pflanzen direkt auf den Kompost zu setzen, da aufgrund des überreichen Nähstoffangebots die Gefahr der Anreicherung von gesundheitsschädlichem Nitrat in den Früchten besteht ^[8]. Daher sollte vor der Kultivierung das Bodenverbesserungsmittel grundsätzlich unter den Boden gemischt bzw. vorher mit Erde oder Sand vermischt werden.

3 Trockentoiletten für Entwicklungsländer

In vielen Ländern gibt es einen Mangel an nutzbarem Wasser und zudem fehlen die finanziellen Mittel, so dass es schwierig ist, momentan existierende Ansätze von Sanitäreinrichtungen in die nicht entwickelten Länder zu übertragen ^[8; 48]. Angesichts hoher Defizite in den Entwicklungsländern im Bereich Sanitärtechnik und Hygiene werden zunehmend neue Lösungskonzepte gefordert, die für die weitgehende Mehrheit der Weltbevölkerung erschwinglich und vor allem auch an die kulturellen und sozialen Bedürfnisse angepasst sind. ^[8; 48]. Die Wasser- und Sanitätsprobleme in diesen Ländern, vor allem in den Städten, stellen eine der größten Hürden auf dem Weg zur nachhaltigen Entwicklung dar ^[29]. Zudem fehlt es in vielen Teilen der Erde an humusreichen Böden oder kommt es durch den Verlust an Oberboden zur Verschlechterung der Fruchtbarkeit, so dass für eine ausreichende Ernährung ein Defizit an Düngermittel besteht, jedoch ist kommerzielles Düngermittel meist zu teuer. ^[28] Um diese Probleme zu lösen, müssen innovative Technologien entwickelt und in diesen Ländern eingeführt werden. Dabei ist es wichtig Sanitätskonzepte einzuführen, die vor Ort anwendbar sind und auch ohne Wasser funktionieren.

3.1 Situation und Bedürfnisse

Zwei Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sauberen Toiletten. Das bedeutet, dass Fäkalien von zwei Milliarden Menschen statt entsorgt auf der Straße enden und verunreinigt den Flüssen zugegeben werden. Krankheitskeime kommen somit in den Wasserkreislauf und verunreinigen kostbares Trinkwasser ^[8; 28]. Fehlende sanitäre Systeme und mangelnde Hygiene sind verantwortlich für die Verbreitung von Krankheiten, die besonders für Kinder häufig tödlich endet ^[8]. Rund 80 Prozent aller Krankheitsfälle in der Dritten Welt sind gemäß der Weltgesundheitsbehörde (WHO) ‚wasserbedingt‘. Durchfall, Infektionen und andere Krankheiten die über Fäzes übertragen werden als Hauptgrund für die Gesundheitsprobleme in Entwicklungsländern gesehen ^[8; 9]. Denn ungefähr eine Billionen Menschen weltweit, zumeist Kinder, sind von Darmwürmern befallen und leiden als Folge an einem Ernährungsdefizit und einer Wachstumsschwäche. Dabei sind Durchfallerkrankungen die zweithäufigste Ursache der Kindersterblichkeit, an der laut WHO jährlich bis zu zwei Millionen Menschen sterben. Weitaus die meisten Krankheitserreger werden über den Darm ausgeschieden und daraufhin über menschliche Fäkalien in die Umwelt übertragen. ^[18; 36; 48]

Soziale Entwicklung

Die ‚German Toilet Organization‘ weist auf die Wichtigkeit von akzeptablen Toiletten hin, denn durch die Förderung der allgemeinen Gesundheit wird unter anderem auch mehr Kindern der Weg zur Schule ermöglicht. Denn die Qualität von Erziehung und Bildung sind entscheidend für die Entwicklung einer Gesellschaft. Eine gute sanitäre Ausstattung in den Schulen dient zum Schutz der Intimsphäre und stellt somit einen wichtigen

Beitrag zur Geschlechtergerechtigkeit und gegen die Diskriminierung dar. Denn beispielsweise Mädchen meiden während ihrer Menstruation Orte, an denen sie sich nicht waschen können und bleiben deshalb oft fern von der Schule.^[18]

Hygiene

Die Hauptüberträger von Krankheiten sind die Hände, die Medien Wasser und Boden und auch Fliegen, welche wiederum das Essen verunreinigen können. Um die Übertragung zu unterbrechen dürfen keine Fliegen vorhanden sein und frische Fäzes dürfen nicht in Berührung mit dem Medium Boden oder den Händen in Berührung kommen. Durch die Trockentoilette reduziert sich der Kontakt des Menschen mit den Fäzes, so dass die Übertragung pathogener Keime deutlich reduziert wird. Wenn zusätzlich die Fäzes gezielt und getrennt von Urin erfasst werden, reduziert sich das hygienisch problematische Volumen auf ein Minimum und kann so viel besser behandelt werden^[36]. Bis sich das Ausgangsmaterial in einem seuchenhygienischen Zustand befindet, sollte der Umgang vermieden werden und mit dem Endprodukt der Komposterde bzw. den getrockneten Fäzes sollte immer vorsichtig umgegangen werden. Um das Risiko einer Übertragung bei der Benutzung von Trockentoiletten so gering wie möglich zu halten, ist es wichtig die möglichen Übertragungswege völlig zu unterbinden und die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen zu berücksichtigen. Beim Entleeren der Kammern wird das Tragen von Handschuhen mit anschließendem Händewaschen empfohlen.^[8; 48] Die Wichtigkeit des Händewaschens darf nicht unterschätzt werden, denn hierdurch wird das Auftreten von Durchfallerkrankungen bereits stark reduziert^[9]. Die Möglichkeit zum Händewaschen und ein Hinweisschild sollten gegeben sein um den Übertragungsweg durch verschmutzte Hände zu unterbinden^[48]. Dies gilt insbesondere nach der Stuhlentleerung, vor der Essenszubereitung und für den Umgang mit Kindern^[48]. Zudem ist es erforderlich die Toilette sauber zu halten und Personen jedes Alters, d.h. auch Kinder, die Benutzung der Toilette zugänglich zu machen^[31]. Die Toilettenoberflächen sollten zur Vorbeuge von Schmierinfektionen regelmäßig und sachgerecht gereinigt werden^[8].

Akzeptanz

Die Akzeptanz eines Sanitärsystems ist von großer Wichtigkeit, da die Anlage sonst nicht gereinigt, gewartet oder gar verwendet wird. Bei der Integrierung eines neuen Toilettensystems sind die traditionellen Ansätze sowie religiöse und soziale Hintergründe zu beachten^[27]. Zu der gesellschaftlichen Anerkennung gehört, dass eine Sanitäreanlage robust genug ist, um mit den Einschränkungen bezüglich der Materialien und des Wissens vor Ort einfach unterhalten werden zu können^[48]. Dabei gibt es kein Patentrezept einer angepassten Low-Tech-Lösung^[27], denn das Konzept muss direkt auf die Bewohner vor Ort abgestimmt werden und an ihre Bedürfnisse und Vorstellungen angepasst werden. Eine Sanitäreanlage muss somit ästhetisch unbedenklich und beständig sein und mit kulturellen, religiösen und sozialen Werten übereinstimmen^[48].

Sensibilisierung

Durch den bewussten Umgang mit Wasser werden die Menschen auf eine sparsame Umgangsweise mit Wasser sensibilisiert. Denn die differenzierte Behandlung der verschiedenen Stoffströme in privaten Haushalten steigert das öffentliche Bewusstsein in Bezug auf das Abwasser sowie den menschlichen Ausscheidungen und fördert damit auch den verantwortungsvolleren Umgang mit Wasser^[27]. Wird beispielsweise Grauwasser

gereinigt, zurückgeführt und wiederverwendet, werden die Benutzer genauestens darauf achten, was diesem Wasser zugegeben wird. Denn alles, was an Giftstoffen dem Wasser zugeführt wird, kommt in dem sonst sauberen Wasser wieder zu ihnen zurück.

3.2 Konzepte der Trockentoilette

Das Prinzip der Trockentoilette funktioniert ohne Wasser und findet vor allem in entwicklungsbedürftigen Ländern Anwendung. Im Folgenden wird auf die Systeme der Komposttoilette, Grubenlatrine und der Trocknungstoilette näher eingegangen. In diesem Zusammenhang werden bereits bestehende Konzepte in ärmeren Ländern als Beispiel herangezogen um die Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen Systeme aufzuzeigen. Als problematisch bei diesen Systemen gilt allgemein die Einführung der Systeme in neue Gebiete, da oft unvorhergesehene Probleme auftreten ^[31].

Komposttoilette

Die Behandlung der Fäkalien findet in einer Komposttoilette mit Hilfe der Kompostierung statt, auf die im Kapitel 2.1 detailliert eingegangen wird. Dabei liegt die Schwierigkeit in der Einhaltung des notwendigen Feuchtigkeitsbereichs des Materials. Doch wird dieser eingehalten und die Komposttoilette gepflegt, kommt es beim Gebrauch nicht zur Geruchsbildung oder zu der Erzeugung von Fliegen. Bei der gemeinsamen Behandlung der Fest- und Flüssigstoffe kann die Anbringung von Solarkollektoren für optimale Temperaturbedingungen sinnvoll sein, wie bei dem angewendeten Prinzip der ‚Tecnologia Alternativa group‘ in Mexiko (siehe Abbildung 26 im Anhang). Da die Anwendung recht kompliziert und gewöhnungsbedürftig ist, werden für die Einweisung in neue Gebiete oft Hilfsprogramme zur Einführung benötigt, welches wiederum recht kostenaufwändig ist. ^[26; 48]

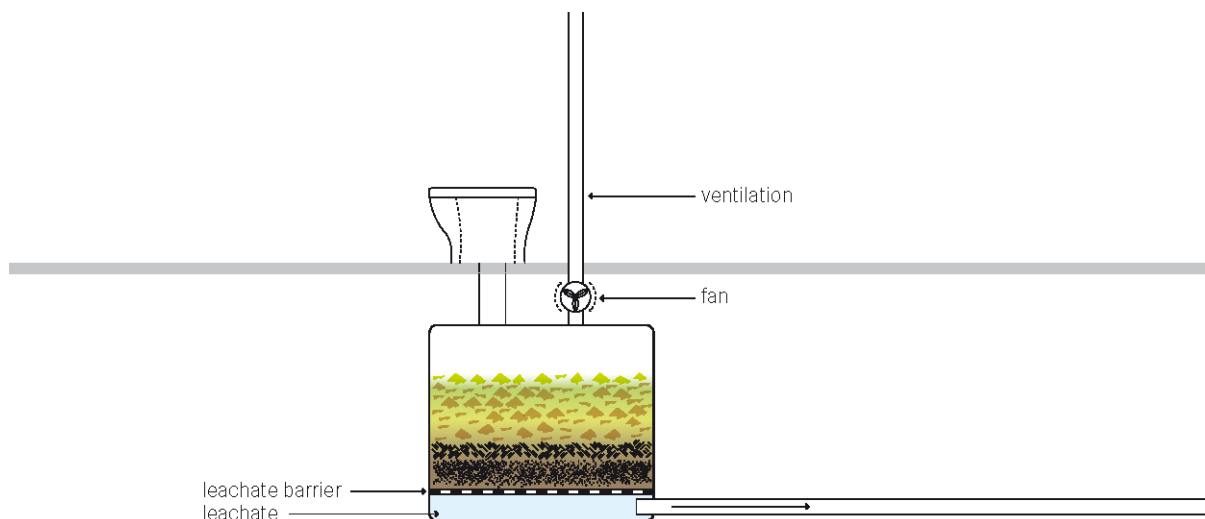


Abbildung 4: Composting Chamber ^[15]

Bei der ‚Composting Chamber‘ können Fäkalien zusammen mit organischem Abfall kompostiert werden (siehe Abbildung 3). Nach diesem Prinzip werden die Fest- und Flüssigstoffe zusammen behandelt, doch kann auch alternativ eine Urintrennvorrichtung eingebaut werden. Nach dem „Compendium of Sanitation Systems and

Technologies“ muss ein Feuchtigkeitsgehalt von 45-70 %, eine Temperatur von 40-50° C und ein C:N-Verhältnis von 25:1 bei diesem System eingehalten werden. Für eine ausreichende Sauerstoffversorgung sorgt der eingebaute Ventilator. Die Kompostierungskammer soll alle 2 bis 10 Jahre geleert werden. ^[15]

Grubenlatrine

In einer einfachen Grube im Boden werden die menschlichen Exkremente unter Zugabe von Einstreumaterial gesammelt ^[23; 48]. Wenn die Grube fast voll ist, wird sie mit Erde aufgefüllt und die Konstruktion wird auf ein neues Loch verschoben. Das nach sechs bis zwölf Monaten verrottete Material kann als Bodenverbesserungsmittel verwendet oder im Boden belassen werden. Dieses System wird vorwiegend in warmen Klimaten mit einem Grundwasserspiegel unter drei Metern angewandt, denn es ist einer möglichen Grundwasserkontamination durch austretendes Sickerwasser vorzubeugen.

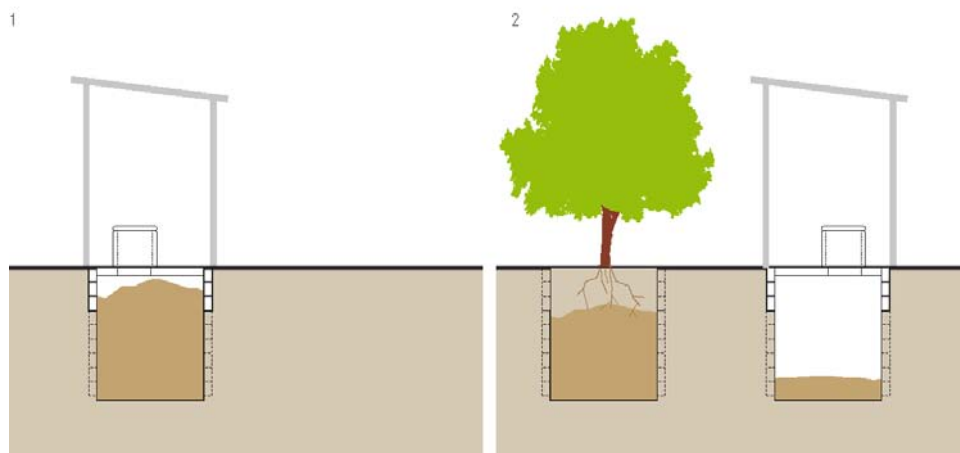


Abbildung 5: Grubenlatrine „Arborloo“ ^[15]

Das Konzept Arborloo folgt dem Prinzip der Grubenlatrine und wurde von EcoSan für Zimbabwe entwickelt. Nachdem die Grube gefüllt ist, wird ein Baum gepflanzt, der die Nährstoffe im Boden aufnimmt. Auf diese Weise entsteht alle sechs bis zwölf Monate nicht nur eine neue Grube, sondern auch ein neuer Baum. ^[15; 35; 48]

Trocknungstoilette

Als wasserloses Sanitärsystem kann in trockenen Ländern auch die Verwendung der Trocknungstoilette in Erwägung gezogen werden. Hierbei werden Trockenkammern verwendet um die Fäzes zu sammeln, zu lagern und zu trocknen. Die Vernichtung pathogener Keime soll dabei durch einen Wassergehalt unter 25 % und einen pH-Wert über 9 erzielt werden, wobei noch keine Richtlinien zur Anwendung vorliegen ^[12]. Daher muss eine Urinabtrennung erfolgen und jeglicher Feuchtigkeitseindrang unterbunden werden. Nach jeder Benutzung wird Asche zugegeben, da diese zum einen den Fäzes Feuchtigkeit entzieht und zum anderen den pH-Wert erhöht. In tropischen Gebieten ist für einen effektiveren Feuchtigkeitseitzug der Fäzes und eine schnellere Zerstörung pathogener Keime der Einsatz von Solarkollektoren sinnvoll. Hier kann das von WINBLAD entwickelte System für Vietnam Anwendung finden (siehe Abbildung 27 im Anhang). ^[48, 48]

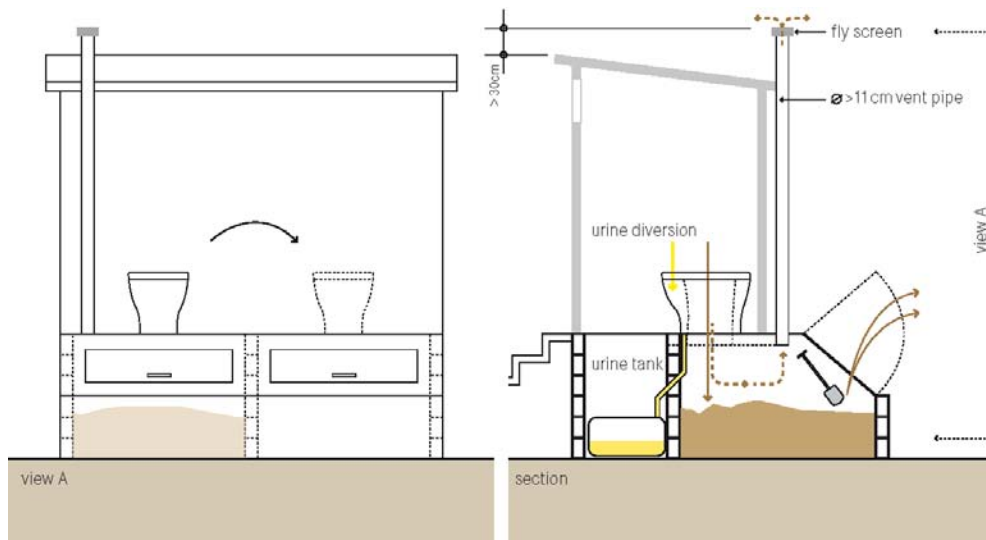


Abbildung 6: 'Dehydrating Vaults' nach dem Zweikammer-Prinzip ^[15]

Bei der Trocknungstoilette wird meistens das Zweikammer-Prinzip angewendet. Die Kammern werden abwechselnd benutzt, so dass die Vermischung von bereits Zersetzten mit noch Unzersetztem verhindert wird um bedenkliches Material auszuschließen. Nach ungefähr sechs Monaten ist die erste Kammer voll, so dass diese mit Erde bedeckt und verschlossen wird, um nach weiteren sechs Monaten entnommen und als Bodenverbesserungsmittel auf die Felder ausgetragen zu werden. Diesem Prinzip folgt die Trockentrenntoilette aus Vietnam zum Hocken (siehe im Anhang Abbildungen 28 und 29) und das weiter entwickelte Prinzip aus Guatemala mit einem beweglichen Sitz (siehe im Anhang Abbildungen 30 und 31), sowie das oben abgebildete Prinzip des ‚Eawag-Sandec-Sanitation Systems‘. ^[8; 32; 47; 48]

Alternative Verwertungsmöglichkeiten

Biogasanlage als Alternative:

In wärmeren Klimaten können Biogasanlagen eine wichtige Energiequelle darstellen. Aus dem persönlichen Gespräch mit Herrn Claus Lindenblatt der Technischen Universität München, ist zu entnehmen, dass sich in einer Gemeinde ab 200 Einwohnern der Einsatz einer Biogasanlage als wirtschaftlich erweist. Für eine Verwertung der Fäzes, der organischen Stoffe und des Schwarzwassers ist es notwendig die anfallenden Stoffe zentral zu sammeln. Eine effiziente Vergärung verläuft nur unter strengem Sauerstoffabschluss und relativ hohen Temperaturen ($> 30^{\circ}\text{C}$) ab ^[27]. Der ausgefaulte Rückstand gilt nach Erwärmung auf Temperaturen von ca. 45°C als hygienisch unbedenklich und kann für die Landwirtschaft verwendet werden ^[12,27]. In warmen Klimaten soll die hydraulische Laufzeit mindestens 15 Tage betragen ^[12]. Eine detaillierte Beschreibung zu einem anaeroben Biogasreaktor findet sich in dem ‚Compendium of Sanitation Systems and Technologies‘ ^[15] und das Prinzip findet sich im Anhang unter der Abbildung 32.

Externe Behandlungsanlage der Fäzes:

Es gibt auch die Möglichkeit Fäzes in einer separaten Anlage nachzubehandeln. Findet die externe Behandlung

Anwendung, werden die Fäkalien von dem Zwischenspeicher der Trockentoilette in die baulich getrennte Kompostierungsanlage zur endgültigen Behandlung gegeben. Für die Bewohner erfordert dies den Umgang mit den Fäkalien, während diese sich in einem kritischen seuchenhygienischen Zustand befinden ^[22]. In einer externen Kompostierungsanlage kann zudem organisches Material mitbehandelt werden (siehe Abbildung 33 im Anhang). Als Endprodukt entsteht Komposterde, die für den landwirtschaftlichen Anbau verwendet werden kann. Diese Anlage ist nach dem ‚Compendium of Sanitation Systems and Technologies‘ besonders gut für Stadtgebiete geeignet ^[15].

Teil B: Anwendung

4 Yuvienta

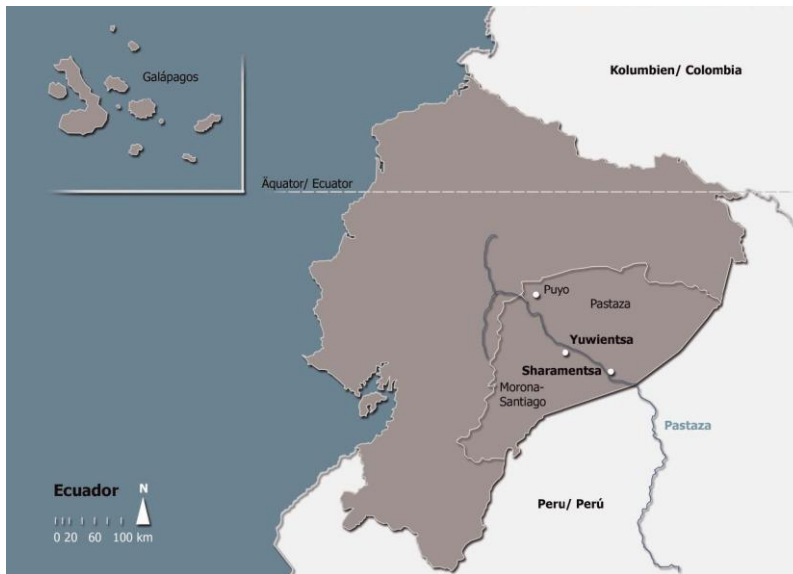


Abbildung 7: Ecuador, Yuvienta (Koordinaten: 2°09'90" Süd/ 77°34'60" West) ^[4]

Lage:

Das hügelige Siedlungsgebiet Yuvints der Shuar-Indios liegt etwa 500 m über dem Meeresspiegel im Norden der Provinz Morona Santiago, die sich im Südosten Ecuadors befindet und nördlich an die Provinz Pastaza grenzt (siehe Abbildung 6). In dem Dorf Yuvienta herrscht ein Tageszeitenklima mit einer durchschnittlichen Temperatur von 26° C bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit und hohen Niederschlägen. Mit bis heute weitgehendem Primärwald gehört es zu den artenreichsten Regionen der Erde.

Bevölkerung und Dorfgefüge:

In der Gemeinde Yuvienta leben 18 Familien mit durchschnittlich je 9 Kindern; oft recht weit voneinander entfernt. Die Distanz der Häuser erschwert die Übersichtlichkeit über das Dorf. In unmittelbarer Nähe der Flugpiste sind Schule, Gemeindehaus und die Sanitätsstation angeordnet, die als Zentrum gelten. Durch den Kinderreichtum ergibt sich eine Einwohnerzahl von rund 200 Personen. Yuvienta liegt weit ab vom Straßennetz und befindet sich circa eine halbe Flugstunde entfernt von dem Flugplatz Shell bei der Kleinstadt Puyo.

Gefährdung der Existenz:

Die Mitglieder des indigenen Stamms der Shuar sehen ihre Existenz seit einiger Zeit im Regenwald gefährdet, da sie einerseits die Ölindustrie fürchten und zum anderen keine Zukunftsperspektive für die jungen Menschen im Regenwald sehen, die bereits vermehrt in die Städte flüchten. Doch die Ölförderung ist ein wichtiger wirtschaftlicher Sektor und damit eine gute Einkommensquelle für die ecuadorianische Regierung. Durch die Ölförderung ist gleichzeitig auch die Abholzung großer Flächen des Regenwalds für die notwendige Erschließung eines Wegenetzes gefährdet.

Unterstützung durch die Stiftung Amazonica:

Die indigene-Bevölkerung möchten den Wald hüten und schützen, jedoch sieht sie sich nicht befähigt gegen die Ölindustrie und den Staat anzukommen. Um weiterhin ein selbstbestimmtes Leben führen zu können, baten die Gemeinden Indio-Hilfe um Unterstützung. Der gemeinnützige deutsche Verein setzt sich bereits seit 1982 im ecuadorianischen Regenwald für die Indigenas ein. Aufgrund der Bitte der Indigenas wurde daraufhin im Jahre 2001 die Stiftung Amazonica gegründet mit dem Ziel eine finanzielle Unabhängigkeit zu erreichen. So möchte Amazonica eine tourismusbasierte Einkommensquelle durch den Betrieb der Wissenschaftsakademie für die Indígenas schaffen, unter Wahrung der sozialen, kulturellen und ökologischen Integrität der Gemeinde und unter dem Schutz des Lebensraumes Urwald. Dabei möchte Amazonica den Naturschutz, die Bewahrung traditioneller Werte mit nachhaltiger Nutzung der Artenvielfalt unter der Anwendung moderner Technologie vereinen.

Wissenschaftsakademie:

Um die Errichtung der Forschungsakademie zu ermöglichen, entwickelte Amazonica mit den Shuar zusammen ein Modell für zeitgemäßes Leben und Arbeiten im Wald. In Yuvientsa soll nun die erste Urwaldakademie entstehen, die jungen Menschen ein Verständnis für den tropischen Regenwald vermitteln und ihnen eine Infrastruktur für Forschung und Lehre ermöglichen will, um damit der Waldbevölkerung Arbeitsplätze und Einkommen vor Ort zu bieten. Eine Ausbildung für die Bewohner ermöglicht diesen, die Leitung der Akademie zu übernehmen, und mit ihrem Wissen die Besucher in dem Wald zu führen. Die Idee des sanften Tourismus ist es, Wissenschaftler als Einnahmequelle zu nutzen, da diese nicht wie Erlebnistouristen mit einer Erwartungshaltung, sondern mit einem Forschungsprojekt in den Wald kommen. Die Mustergemeinden sollen zugleich Vorbild für die umliegenden Dörfer sein und den Wissenstransfer unter den Indigenas ermöglichen.

[2; 4; 13; 17; 38; 40; 51]

Hygieneprogramm vor Ort

Anfängliche Hygienische Verhältnisse:

Für Amazonica stand zu Beginn die Verbesserung der hygienischen Verhältnisse im Ort im Vordergrund, denn die Gesundheit der Bewohner litt an der unangemessenen Verhaltensweise hinsichtlich hygienischer Bedingungen. Da es keinerlei sanitäre Entsorgung gab, endeten die Ausscheidungen der Kinder im Hof. Durch die Einfuhr von Dosen und Kunststoffverpackungen verschiedener Hilfsorganisationen häufte sich viel Müll im Dorf an, welche aufwändig über den Luftweg aus dem Dorf geschafft wurden. Um in Yuvientsa eine hygienische Grundversorgung bereitstellen zu können, wurde ein Sanitärhaus errichtet sowie Sanitäter ausgebildet und um der Malaria vorzubeugen, wurden die Betten der Bewohner mit Moskitonetzen ausgestattet.

Einführung von Hygienemaßnahmen:

Um ein umfassendes Hygiene- und Umweltkonzept in der Gemeinde zu implementieren, wurde 2005 ein Hygieneaufklärungsprogramm durch ‚Ecological Sanitation‘, kurz EcoSan, von Jenny Aragundy vor Ort durchgeführt. Das Hauptziel des Projekts war die Einführung eines nachhaltig ökologischen Abfall- und Abwasserkonzepts für die Bewohner, das auch in anderen Gemeinden Anwendung finden kann. Dadurch sollten Lebensstandard und Gesundheitsbedingungen im Dorf verbessert werden. Bei der Arbeit im Dorf legte

J. Aragundy viel Wert auf die Zusammenarbeit mit der Kommune sowie die Auslegung der Konzepte auf deren kulturellen Notwendigkeiten und Bedürfnisse; denn Menschen können ihre Gewohnheiten nur ändern, wenn sie die dahinterstehende Wichtigkeit erkennen und die direkte Auswirkung auf ihr Leben spüren. Nach diesem Grundsatz wurde ein Schwerpunkt auf die enge Zusammenarbeit mit den Dorfbewohnern gelegt. Somit umfasst das Projekt zum einen die Belehrung von Gesundheits- und Hygienemaßnahmen und zum anderen die Errichtung von technischen Anlagen. In der Einführungsphase wurden mit Hilfe von Workshops mit den Kindern und Erwachsenen die Müllproblematik sowie eine mögliche Mülltrennung diskutiert und die Thematik des Händewaschens anhand von Überlegungen möglicher Übertragungswege von Krankheiten verdeutlicht. Während der Durchführungsphase wurde jede der 18 Familien besucht, so dass die Verhaltensweisen überprüft und gegebenenfalls verbessert werden konnten.

Errichtung von Anlagen:

Gleichzeitig wurden Anlagen eingeführt, die ein nachhaltiges Umweltkonzept erst möglich machten. In diesem Rahmen wurde ein Mülltrennungskonzept eingeführt mit separaten Behältern für Kunststoffe und Aluminium, Papier, Giftstoffen wie Batterien und organischen Stoffen (siehe Abbildung 34 im Anhang). Für jedes Haus wurde eine Deponie für die Ablagerung anorganischer Stoffe wie Dosen, Glas, Kunststoffflaschen, Gummistiefel und Kleider errichtet. Für die Verwertung der organischen Stoffe wurde eine Kompostierungsanlage errichtet (siehe Abbildung 35 im Anhang). Dabei betragen die organischen Stoffe mehr als 90 % der Gesamtabfälle und werden durch die Kompostierung in Humuserde umgewandelt, um später für den Anbau von Gemüse genutzt zu werden. Um das Abwasser aus den Wassertoiletten der Schule zu behandeln, wurde eine Biogasanlage errichtet, um aus den menschlichen Fäzes Gas zu erzeugen, welches für die Erhitzung des Kochers in der Küche genutzt werden kann und gleichzeitig der Verwertung der Ausscheidungen dient.

Trocknungstoiletten:

Um die Fäkalienproblematik weiterhin zu entschärfen, wurde für jede Familie eine Trockentrenntoilette errichtet. Den Familien wurde die Anwendung des Urins als Flüssigdünger und die Verwendung der getrockneten Fäzes als Bodenverbesserungsmittel erklärt. Dabei wird die Asche aus der Küche für die Trockentoilette als Zuschlagsmittel verwendet. Durch anschließende Hausbesuche wurde kontrolliert, ob eine richtige Anwendung erfolgt. Als zusätzliche Hygieneverbesserungsmaßnahme wurden Apparaturen zum Händewaschen errichtet.

Eigenanbau mit Hilfe des gewonnenen organischen Düngers:

Zudem ist es den Bewohnern durch den nun gewonnenen Dünger möglich, im hauseigenen Garten und auch in den neu errichteten Gewächshäusern Gemüse anzubauen, wodurch die Ernährung verbessert wird. Ziel soll sein, dass keine Nahrung von außen mehr eingeflogen werden muss. In diesem Zusammenhang fanden ebenfalls Workshops statt, bei denen die Teilnehmer lernten, wie man erkennen kann, dass der pH-Wert von 9 auf Grundlage der Farbveränderungen im Urin erreicht wurde und der Urin somit als Dünger ausgebracht werden kann. Zusätzlich wurde für jede Familie eine Broschüre ausgeteilt, in der die Lagerung und Anwendung des Urins als Dünger für Saatgut erklärt wird.

Ergebnisse:

Durch das verwirklichte Hygieneaufklärungsprogramm entstand eine sauberere und gesündere Kommune mit einem verbesserten Lebensstandart. Durch die Benutzung der neuen Anlagen, nahm zum einen die Durchfallerkrankung bei Kleinkindern ab, und zum anderen ergab sich durch die Düngerproduktion ein besserer Ernteertrag. ^[2, 3]

5 Planung der Abwasserreinigung

5.1 Gesamtkonzept

Die Siedlungsstruktur der Gemeinde Yuvientsa gestaltet sich sehr weitläufig und dezentral. Abbildung 8 zeigt den Lageplan des Dorfes Yuvientsa, wobei sich viele Häuser der Bewohner außerhalb des aufgezeichneten Gebietes befinden.

Südöstlich der Flugpiste grenzt das Zentrum des Dorfes an (siehe Abbildung 8: Bereich des Dorfzentrums). Hier befinden sich der Speisesaal mit angrenzendem Versammlungshaus, das Sanitätshaus sowie die Grundschule. Die Küche des Speisesaals, als auch das Sanitätshaus werden mit fließendem Wasser versorgt, deren Abwasser bislang in ein provisorisches Sickerbeet fließt. Aufgrund der weitläufigen Verteilung der Grundstücke ist eine zentrale Abwasserreinigung nicht möglich, jedoch sollten dezentrale Kleinkläranlagen in Form von Abwasserteichen nach den bestehenden Vorbildern (siehe Abbildung 8: Häuser 1 und 2) in Erwägung gezogen werden. Die Bäche Yuvi und Yuvints dienen den Anrainern als Wasch- und Badeplatz. Die Implementierung eines Waschplatzes mit Abwasserreinigung ist aufgrund der Dezentralität fragwürdig. Nördlich der Flugpiste befindet sich das Akademiegelände (siehe Abbildung 8: Bereich der Akademie). Derzeit beinhaltet des Wissenschaftszentrum ein Haus zur Beherbergung von fünf Dozenten und 15 Studenten, sowie zwei angeschlossene Sanitäreinrichtungen mit insgesamt 6 Duschen, 6 Wassertoiletten und 8 Wasserhähnen. Die Wasserversorgung erfolgt von derselben Quelle wie die der Bewohner und die Abwasserentsorgung derzeit mit Hilfe einer provisorischen Klärgrube. In naher Zukunft ist die Erweiterung des Geländes um eine Bibliothek und einen Speisesaal mit eigener Küche und zwei separaten Trockentrenntoiletten geplant. Aufgrund der erwarteten Zunahme an Gästen, die laut Amazonica ein Maximum von 30 erreichen kann, ist es dringend notwendig, die bestehende Abwasserentsorgung durch eine kostengünstige, wartungsarme Abwasserreinigungsanlage unter den Aspekten der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes zu ersetzen. Dazu soll das Gesamtkonzept der Akademie aufgrund des Prinzips nach Abbildung 9 erfolgen. Hierfür kommen die Gebiete A, B und C in Frage (siehe Abbildung 8), die in den Forschungsarbeiten von Constanze Gohlke, Salome Parra und Sofie Eberle näher untersucht werden.

Bei erfolgreichem Verlauf und Betrieb des Projektes ‚Abwasserreinigung‘ in der Gemeinde Yuvientsa wird das Konzept an die Bedürfnisse interessierter, umliegende Gemeinden angepasst und integriert.

Lageplan der Gemeinde Yuvientsa Provinz Morona Santiago, Ecuador

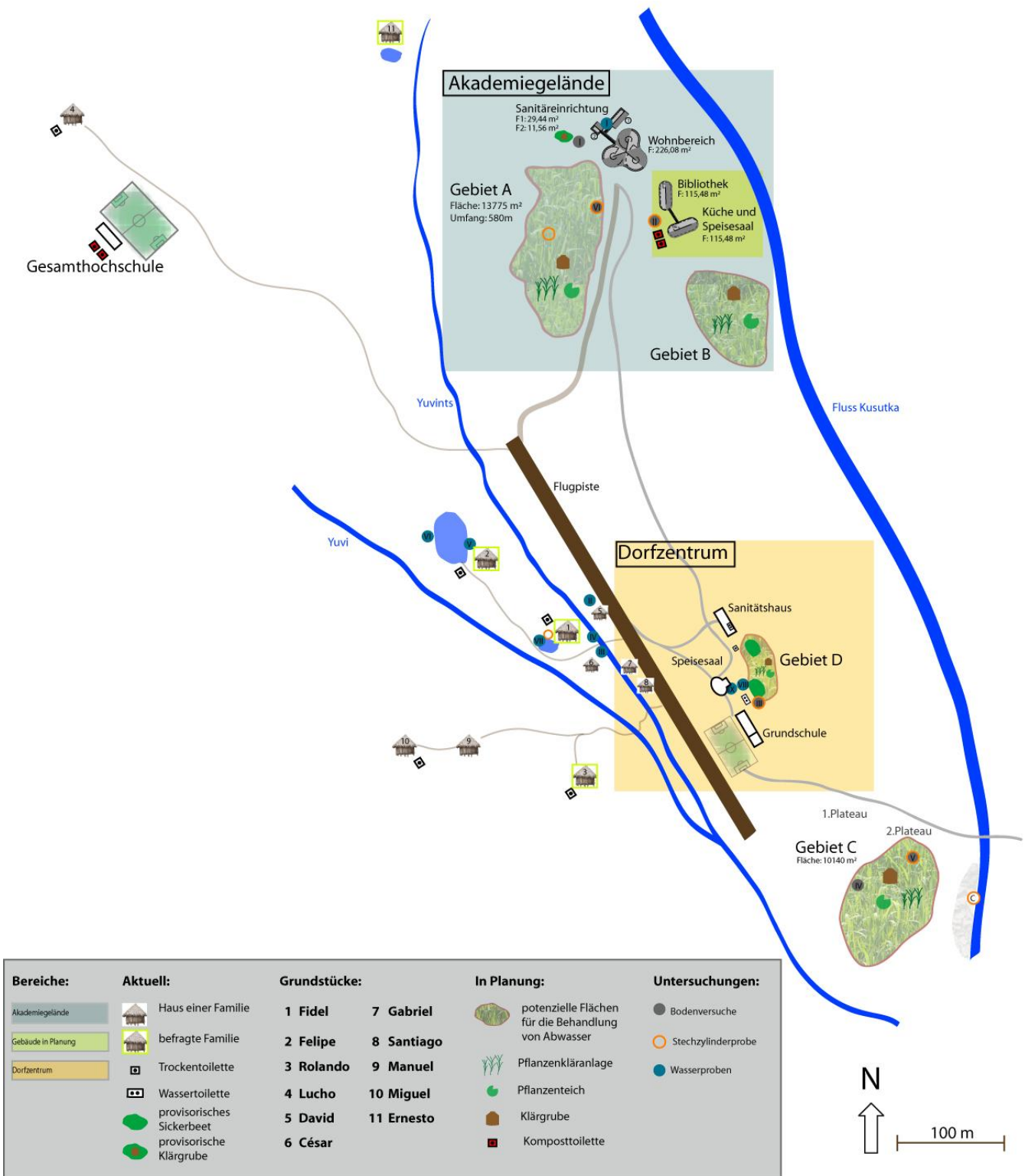


Abbildung 8: Lageplan der Gemeinde Yuvientsa, Ecuador

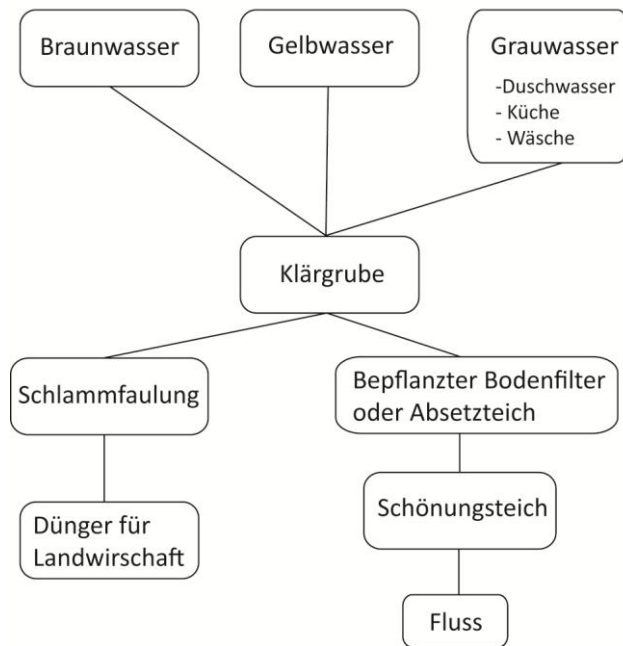


Abbildung 9: Planungskonzept für die Akademie

5.2 Einsatz einer Trockentoilette

Ziel dieser Arbeit ist die Empfehlung von Handlungsmöglichkeiten für den Einsatz einer Trockentoilette in Yuvientsa. Zum einen sollen hierfür die bestehenden Sanitärsysteme genauer betrachtet und zum anderen die Bewohner befragt werden, um die Bedürfnisse und Gewohnheiten der Bevölkerung in die Konzeptplanung mit einbeziehen zu können. Durch den Einsatz einer Trockentoilette soll ein geschlossener Nährstoffkreislauf erfolgen (siehe Abbildung 10).

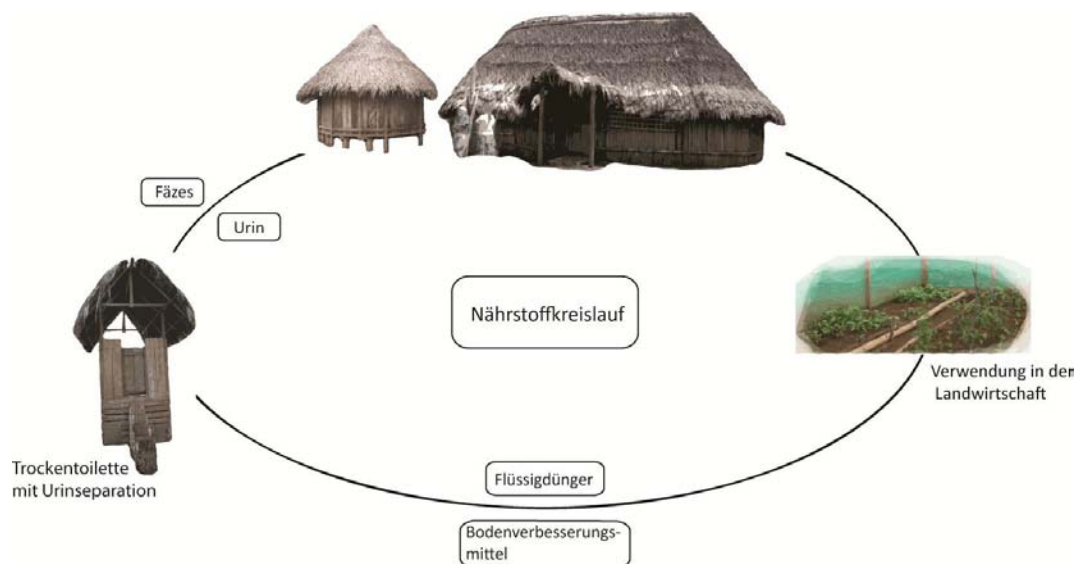


Abbildung 10: Prinzip des geschlossenen Kreislaufs

Dieser wird durch eine Urinseparierung erreicht, da hierdurch Fäzes und Urin getrennt behandelt werden können und später dann in der Landwirtschaft eingesetzt werden können (siehe Abbildung 11).

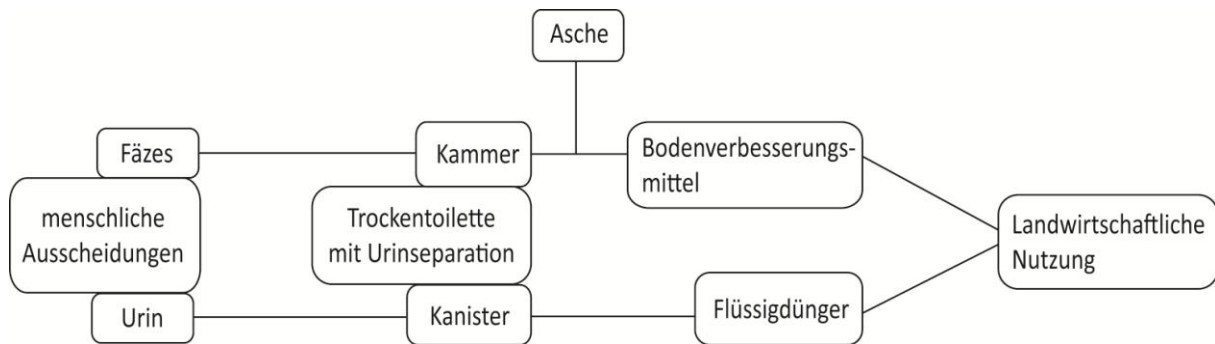


Abbildung 11: Prinzip der Trockentoilette mit Urinseparation

In diesem Zusammenhang wird auch der Einsatz der Wassertoilette kritisch hinterfragt, die ebenfalls in Yuvientsa eingeführt wurde. Die Untersuchungen vor Ort dienen der Ausarbeitung von Schwierigkeiten in der Anwendung bestehender Sanitärsysteme und der Darlegung dieser Probleme mit dem Hinweis von Verbesserungsmöglichkeiten. Zudem sollen die als kritisch empfundenen Aspekte für den Einsatz einer Trockentoilette für die Akademie beachtet werden. Für die zu planende Trockentoilette werden die drei in Frage kommenden Systeme aus Teil 1 verglichen und bewertet um eine anschließende Eignung herauszuarbeiten. Der Einsatz einer Trockentoilette ist zudem eine wichtige Vorbildfunktion für die Studenten. Denn die Verwendung dieser schult das ökologische Bewusstsein und verdeutlicht die Wichtigkeit eines sparsamen Umgangs mit Wasser.

Die Bewohner in Yuvientsa sind seit rund fünf Jahren mit der Benutzung einer Trocknungstoilette und der zugehörigen stofflichen Weiterverwertung vertraut. Dies ist für eine Kultur, die keinerlei Einflüssen von außen unterliegt und noch nie im Besitz einer sanitären Anlage war, kein langer Zeitraum für die Eingewöhnung eines Systems, das in den Alltag integriert werden muss und einen Eingriff in die persönlichen Intimität darstellt. In Anbetracht dieser Umstände haben die Bewohner das für sie neuartige Sanitärsystem sehr gut akzeptiert und zeigen sich auch motiviert in der Anwendung.

Es ist wichtig, Veränderungen, von denen man die Konsequenzen nicht genau abschätzen kann, langsam und bedacht anzugehen, da diese bei einem Misserfolg schnell zu Unzufriedenheit seitens der Bewohner und auch der Planer führen kann. Zudem liegt die Problematik in dem enttäuschten Vertrauen der Bewohner, die in Zukunft nach einer solchen Erfahrung skeptischer auf Veränderungen reagieren werden.

Durch die örtliche Abgeschiedenheit ist es wichtig, möglichst lokale Materialien für die Errichtung zu verwenden, da diese sonst eingeflogen werden müssen. Es stehen somit Werkstoffe zur Verfügung, die in der Region vermehrt vorkommen und Methoden, mit denen die Shuar vertraut sind. Dies unterstützt zudem das Prinzip des autarken Dorfes und der Nachhaltigkeit und dient darüber hinaus dem Schutz der Umwelt. Die besondere Herausforderung ist die Verbindung von Einfachheit, Funktionsfähigkeit, Robustheit und Benutzerfreundlichkeit. Es gilt diese vier Aspekte sinnvoll aufeinander abzustimmen. Funktioniert beispielsweise eine Konstruktion betriebssicher und besteht aus nachwachsbaren Rohstoffen, wird es nichtsdestotrotz aus Mangel der Benutzerfreundlichkeit eventuell nicht verwendet. Eine Trockentoilette kann verschiedenen Prozessen unterliegen und unterschiedlich gestaltet werden, wobei diese direkt auf die kulturellen Bedürfnisse der Bewohner und auf die dortigen Naturgegebenheiten angepasst werden müssen.

6 Darstellung der Ergebnisse

6.1 Vorhandene Sanitäranlagen

In Yuvientisa gibt es durch den Einfluss von Amazonica bereits schon Sanitäranlagen. Das Sanitätshaus verfügt zum einen extern über eine Trockentrenntoilette und zum anderen intern über ein Bad mit Wassertoilette und Dusche. Diese werden sauber gehalten und funktionieren, wenn Wasser für die Spülung verfügbar ist, relativ gut. Auch die Schule verfügt über Wassertoiletten. Im Rahmen des Hygieneprogramms 2005 wurden zudem für alle beteiligten Familien Trockentoiletten installiert.

Wassertoiletten in der Schule

Vor einiger Zeit wurden die Wassertoiletten für die Schule installiert, wobei es sich um ein Pilotprojekt handelte. Da die Kinder zu Hause keine Sanitäranlage besaßen, war bereits die Benutzung einer Toilette für sie gänzlich neu, und für die Lehrer stellte der Umgang mit einer Spültoilette ebenfalls eine neue Erfahrung dar. Da Lehrer sowie Schüler nie den Umgang mit dieser modernen Art der Toilette gelernt hat, waren diese mit der Situation überfordert. Die Toiletten wurden nicht gepflegt, so dass sie zunächst stark verschmutzten (siehe Abbildung 12, sowie im Anhang Abbildungen 40 und 41). Wenig später verstopfte der Abfluss durch unsachgemäße Verwendung, so dass die Toiletten schon kurz nach der Errichtung nicht mehr verwendet werden konnten. Inzwischen ist das Problem nicht mehr mit einfachen Reparaturen zu beheben, denn mittlerweile ist die Konstruktion stark beschädigt, so dass Teile von Türen morsch sind oder sogar fehlen (siehe Abbildung 12, sowie im Anhang Abbildung 42). Eine Wiederherstellung der Betriebsfähigkeit würde somit Reparaturen der Konstruktion voraussetzen. Ob die Anlage nochmals in Betrieb genommen wird, ist noch nicht sicher.



Abbildung 12: verschmutzte Wassertoilette der Schule mit kaputter Tür

Trocknungstoilette des Sanitätshauses

Die Trockentoilette des Sanitätshauses liegt im Zentrum nahe an Speisesaal und Schule gelegen. Die Trocknungstoilette wird von Personen genutzt, die sich im Zentrum aufhalten. Seitdem die Schultoiletten nicht mehr funktionieren, wird diese besonders von den Schülern aufgesucht. Die Trocknungstoilette wurde auf dem Bodengrund errichtet. Abbildung 13 zeigt die Trockentoilette mit Angabe der Größenverhältnisse (siehe Abbildung 13).



Abbildung 13: Trocknungstoilette des Sanitätshauses mit Maßangaben

Das Grundgerüst und die Wände bestehen aus Holz. Die Grubenumrandung ist mit einem wasserdichten Material, das aus der Umgebung stammt, verdichtet (siehe Abbildung 43 im Anhang). Dafür wurde das sich am Flussufer befindliche Material Kaolin mit den Pflanzenfasern der Steinnuss, der Same einer Palme (Spanisch: Tagua) vermengt^[39]. Kaolin ist ein feines, eisenfreies Tongestein mit dem Mineral Kaolinit, ein Verwitterungsprodukt des Feldspats^[34,45]. Das Dach der Trockentoilette ist mit der traditionellen Bauweise der Shuar-Indígenas gedeckt. Diese Deckweise mit Palmblättern ist recht aufwendig, erfordert viel Deckmaterial und muss alle 10 Jahre erneuert werden, da es durch die chemische Verwitterung allmählich zersetzt wird. Die Toilette folgt dem Zwei-Kammerprinzip und ist zum Hocken ausgerichtet, wobei die Fäzes in eine Kammer fallen und der Urin mit Hilfe eines Kunststofffilters abgetrennt wird. Der Urin wird durch einen Schlauch unterirdisch auf ein Feld geleitet, wo er ausfließt und versickert. Die Toilettenöffnungen der zwei Gruben werden mit einem Holzverschluss geschlossen (siehe Abbildung 44 im Anhang), wobei die benutzte Kammer meistens offen ist, die unbenutzte jedoch stets verschlossen. Toilettenpapier wird nicht in die Grube geworfen, sondern separat gesammelt und anschließend wahrscheinlich verbrannt. Als Einstreumittel wird Asche oder Erde verwendet, die in einem Eimer neben der Toilette aufbewahrt wird (siehe Abbildung 44 im Anhang).

Wassertoiletten in der Akademie

Die Akademie wurde in diesem Jahr im Frühling errichtet. Geplant waren Wassertoiletten für die Dozenten und Trockentoiletten für die Studenten. Doch wurden die Planungen in der Bauphase spontan geändert, so dass nur Wassertoiletten installiert wurden; zwei Toiletten für die Dozenten und vier Toiletten für die Studenten (siehe Abbildung 45 im Anhang). Die Toiletten werden sehr gut gepflegt und sauber gehalten. Ein großes Problem stellt der mit der Wassertoilette verbundene Spülvorgang dar. Da es im Dorf Wasserversorgungsprobleme gibt, funktionierte die Spülung oft nicht. Teilweise wurde Regenwasser in einem Kanister von Hand gesammelt und in den Spülkasten umgefüllt um die Wassertoilette verwenden zu können. Die Problematik der Wasserversorgung wird in einer separaten Arbeit behandelt, weshalb in diesem Zusammenhang nicht näher auf dieses Thema eingegangen wird.

6.2 Befragung von Familien

Während des Aufenthalts vor Ort konnten insgesamt vier Familien besucht und befragt werden (siehe Abbildung 46 im Anhang). Drei der Familien wurden am 07. Juni 2010 und eine Familie am 13. Juni 2010 befragt. Die durchschnittliche Anzahl der Familienmitglieder ergab sieben Personen, darunter jeweils zwei Erwachsene (siehe Abbildung 47 im Anhang). All diese Familien waren bereits im Besitz einer Trocknungstoilette, die im Rahmen des Hygieneprogramms 2005 mit der jeweiligen Familie zusammen errichtet wurde. Insofern die Toilette betriebsfähig war, wurde sie auch benutzt (siehe Abbildung 14).

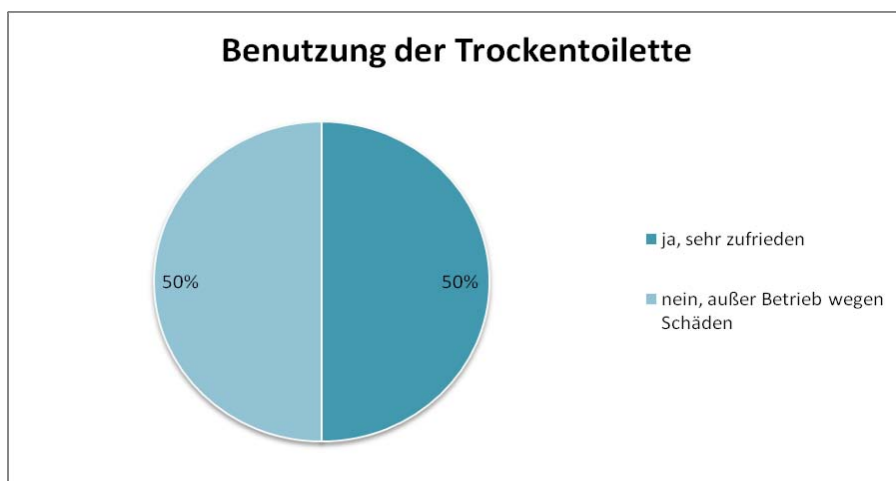


Abbildung 14: Familienbefragung; Benutzung der Trockentoilette

Zwei von vier Familien nutzten zu diesem Zeitpunkt die Toilette mit voller Zufriedenheit. Doch die anderen Trockentoiletten wurden aufgrund von Materialschäden nicht verwendet. Bei einer Toilette bestanden diese aus Dach- und Wandschäden, und die andere Toilette nahm großen Schaden durch den Befall von Holzameisen.

Düngerverwendung:

Die Bewohner konnten die Nährstoffe der Fäkalien gut für eine Weiterverwendung als Dünger verwenden. Die

getrockneten Fäzes vermischt mit Asche wurden nach einem 6-8 monatigen Aufenthalt in der Trockenkammer der Toilette als Bodenverbesserungsmittel eingesetzt (siehe Abbildung 15).



Abbildung 15: Familienbefragung; Verwendung der Fäzes als Bodenverbesserungsmittel

Der Urin wurde nur bedingt als Flüssigdünger verwendet, denn den Befragungen nach versickerte er zu 25 % ungenutzt im Boden (siehe Abbildung 16). Bei der Verwendung als Düngermittel wurde er für einen Zeitraum von circa 15 Tage gelagert bis eine Orange-Färbung erfolgte.

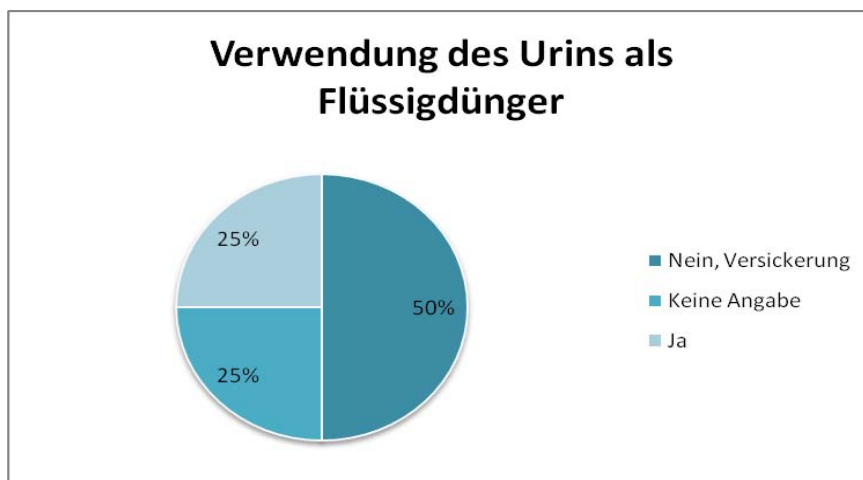


Abbildung 16: Familienbefragung; Verwendung des Urins als Flüssigdünger

Die Bewohner verwenden die gewonnenen Düngermittel zum Anbau eigener Nahrungsmittel. Durch den Bau der Gewächshäuser im Rahmen des Hygieneprogramms 2005 können diese ganzjährig für den Anbau genutzt werden und der hauseigene Garten zudem in der Trockenzeit. Die befragten Familien nutzen den organischen Dünger für den Anbau von Kräutern, Tropenfrüchten und vor allem für Gemüse wie Maniok, Tomaten und Gurke. Die Nahrung wird meistens durch den Fischfang, die Jagd oder die Haltung von Hühnern und Meerschweinchen ergänzt. Gekauft werden Produkte wie Milchpulver, Salz und Öl, oder gelegentlich Nudelprodukte.

Krankheitsbilder:

Trotz der hygienischen Verbesserungen in den letzten Jahren, treten vor allem bei den Kindern häufig Krankheiten, wie Grippe oder Durchfall auf (siehe Abbildung 48 im Anhang). Dabei ist anzumerken, dass die momentane Wasserversorgung in einem miserablen Zustand ist, da sich in den Leitungen Risse und somit Luft befindet, und zudem herrscht ein zu geringer Druck. Der schlechte Zustand der Rohrleitungen kann sich indirekt durch die damit verbundene Wasserversorgung negativ auf die Gesundheit der Dorfbewohner auswirken. Bei der Befragung kochten drei von vier Familien das Wasser ab, bevor sie es als Trinkwasser zu sich nahmen. Das Abkochen des Trinkwassers ist unverzichtbar, um mikrobielle Keime abzutöten und somit Krankheiten wie Diarrhö vorzubeugen.

Verwendung der Trocknungstoilette:

Grundlegend ist es schwierig zu beurteilen, inwiefern die Bewohner die Trockentoilette in ihren Alltag integriert haben. Da die unbenutzte Kammer meistens leer war, ist es schwer zu sagen, ob eine regelmäßige, doch frühzeitige Entleerung stattfindet oder die getrockneten Fäzes nicht bzw. in einem seuchenbedenklichem Zustand als Bodenverbesserungsmittel eingesetzt werden. Da es sich bei den Shuar-Indígenas um ein zurückhaltendes Volk handelt, war schwer zu erkennen wie wohl sich diese mit dem Umgang der Toiletten fühlen. Die Antworten waren oft sehr knapp, so dass ihre Bedürfnisse und Einstellung diesbezüglich schwer zu erkennen waren. Da viele der Bewohner noch nie außerhalb der Region waren, können sie zudem nur schwer Vergleiche ziehen. Bei der Nichtverwendung des Urins als Düngemittel, blieb unklar, wieso diese nicht erfolgte; ob die Abneigung dem Urin an sich galt oder die Lagerung Unannehmlichkeiten mit sich brachte. Denn die Bewohner wussten von der Düngewirkung des Urins, da im Rahmen des Hygieneprogramms dessen Anwendung erklärt, demonstriert sowie auch durchgeführt wurde.

Beurteilung:

Doch im Allgemeinen machten die Familien einen vertrauten und positiven Eindruck im Umgang mit der Trockentoilette, der Weiterverwendung als Dünger und dem zugehörigen Anbau. Die Grundstücke waren sehr sauber und die Beete sehr gepflegt. Problematisch wird der Umgang mit den Anlagen, wenn Schäden entstehen (siehe Abbildungen 49 und 50 im Anhang). So wird die gesamte Toilette nicht mehr verwendet, wenn beispielsweise ein Loch im Dach entsteht, anstelle dieses zu reparieren. Durch die Verwendung natürlicher Materialien ist das Toilettenhäuschen sehr anfällig für die chemische Verwitterung, den Bewuchs (Anhang: Abbildung 49) und den Schädlingsbefall von Insekten, wie Holzameisen. Doch fügt sich diese durch die natürliche Bauweise im traditionellen Stil gut in die Umgebung ein und wird bestimmt daher auch durch die Bewohner verhältnismäßig gut akzeptiert. Jedoch ist die regelmäßige Pflege und Wartung sehr wichtig, da ansonsten das komplette Toilettenhaus sehr schnell Schaden annimmt.

Aussagekraft:

Da nur vier Familien befragt werden konnten, ist die Aussagekraft der Befragung sehr gering. Doch gibt dies ein exemplarisches Bild von der Handhabung der Trockentrenntoilette vor Ort, und es konnten zumindestens nicht unerhebliche Problemstellen aufgezeigt werden.

6.3 Systemvergleich Trockentoiletten

In nachfolgender Tabelle werden die Vor- und Nachteile der erläuternden Systeme aus Kapitel 3.2 in Bezug auf die Bedingungen in Yuvienta aufgelistet.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Komposttoilette, Grubenlatrine und der Trocknungstoilette bezogen auf die Bedingungen in Yuvienta

	Vorteile	Nachteile
Komposttoilette	<ul style="list-style-type: none"> + nährstoffreiche pathogenfreie Komposterde als Endprodukt + organisches Material sowie Toilettenpapier kann mitkompostiert werden; besonders nährstoffreiches Bodenverbesserungsmittel + Keine Fliegen oder Geruchsprobleme + hohe Reduzierung pathogener Keime + Verwendung mit Sitz- oder Hocktoilette möglich + Urintrennung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Feuchtigkeitsbereich ist schwer einzuhalten - Einführungsprogramm notwendig - zeitaufwendige Unterhaltung - oft Nachbehandlung in externer Kompostierungsanlage notwendig; hier ist eine Krankheitsübertragung möglich - benötigt evtl. lange Anlaufzeit - regelmäßiges Einstreumaterial notwendig - Notwendige Akzeptanz für richtige Verwendung - bei gemeinsamer Kompostierung kein Flüssigdünger als Endprodukt
Grubenlatrine	<ul style="list-style-type: none"> + einfache Konstruktion + sehr günstig + bedienerfreundlich + Geringes Risiko der Übertragung pathogener Keime 	<ul style="list-style-type: none"> - Grundwasserverschmutzung durch hohe Niederschlagsmengen und recht hohen Grundwasserstand wahrscheinlich - arbeits- und platzintensiv durch das Graben neuer Gruben jedes halbe Jahr

Tabelle 1, Fortsetzung: Vor- und Nachteile der Komposttoilette, Grubenlatrine und der Trocknungstoilette bezogen auf die Bedingungen in Yuvienta

	Vorteile	Nachteile
Trockentrenntoilette	<ul style="list-style-type: none"> + System ist bereits etabliert und wird akzeptiert; Einführungsprogramm fand bereits statt + Material kann nicht zu trocken werden + bei Problemen mit der Trocknung kann diese durch Streumaterial oder Solarkollektoren verbessert werden + gut in felsigen und niederschlagsreichen Gebieten + Keine Fliegen oder Geruchsprobleme + Verwendung mit Sitz- oder Hocktoilette möglich + Verwendung der getrockneten Fäzes als Bodenverbesserungsmittel + Verwendung des Urins als Düngemittel 	<ul style="list-style-type: none"> - bei feuchtem Klima kann es leicht zu einer Vernässung kommen -regelmäßiges Einstreumaterial notwendig

6.4 Problematik bestehender Trocknungstoiletten

Urinabtrennung:

Die Separierung von Urin funktioniert nicht immer problemlos. Bei der Trockentrenntoilette im Zentrum funktionierte der Ablauf in der ersten Tagen einwandfrei, jedoch verstopfte der Filter am Ende des Aufenthalts, sodass kein Urin mehr abfließen konnte. Der Grund war nicht sofort ersichtlich, und da ein Tag später der Aufenthalt zu Ende war, ist es nicht möglich zu sagen wie lange dieser Zustand anhielt.

Urinverwendung:

Anstatt den Urin in Kanistern zu sammeln und als Dünger zu verwenden, wurde er des Öfteren in eine offene Fläche geleitet. Bei der Trockentrenntoilette vom Sanitärhaus war nicht einsehbar, ob der Urin nach Austritt von den umgebenen Pflanzen verwendet werden kann oder im Boden versickert. Denn bei der Einleitung in ein offenes Feld besteht die Gefahr, dass der Urin ungenutzt im Boden versickert und womöglich eine Gefährdung für das Trinkwasser darstellt.

Einstreu:

Zu Beginn des Aufenthalts war als Einstreumaterial Asche neben der Toilette bereit gestellt. Nach dessen Verbrauch 6 Tage später wurde es mit brauner Erde ersetzt. Nach der Verwendung der Erde blieb der Einstreubehälter zwei Tage lang bis zum Anflug leer.

Fliegenvermehrung:

Zu Beginn des Aufenthalts, als regelmäßig Asche als Zuschlagmaterial zugegeben wurde, konnte keine Fliegenzucht beobachtet werden. Doch gegen Ende vermehrten sich die Fliegen zunehmend. Dies ist wahrscheinlich das Produkt mehrerer Faktoren. Als statt Asche die Erde als Zuschlagmaterial eingesetzt wurde, waren bereits einige Fliegen zu sehen. Zudem ist als Folge des verstopften Filters Urin ausgetreten und in Berührung mit den Fäzes gekommen. Dadurch wurden die Fäzes teilweise durchnässt, so dass hier der notwendige Wassergehalt unter 25 % (siehe Kapitel 2.1) nicht mehr eingehalten werden konnte. Kurze Zeit später war kein Zuschlagsmaterial mehr vorhanden, so dass die überschüssige Feuchtigkeit nicht mehr aufgesogen werden konnte und folglich das Fliegenwachstum erheblich zunahm. Ein Tag später am Abflugtag, befanden sich bereits Hunderte von Maden in der Kammer.

Unterhaltung:

Allgemein zeigen sich die Bewohner sehr motiviert und offen bezüglich der Benutzung der Trockentrenntoilette. Doch entsteht die Problematik, sobald Schäden entstehen, da die Toilette dann nicht mehr benutzt wird, anstatt sie zu reparieren (siehe Kapitel Umfrage). Durch die Errichtung aus natürlichen Materialien, ist die Konstruktion sehr anfällig für Schädlingsbefall, Bewuchs und Verwitterung.

7 Handlungsempfehlung

7.1 Verbesserungsvorschläge für bestehende Trocknungstoiletten

Urinabtrennung:

Bei der Separierung von Urin muss besonders darauf geachtet werden, kein Einstreumaterial oder Toilettenpapier in den Filter zu geben, damit dieser nicht verstopft. Dieser ist ausschließlich für den Urinauslass zu verwenden. Gelangen aus Versehen Grobstoffe in den Filter, muss dieser gründlich ausgespült werden. Ein Hinweisschild mit bildlicher Erklärung zur richtigen Anwendung, wie in Abbildung 15, kann einer Verstopfung vorbeugen, indem es als Erinnerung dient und zudem Besucher, die mit dem System nicht vertraut sind, informiert.

Cómo utilizar el baño ecológico seco:



Abbildung 17: Hinweisschild zur Benutzung der Trocknungstoilette

Urinverwendung:

Urin ist ein nährstoffreiches Düngemittel, das für ein besseres Wachstum der Pflanzen sorgt. Wichtig ist auch hier, dass die Bewohner die positiven Auswirkungen des Urins erkennen und dadurch das enthaltene Nährstoffpotenzial zu schätzen wissen. Da der Grund der Nichtverwendung unklar ist, muss dies geklärt werden, um näher auf diese Problematik eingehen zu können. Falls Unannehmlichkeiten durch die Lagerung entstehen, kann dies gegebenenfalls durch die Aufbewahrung in geschlossenen Kanistern gelöst werden, so dass kein Geruch entstehen kann. Wenn eine Verwendung des Urins für den Gemüseanbau nicht erwünscht ist, gibt sich eine gute Alternativmöglichkeit zur Urinentsorgung. Diese besteht in der Einleitung des Urins in ein Beet mit Zierpflanzen oder Obstbäumen, das direkt neben der Trockentoilette errichtet wird, so dass die Pflanzen die Nährstoffe direkt aufnehmen und umsetzen können. Solche Systeme wurde beispielsweise von EcoSan in Indien (siehe Abbildung 47 im Anhang) oder von Greenpeace in „federated states of micronesia“ (siehe Abbildung 48 im Anhang) angewendet.

Einstreu:

Es ist darauf zu achten, dass nach jedem Toilettenbesuch Zuschlagsmaterial zugegeben wird und dieses vor allem auch verfügbar ist. Dies dient zum einen dem Feuchtigkeitsentzug, um den Dehydratationsprozess zu gewährleisten und zum anderen dem Sichtschutz der Fäzes für den nachfolgenden Benutzer. Als Einstreu soll möglichst Asche verwendet werden, da sich diese durch den hohen Phosphor- und Kaliumgehalt positiv auf die Nährstoffe des Bodenverbesserungsmittels auswirkt (siehe Kapitel 2.4).

Fliegenvermehrung:

Wird der regelmäßige Einstreu und eine gründliche Urinseparation beachtet, kommt es nicht zur Fliegenzucht oder zu Gerüchen. Tritt dieser Fall jedoch ein, muss verstärkt Zuschlagsmaterial zugegeben werden um die

gesamte enthaltene Feuchtigkeit aufzuziehen. In die Kammer darf kein Feuchtigkeitseintritt durch Grundwasser oder Regenwasser stattfinden.

Unterhaltung:

Eine der wichtigsten Kriterien für die Benutzung der Toilette ist die Motivation, diese zu nutzen und darüber hinaus auch zu unterhalten. Der Anreiz liegt durch den Wegfall der Fäkalien in der Sauberkeit des Dorfes, den verbesserten hygienischen Bedingungen und in der Düngermittelproduktion. Die positiven Auswirkungen müssen hervorgehoben werden um die Motivation aufrecht zu erhalten. Bei mangelnder Wartung können beispielsweise Belohnungsprogramme eingeführt werden, um den Bewohnern neue Anreize für die Verwendung der Trockentoilette zu schaffen. Diese können durch die Bereitstellung von Materialien für Reparaturen der Trockentoilette oder auch des Wohnhauses erfolgen.

Verantwortung:

Für eine reibungslose Betriebsfähigkeit der Toilette, ist es sinnvoll, einen Hauptverantwortlichen für die Pflege und Wartung zu benennen, der zudem darauf achtet, dass genügend Streumaterial zur Verfügung steht und der Prozess nicht gestört wird. Vor allem bei Gemeinschaftstoiletten ist dies für eine korrekte und konsequente Verwendung von großer Bedeutung.

7.2 Geplante Trockentoilette

Trockentoilette für die Bibliothek

Für die Menschen in Yuvientisa war die Einführung der Trocknungstoiletten vor 5 Jahren neu und ungewohnt. Die Implementierung des Systems in ihren Alltag hat viel Zeit gebraucht, doch wird es von den Bewohnern inzwischen sehr gut akzeptiert. Es ist wichtig, den Bewohnern viel Zeit zu geben, um sich mit einem neuen Systemen vertraut zu machen, und man muss daher vorsichtig mit unüberlegten Veränderungen sein. Diese Sichtweise macht deutlich, dass die Einführung eines neuen Systems nur sinnvoll ist, wenn es erhebliche Vorteile mit sich bringt. Jedoch zeigt der Vergleich der Trockentoiletten in Kapitel 6.3, dass die anderen Systeme keine bedeutenden Vorteile mit sich bringen. Denn bei der Grubenlatrine ist die Gefahr der Grundwasserkontamination zu groß, und für die Einführung der Komposttoilette wäre der Aufwand zu groß und teuer, und zusätzlich würde dies eine unnötige Umstellung der Gewohnheiten für die Bewohner darstellen. Somit bleibt es für die Planung der Bibliothek bei dem ‚alten‘ Prinzip der Trocknungstoilette. Generell ist darauf zu achten, dass die Anlage regelmäßig gewartet wird, da durch die Verwendung lokaler Materialien die Konstruktion schnell durch chemische Verwitterung und Insekten beschädigt wird. Zudem ist es wichtig auf eine regelmäßige Zugabe von Einstreumaterial zu achten, wobei Material und Menge auf die Erfahrungswerte im Dorf beruhen, und das Material gelegentlich mit einem Stock zu durchmischen, um homogene Bedingungen zu schaffen. Jedoch können bereits aufgetretene Schwierigkeiten durch folgende Optimierung zunehmend gelöst werden.

Sitztoilette:

In Südamerika wird allgemein die Sitztoilette verwendet. Bewohner in Yuvientsa, die bereits schon außerhalb des Regenwalds waren, haben diese kennen gelernt und bevorzugten den damit verbundenen Sitzkomfort. Da diese Menschen sich eine Trockentrenntoilette mit Sitzvorrichtung nicht vorstellen können, besteht die Gefahr, dass sie sich in Zukunft um eine Wassertoilette bemühen, um ihr Bedürfnis nach Komfort zu erfüllen. Dies ist ein Grund eine Sitztoilette in das Dorf zu etablieren. Ein weiterer Grund ist, dass die westlichen Besucher eine Sitztoilette viel stärker akzeptieren werden, da sie den gewohnten Komfort bietet verglichen zu einer Hocktoilette, die viel Übung bezüglich der Treffsicherheit bedarf. Bevor die Sitzvorrichtung jedoch für das gesamte Dorf etabliert wird, soll die Akzeptanz der Bewohner exemplarisch anhand der Trockentoilette für die Bibliothek geprüft werden.

Trennsystem:

Da es in Yuvientsa bereits Probleme mit der Verstopfung des Filters gegeben hat, ist es sinnvoll für die Toiletten der Bibliothek ein anderes Trennsystem zu testen. Hierfür können fertige Trennvorrichtungen gekauft werden, wie der Urintrenneinsatz von Berger (siehe Abbildung 24 im Anhang). Diese Einsätze sind bei der Verwendung in Kombination mit einer Sitztoilette zu empfehlen. Es kann auch ein Filter zugeschnitten und mit einer Folie überspannt werden, doch erfordert dies einen höheren Reinigungsaufwand, der problematisch werden kann.

Solarkollektoren:

Aufgrund zu hoher Feuchtigkeitsgehalte gab es bereits Schwierigkeiten beim Dehydratationsprozess der Trocknungstoiletten. Um diesem Problem grundlegend vorzubeugen sowie eine Vernichtung pathogener Keime sicher zu stellen, können die Kammern der Trockentrenntoilette mit Solarkollektoren ausgestattet werden, um die Verdunstung zu erhöhen und somit für einen effektiveren Trocknungsprozess zu sorgen.

Trockentoiletten für die Schule

Um ein neues System zu etablieren ist es wichtig die veränderten Maßnahmen bei den Kindern einzuführen, anstatt die damit verbundene Thematik bei diesen zu tabuisieren. Spielerisch kann man sie mit dem Umgang vertraut machen und dadurch ein nachhaltiges Bewusstsein schaffen. Dabei wird durch die Verwendung des Urins als Flüssigdünger und die Wiederverwertung der Fäzes als Bodenverbesserungsmittel ein bewusster Umgang mit den Ressourcen demonstriert. Da eine Trockentoilette kein Wasser benötigt, wird hier die Kostbarkeit des Wassers vor Augen geführt. Die Aspekte der Ressourcenbewahrung verdeutlichen die Wichtigkeit der Einführung von Trockentoiletten in Schulen, um den Kindern eine nachhaltige und umweltbewusste Denkweise zu vermitteln. Die Wasserspültoiletten bewirken jedoch das Gegenteil, denn hier wird zum einen Wasser für die Spülung gebraucht, die Materialien müssen eingeflogen werden und zudem können die Fäkalien nicht als Düngemittel verwertet werden. Da es sich bei der Wassertoilette zudem um ein westliches Produkt handelt, besteht die Gefahr, dass sowohl die Kinder als auch Erwachsenen die Wassertoilette als vorbildliches Sanitärsystem sehen, was es leider nicht ist. Denn durch die schlechte Wasserversorgung funktioniert die Toilettenspülung nicht einwandfrei, was neben dem Komfort auch Unannehmlichkeiten mit sich bringt. Denn wieso hat man eine Toilette, wenn man sie nur teilweise oder nur unter beschwerten Umständen benutzen kann?

Trockentoiletten für die umliegenden Dörfer

Als allgemein kritisch gilt weiterhin die Einführung eines Systems, wie die Trockentoilette, in ein neues Gebiet. Dies geschah in Yuvienta bereits im Rahmen des Hygieneprogramms. Doch in anderen Kommunen ist es wichtig, vor Ort das System einzuführen und Verantwortliche zu benennen, die sich dazu bereit erklären, sich mit der Thematik auseinander zu setzen, um der Gemeinde beratend zur Seite zu stehen.

Fazit

Erschwerend für diese Arbeit stellte sich heraus, dass der Wissensstand sich ständig änderte, wofür auch die fehlende Kommunikation verantwortlich war. Problematisch war dabei die Themenfindung. Da vor dem Auslandsaufenthalt keiner der Betreuer vor Ort gewesen ist um die Sachlage zu begutachten, wurden die Themen trotz allem für eine gezielte Recherche aufgeteilt. Anfangs war das Thema dieser Arbeit die Planung einer Komposttoilette. Vor Ort wurde klar, dass die Planung nicht mehr notwendig ist, da bereits schon Trockentoiletten vorhanden sind. Im Rahmen der weiteren Recherche kam das Missverständnis ans Licht, dass die Trockentoilette in Yuvienta keine Komposttoilette ist, sondern es sich ganz klar um eine Trocknungstoilette handeln muss. In deutschsprachiger Literatur wird die Komposttoilette mit einer Trockentoilette meist gleich gesetzt ^[8; 32]. Doch nach EcoSan ^[47,48,49] und dem neu erschienenen Themenband „Neuartige Sanitärsysteme“ des DWA ^[12] versteht man unter dem Begriff der Trockentoilette, dass kein Wasser zur Spülung der Ausscheidungen verwendet wird und somit stellt dieser einen Überbegriff für Systeme wie die Komposttoilette oder die Trocknungstoilette dar. Der DWA-Themenband „Neuartige Sanitärsysteme“ erschien 2008 und baut auf die neusten Erkenntnisse der Sanitärversorgung auf. Die Erarbeitung erfolgte durch die Mitglieder des Fachausschusses in enger Zusammenarbeit von Universitäten, Fachhochschulen, großen Betrieben und Planungsbüros. Grundgedanke der neuartigen Sanitärsysteme ist die getrennte Erfassung und gezielte Behandlung von Teilströmen, um das Wasser wieder zu verwenden und die Abwasserinhaltsstoffe möglichst zu verwerten. Da die Literaturrecherche zum größten Teil auf ‚Ecological Sanitation‘ und der ‚Neuartigen Sanitärsystem‘ beruht, ist die Verwendung derer Begriffsdefinition für ein schlüssiges Ergebnis sehr wichtig. Da die deutschsprachige Literatur vorwiegend auf Sanitärsysteme in Industrieländern ausgelegt ist, konnten hier keine Informationen über die Trocknungstoilette gefunden werden bzw. wurde diese unter dem Begriff der Komposttoilette beschrieben ^[32], wodurch in Yuvienta die Verwechslung mit der Trocknungstoilette und Komposttoilette entstand. Nach der Begriffsklärung war klar, dass in entwicklungsbedürftigen Ländern eine Komposttoilette kaum eingesetzt wird und die Trocknungstoiletten aus klimatischen Gründen hier kaum Anwendung findet.

Vor Ort in Yuvienta stellten die geringen Sprachkenntnisse der spanischen Sprache ein Problem in der direkten Kommunikation dar, da nur durch die Hilfe anderer Studenten der Austausch ermöglicht wurde. Dadurch ergab sich kein persönliches Gespräch, was den Wissenstransfer erschwerte. Trotz der genannten Schwierigkeiten konnte in dieser Arbeit anhand der Literaturrecherche die Systeme der Trockentoilette verglichen und auf die Bedingungen vor Ort bezogen werden, so dass eine Handlungsempfehlung für die Planung einer Trockentoilette für den Gebäudekomplex der Bibliothek gegeben werden kann.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden verschiedene Systeme der Trockentoilette in Bezug auf die Anwendung in Yuvientsa miteinander verglichen. Dabei wurden verschiedene Aspekte, wie die Wasserversorgung, die Hygiene- und die Lebensbedingungen vor Ort mit einbezogen. Die vor Ort existierenden Trocknungstoiletten funktionieren bei richtiger Anwendung einwandfrei und werden von den Bewohnern auch akzeptiert. Jedoch besteht Handlungsbedarf in Hinsicht auf die Pflege und Wartung der Systeme, so dass die Konstruktion den Umweltbedingungen auch Stand halten kann. Dafür ist es wichtig die Bewohner zur Reinhaltung und Instandhaltung der Toiletten zu motivieren und vor allem bei den Kindern ein nachhaltiges Umweltbewusstsein zu schaffen.

Ausblick

Mit dieser und drei weiteren Arbeiten wurde der Grundstein für die Planung einer Abwasserreinigung in dem Dorf Yuvientsa gelegt, womit dieser Teil des Projekts abgeschlossen ist. Es ist zu hoffen, dass die Tätigkeiten und Bemühungen der Studenten für die indigene Bevölkerung weiterhin fortgesetzt werden, indem an das entstandene Projekt angeknüpft wird. Die Organisation Amazonica wird sich weiterhin für die indigene Bevölkerung einsetzen, indem sie die Bewohner in ihrer Lebensweise unterstützt und dabei die Natur schützt. Dabei ist es wichtig weiterhin zu der Verwendung neuartiger Sanitärsysteme zu animieren und darüber hinaus Anreize zur Pflege und Wartung dieser zu schaffen. Bei der zukünftigen Entscheidung bezüglich eines Sanitärsystems ist es wichtig an die Auswirkungen hinsichtlich eines möglichen Wertewandels und des Umweltbewusstseins zu denken und das System diesbezüglich zu überdenken. Die Wassertoilette sollte hier keine Option darstellen, da der Einsatz von Trocknungstoiletten ideal für Yuvientsa geeignet ist und bei richtiger Anwendung auch optimal funktioniert. Zudem dient das System für andere Dörfer als Vorbild, und auch den Wissenschaftstouristen wird bei einem Besuch ein geschlossener Nährstoffkreislauf demonstriert, der zum einen den Benutzer zum Nachdenken anregt und ihm mit dieser Option vertraut macht, sowie ihm die Wichtigkeit eines sparsamen Umgangs mit dem kostbaren Wasser demonstriert.

Begriffserklärungen

Braunwasser: Fäzes mit Spülwasser ^[12]

Ecological Sanitation: neues Paradigma in der Siedlungswasserwirtschaft; ökologische, kreislauforientierte Konzepte zur Abwasserbewirtschaftung und Sanitärversorgung, Abkürzung EcoSan ^[14; 21; 44]

Fäkalien: Urin und Fäzes, menschliche Ausscheidungen, Exkreme ^[12]

Fäzes: feste menschliche Ausscheidungen ^[12]

Gelbwasser: Urin, flüssige menschliche Ausscheidungen ^[12]

German Toilet Organization: setzt sich weltweit für die Verbesserung der Sanitärversorgung zum Schutze von Umwelt und Gesundheit ein, Abkürzung GTO, engl. World Toilet Organization (WTO) ^[19]

Grauwasser: Stoffstrom aus dem häuslichen Bereich ohne Fäkalien ^[12]

Grubenlatrine: von dem englischsprachigen Begriff ‚Pit Latrine‘ übersetzt, der von Peter Morgan (Ecological Sanitation) eingeführt wurde, engl. Pit latrine ^[48]

Humuskompost: Endprodukt der Kompostierung in einer Grubentoilette; Begriffseinführung durch Peter Morgan. Der Kompostierungsprozess in der Grubentoilette entspricht nicht dem einer Komposttoilette. ^[15]

Komposttoilette: Trockentoilette mit integrierter Kompostierung, engl. Composting toilet ^[12]

Schwarzwasser: Fäkalien mit Spülwasser ^[12]

Spültoilette: WC, Toilette mit Wasserspülung zur Ableitung von Schwarzwasser, engl. Flush toilet ^[12]

Trenntoilette: (Urin-)Separationstoilette; Toilette mit getrennter Erfassung von Fäzes/Braunwasser und Urin/Gelbwasser ^[12]

Trockentoilette: Toilette ohne Wasserspülung, z.B. Kompost- oder Trocknungstoilette, engl. Dry toilet ^[12]

Trockentrenntoilette: Separierende Trockentoilette, Trenntoilette ohne Wasserspülung zur getrennten Erfassung von Fäzes und Urin, engl. Dry separation toilet ^[12]

Trocknungstoilette: Trockentoilette mit Urinseparierung und integrierter Trocknung der Fäzes, engl. Dehydration toilet ^[12; 48]

Urin: flüssige menschliche Ausscheidungen ^[12]

Verwertung: Substitution von Rohstoffen, engl. Utilisation ^[12]

Wiederverwendung: Erneute Nutzung für gleich (Recycling) oder andere Zwecke, engl. Reuse ^[12]

World Health Organization: Koordinationsbehörde der Vereinten Nationen für das internationale öffentliche Gesundheitswesen, Abkürzung WHO, deutsch: Weltgesundheitsorganisation ^[41]

Anhang

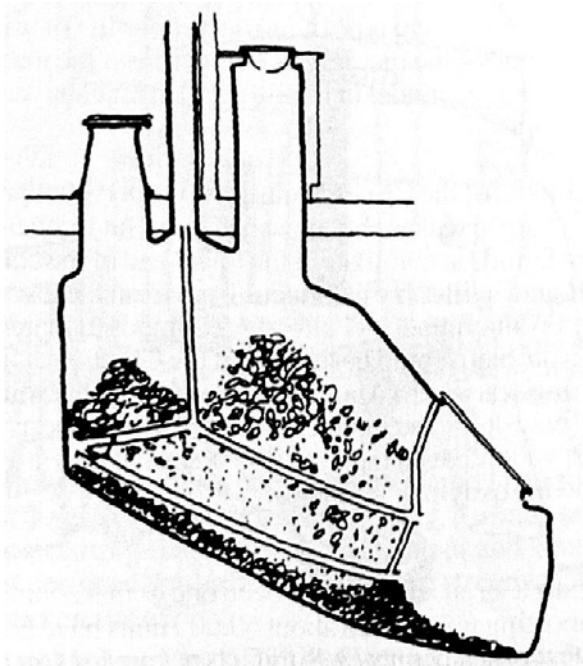


Abbildung 18 (links): Eine Schwedische Komposttoilette ^[48]

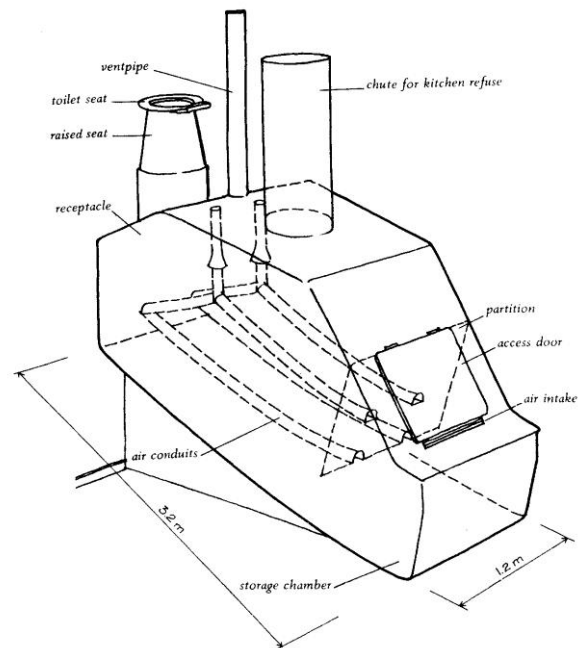


Abbildung 19 (rechts): Eine Multrum Komposttoilette ^[47]

Type		Sanitary equipment / Type of property
1	None	bivouac boxes, hunting refuges, preliminary tent camps and camp grounds etc. No usual water supply is provided (transport in buckets etc.), greywater into terrain, waterless toilets.
2	Slight	weekend cottage, hunting lodge, alpine huts – self sustaining etc. most of the times no running water in the house, waterless toilets.
3	Moderate	refuges offering running water in the kitchen, better equiped weekend cottage, housekeeping room and wash basins, toilets exist, showers just for staff.
4	Mean	refuges, simple buildings, all are equipped with sufficient water supply, wash basins, showers, washing machines and dish washers, toilets etc.
5	Good	hotels and restaurants in mountainous areas, permanently occupies military properties and stations, holiday apartments, residential houses etc. generally well equipped including bathroom.
6	Very good	first-class restaurants and hotels, apartment houses with luxury equipment etc. in hotel villages, mountainous holiday resorts etc.

Abbildung 20: 'Wastewater technical classification of alpine properties' [Quelle: OEAV Richtlinie Nr.1]

Table 2 : Standard values for specific wastewater loads in l per day for preliminary design

Type of building Sanitary equipment	1	2	3	4	5	6
	none	slight	moderate	mean	good	very good
Permanent guest	5-15	10-25	25-75	75-120	120-150	150-225
24h guest	5-15	10-20	25-50	50-75	75-150	200-375
Guest for one night	3-15	10-15	20-40	40-60	75-125	125-300
Guest during day time/long stay	2-3	5-10	10-15	10-15	15-25	30-60
Guest during day time/short stay	1-2	2-5	5-10	5-15	10-20	25-50

Table 3 : Standard values for the specific wastewater load in g BOD₅ per day for preliminary design

Type of building Sanitary equipment	1	2	3	4	5	6
	none	slight	moderate	mean	good	very good
Permanent guest	25-30	25-30	55-60	60	60-75	60-90
24h guest	25-30	25-30	55-60	60	60-90	90-150
Guest for one night	20-25	25-25	50-55	55-60	60-90	75-150
Guest during day time/long stay	05-10	10-10	15-20	15-20	15-20	20-30
Guest during day time/short stay	05-05	05-10	10-15	10-15	10-15	10-15

Abbildung 21: 'Standard values for specific wastewater loads in l and g BOD₅ per day for preliminary design [Quelle: OEWA V Richtlinie Nr.1]

	Bioabfall	Fäkalien
Asche	20,0%	18,0%
Stickstoff	1,0%	3,4%
TOC	40%	42%
Fette	2,0%	2,5%
Wachse	1,4%	2,2%
Zucker	4,1%	2,5%
Hemizellulose	19,0%	13,2%
Zellulose	38,0%	28,5%
Lignine usw.	10,2%	32%
Protein	5,3%	1,0%

Abbildung 22: Zusammensetzung verschiedener Abfälle bezogen auf die Trockenmasse in Prozent ^[8]

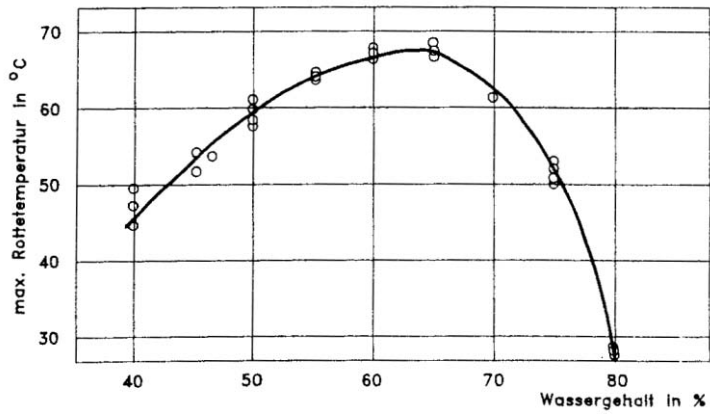


Abbildung 23: Abbildung 2.1.4: Einfluss des Wassergehalts auf die mikrobielle Aktivität gemessen als Tmax [8]

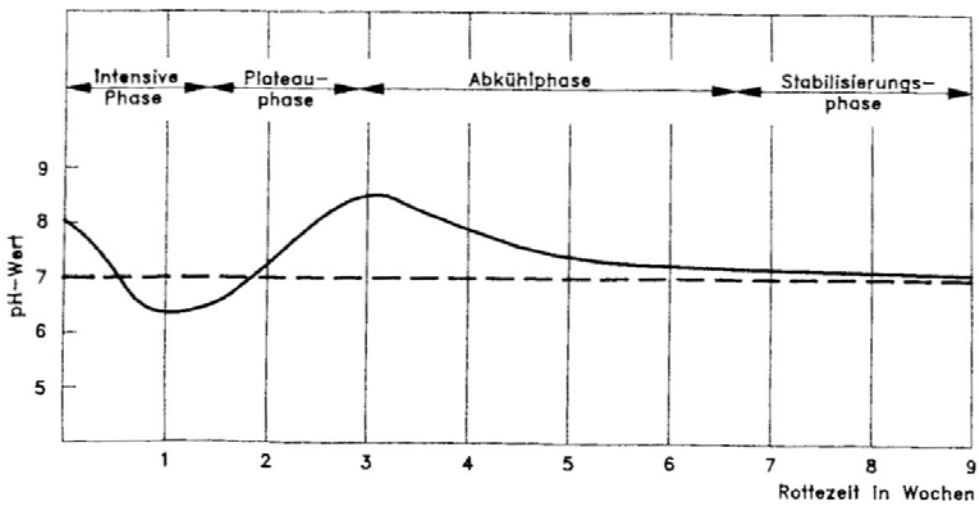


Abbildung 24: Typischer pH-Wert-Verlauf während einer Rotte [8]

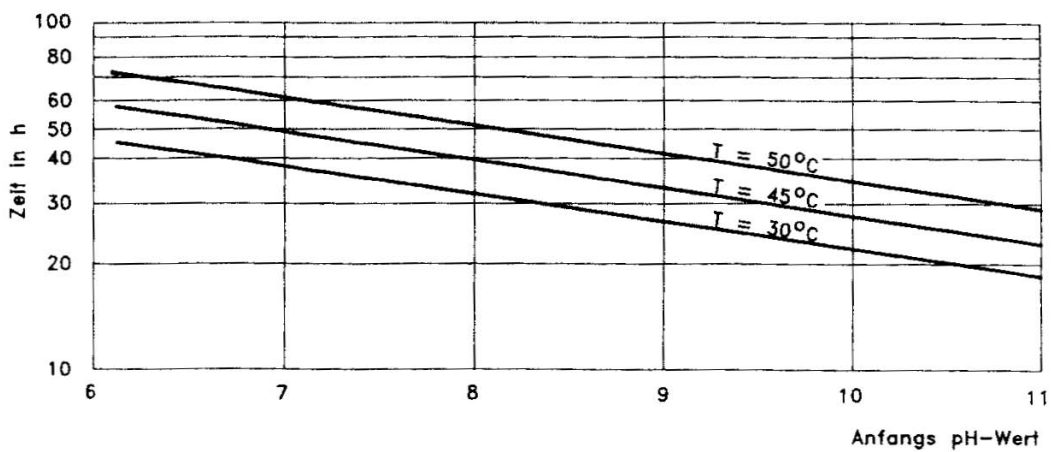


Abbildung 25: Zeit, nach der die Temperatur T= 50, 45, 30° C erreicht wurde, abhängig vom Anfangs-pH-Wert [8]

Art /Herkunft	C:N-Verhältnis	Strukturstabilität	Feuchtigkeit
Menschliche Fäzes	unter 10	schlecht	zu naß
Menschlicher Urin	0,8	schlecht (flüssig)	zu naß (flüssig)
Rasenschnitt frisch	12-25	schlecht	zu naß
Küchenabfälle	12-20	schlecht bis mittel	zu naß-mittel
Gartenabfälle	20-60	mittel	mittel
Laub	30-60	mittel-gut	mittel-trocken
Holzasche	(kein C)	schlecht	trocken
Stroh (Weizen / Gerste)	100	gut	trocken
Holzschnitt	100-150	gut	trocken
Rinde	100-130	gut	variabel eher trocken

Abbildung 26: Bewertung verschiedener Materialien, die in Komposttoiletten gelangen in Bezug auf C:N-Verhältnis, Strukturstabilität und Wassergehalt ^[36]

Eigenschaften kompostierbarer Materialien							
Material	C/N-Verhältnis	Absorptionsvermögen	Geruchsbinding	Struktur-bildung	Rotte-förderung	Verfüg-barkeit	Kosten
Ausgangsstoffe							
Fäzes	10	-	-	-	-	+	n.r.
Urin	0,8	-	-	-	+	+	n.r.
Fäkalien	6 - 10	-	-	-	-	+	n.r.
Toilettenpapier	1000	+	-	+	-	+	n.r.
Biogene Reststoffe Haushalt							
Essensreste	k.A.	-	-	-	+	+	+
Küchenabfälle	20 - 25	-	-	+	+	+	+
Blumenreste	k.A.	-	-	+	+	+	+
Kleintierstreu	k.A.	-	+	+	+	+	+
Holzasche	n.r.	-	+	-	+	+	+
Papier/Pappe	150 - 1000	+	-	+	-	+	+
Biogene Reststoffe Garten							
Rasenschnitt	15 - 20	-	+	+	+	+	+
Laub	40 - 70	+	+	+	+	+	+
Baum- u. Strauchschnitt	70 - 150	+	+	+	+	+	+
Shreddermaterial	100 - 230	+	+	+	+	+	-
Zuschlagstoffe							
Rindenmulch	100 - 130	+	+	+	-	+	-
Rindenschrot	50	+	+	+	-	-	-
Sägemehl/Hobelspäne	100 - 500	+	+	+	+	+	-
Holzhäcksell/-pellets	100 - 500	+	+	+	+	-	-
Strohhäcksell/-pellets	50 - 150	+	+	+	+	-	-
Hanf-/Flachshäcksell	k.A.	+	+	+	+	-	-
Gartenerde	10 - 15	+	+	-	+	+	+
Hilfsstoffe							
Naturkalk	k.A.	-	-	-	+	+	-
Gesteins-/Toninmehl	k.A.	+	+	-	+	+	-
Algenmehl	k.A.	+	-	-	+	-	-
Traubentrester	50	+	+	-	+	-	-

Abbildung 27: Eigenschaften kompostierbarer Materialien (nr.r = nicht relevant; -= ungünstig; += günstig; k.A.= keine Angaben) ^[8]



Abbildung 28 (links): Urinentrenneinsatz der Firma Berger Biotechnik ^[6]

Abbildung 29(rechts): Kindersitzaufsatz für Trenntoiletten der Firma Berger Biotechnik ^[7]

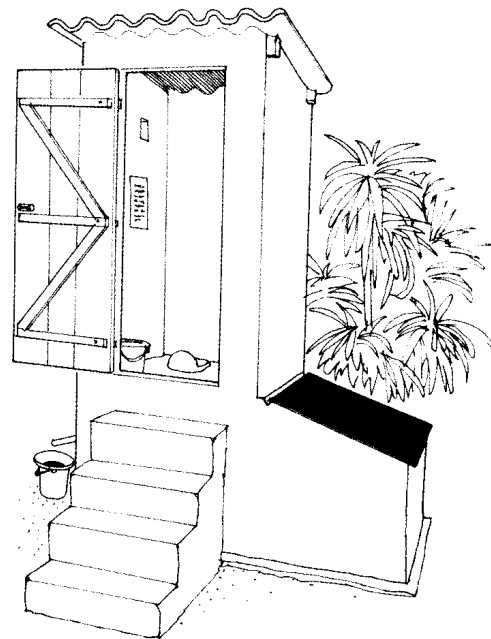
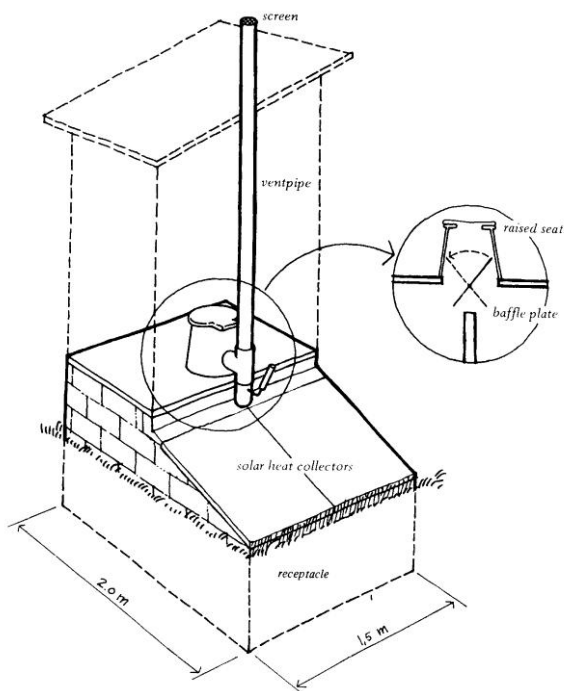


Abbildung 30 (links): Eine Doppelkammer-Komposttoilette mit Solarkollektoren für Mexiko ^[47]

Abbildung 31 (rechts): Eine Trocknungstoilette mit solarerwärmter Dehydrationskammer entwickelt für Vietnam von Uno Winblad ^[48]

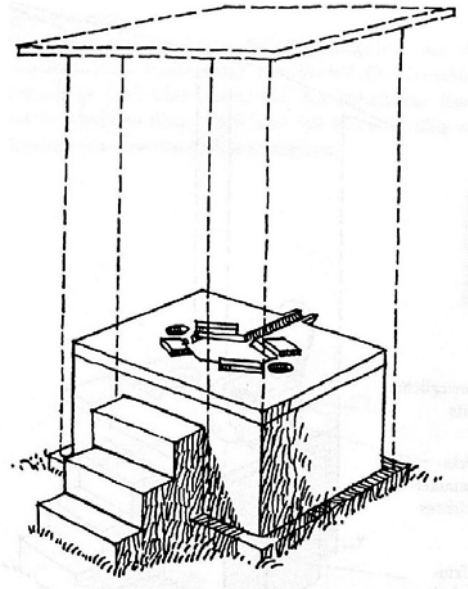
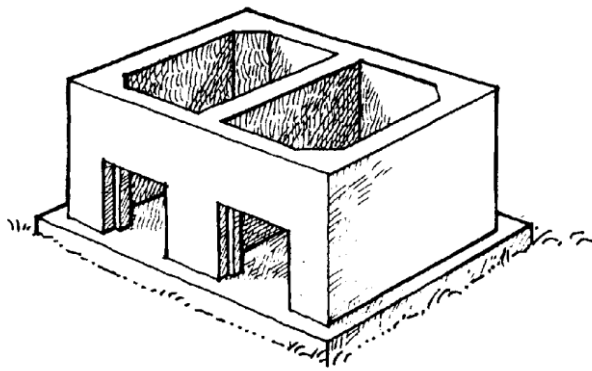


Abbildung 32: Vietnamesische Trockentoilette nach dem Zweikammer-Prinzip ^[32,48]

Abbildung 33: Vietnamesische Trockentoilette, Vorderansicht ^[32,48]

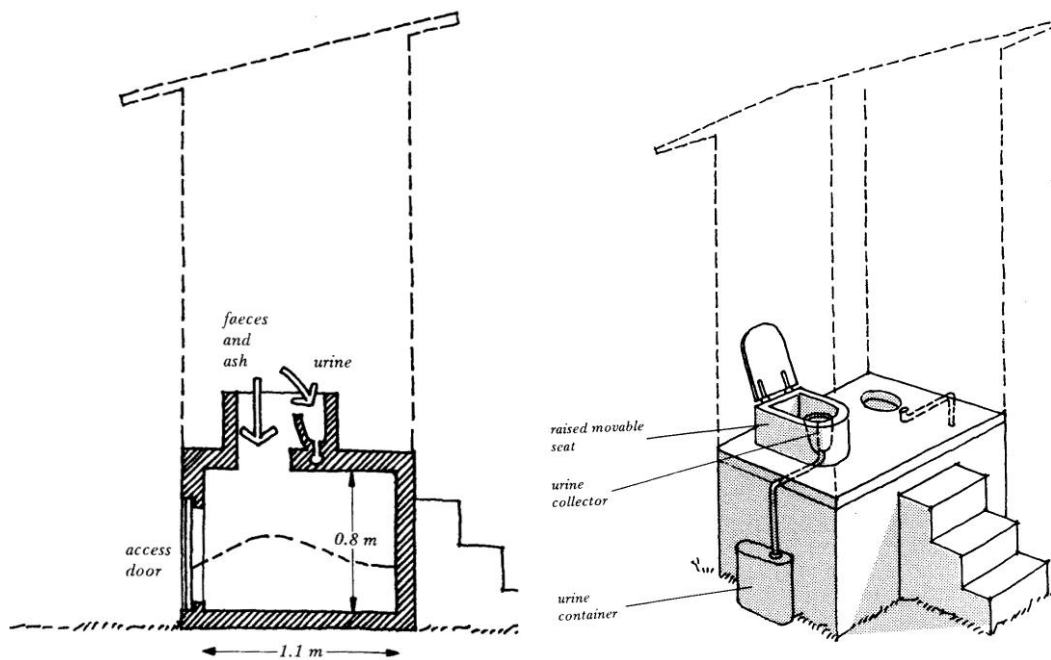


Abbildung 34: Zweikammer Trockentoilette in Guatemala ^[32,48]

Abbildung 35: Zweikammer-Trockentoilette in Guatemala mit getrennter Urinableitung und beweglichem Sitz ^[32,48]

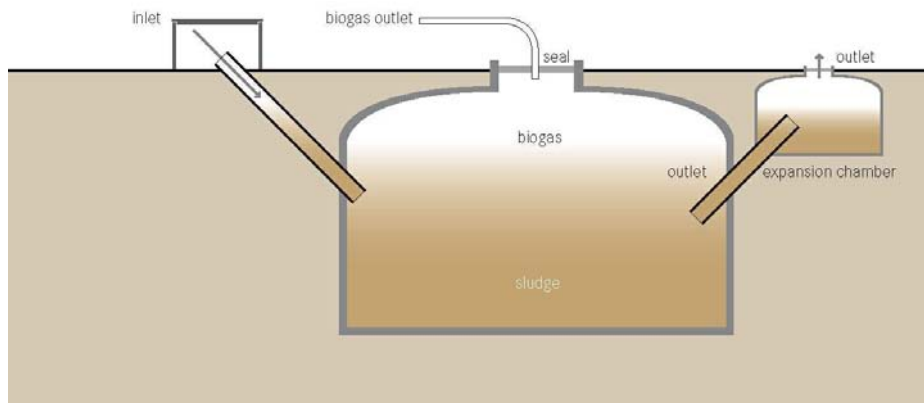


Abbildung 36: Anaerober Biogas Reaktor ^[15]

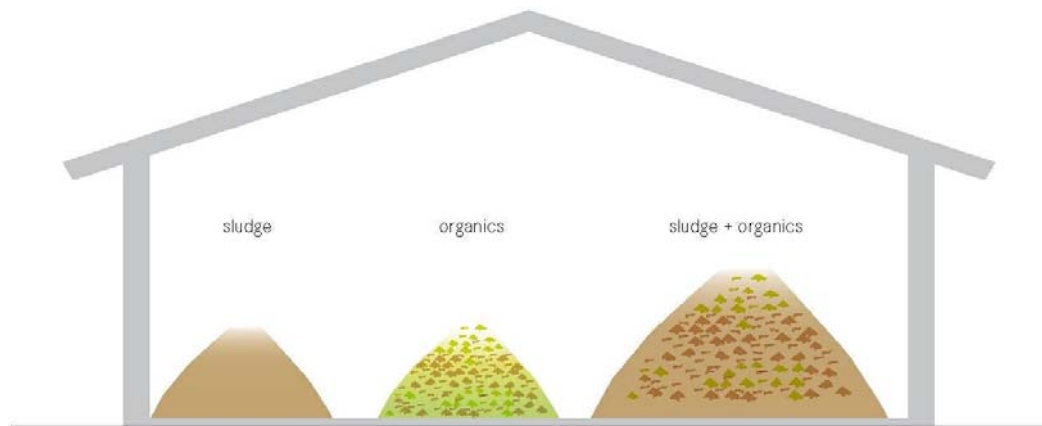


Abbildung 37: Externe Nachkompostierung (Co-Composting) ^[15]



Abbildung 38: Mülltrennvorrichtung in Yuvienta



Abbildung 39: Kompostanlage in Yuvienta



Abbildung 40: verschmutzte Spültoilette zum Hocken



Abbildung 41: verschmutztes Urinal



Abbildung 42 (links): beschädigte Konstruktion der Wasserspültoiletten



Abbildung 43 (rechts): Unterbau der Trocknungstoilette



Abbildung 44 (links): Innenansicht der Trocknungstoilette



Abbildung 45 (rechts): Santäreinrichtung der Studenten



Abbildung 46: Besuch bei einer Familie zur Umfrage



Abbildung 47: Familienumfrage; Personenanzahl im Haus

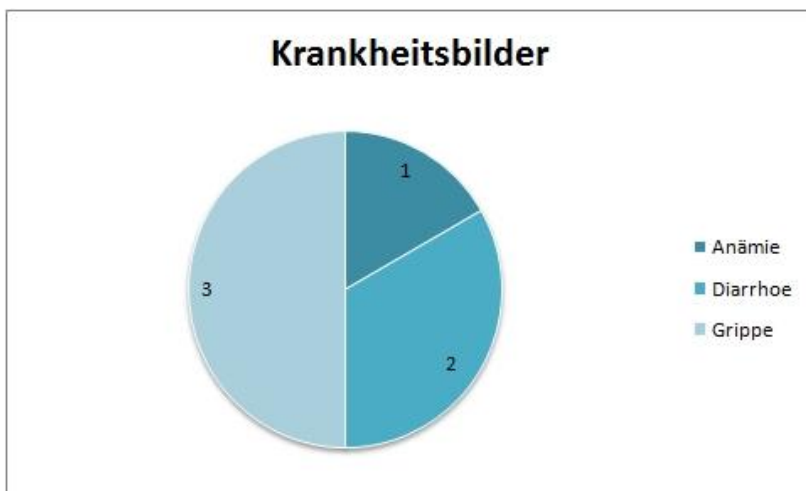


Abbildung 48: Familienumfrage; Krankheitsbilder



Abbildung 49: Trocknungstoilette mit großen Schäden (links)

Abbildung 50: Innenraum der beschädigten Trocknungstoilette (rechts)

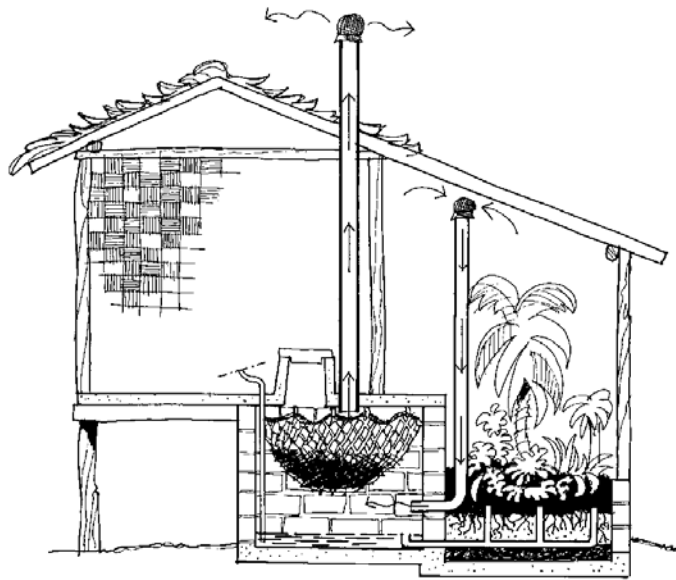
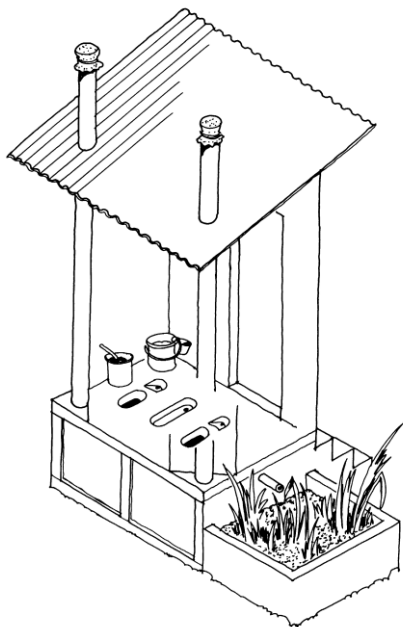


Abbildung 51 (links): 'The Kerala double-vault toilet' mit einem Pflanzenbeet ^[49]

Abbildung 52 (rechts): Komposttoilette mit Gewächshaus von Greenpeace, Design: David Del Porto ^[49]

Literaturverzeichnis

- 1 ARAGUNDY, J.: Urine treatment and use in the andes. Im Internet unter: <http://conference2005.ecosan.org/papers/aragundy_01.pdf>.
- 2 Saneamiento Ambiental en Yuvienta, Amazonía Ecuatoriana. URL: <www.ecosanlac.org/ecosanlac/assets/Yuvienta.pdf> Stand: 22. August 2010.
- 3 ARAGUNDY OCHOA, J. (2007): Ecological Sanitation in Yuvienta. Dongsheng.
- 4 BAUER, R. (2010): Regenwald PANORAMA - PANORAMA de la selva. Gestaltung des Areal der "Urwaldakademien" in der Pastaza-Region/ Ecuador. Weihenstephan/ Freising.
- 5 BECKER, G. (1998): Der Rottegrad als Gewährleistungskriterium für Kompostierungsanlagen. Münster: Fachhochschule Münster.
- 6 Berger Biotechnik. URL: <<http://www.berger-biotechnik.de/images/sepurintrenneinsatz01.jpg>> Stand: 05. August 2010.
- 7 Berger Biotechnik. URL: <<http://www.berger-biotechnik.de/images/kindersitzftrenntoiletten.jpg>> Stand: 05. August 2010.
- 8 BERGER, W./LORENZ-LADENER, C. (¹2008): Kompost-Toiletten. Sanitärsysteme ohne Wasser. Staufen im Breisgau: Ökobuch-Verlag.
- 9 CHORUS, I.; RINGELBAND, U.; SCHLAG, G.; SCHMOLL, O. (2000): Water, sanitation and health. Resolving conflicts between drinking-water demands and pressures from society's wastes ; proceedings of the international conference held in Bad Elster, Germany, 24 - 28 November 1998. London: IWA Publ. [u.a.].
- 10 Clivus Multrum. URL: <<http://www.clivusmultrum.com/index.php>> Stand: 07. August 2010.
- 11 Ecosan - newsletter. URL: <<http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/nl/de-ecosan-nl22-2006.pdf>> Stand: 22. August 2010.
- 12 DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2008): Neuartige Sanitärsysteme. Hennef: DWA.
- 13 EBERHARD, T.; FAKULTÄT FÜR TOURISMUS HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN MÜNCHEN (2009): Edition Ecuador. Augsburg: vmm wirtschaftsverlag gmbh & co.kg.
- 14 EcoSan Club Wien. URL: <http://www.ecosan.at/ueber-uns/ueber-uns?set_language=de> Stand: 22. August 2010.
- 15 Compendium of Sanitation Systems and Technologies. URL: <http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/publikationen/publications_sesp/downloads_sesp/compendium_high.pdf> Stand: 06.08.2010.
- 16 EPSTEIN, E. (1997): The science of composting. Lancaster, Pa.: Technomic Publ. Co.
- 17 Fachhochschule München - Campus Ecuador. URL: <http://w3tr-n.hm.edu/die_fakultaet/forschung_projekte/campus_ecuador.de.html> Stand: 08. August 2010.
- 18 German Toilet Organization. URL: <<http://www.germantoilet.org/wissen/schon-gewusst/menu-zentrale-fakten/1-gesundheit.html>> Stand: 15. August 2010.
- 19 German-Toilet-Organization. URL: <<http://www.facebook.com/pages/German-Toilet-Organization/75310403549?v=info>> Stand: 22. August 2010.
- 20 GOTTSCHALL, R. (⁴1990): Kompostierung. Optimale Aufbereitung und Verwendung organischer Materialien im ökologischen Landbau. Karlsruhe: Müller.

- 21 GTZ (EcoSan). URL: <<http://www.gtz.de/en/themen/8524.htm>> Stand: 22. August 2010.
- 22 HABERL, R. (2005): Abwasserentsorgung im ländlichen Raum. Stand der Technik und alternative Methoden ; ÖWAV-Seminar an der Universität für Bodenkultur Wien, 20. - 21. September 2005. Wien: ÖWAV.
- 23 ILESANMI, I. (¹2006): Pre-feasibility assessment of decentralised sanitation systems for new satellite settlements in Abuja, Nigeria. Göttingen: Cuvillier.
- 24 ISMAIL, I. I. (1966): Einige Kriterien für die Aktivität der Mikroorganismen bei der Kompostierung. Giessen.
- 25 KUHTZ, C. (1993): Das Kompost-Klo! Selbstbau & Erfahrung. Kiel: Einfälle statt Abfälle.
- 26 LACK, W. (¹2006): Abwasserreinigung mit Pflanzen. Bauanleitungen für 4 bis 400 Einwohner. Staufeu im Breisgau: Ökobuch.
- 27 LANGE, J./OTTERPOHL, R./STEGE-HARTMANN, T. (²2000): Abwasser. Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Donaueschingen-Pföfen: Mall-Beton-Verlag.
- 28 LANZ, K./MÜLLER, L./RENTSCH, C. (2006): Wem gehört das Wasser? Baden: Müller.
- 29 LENS, P. N. L. (2001): Decentralised sanitation and reuse. Concepts, systems and implementation. London: IWA Publ.
- 30 LINDNER, B. (2008): The black water loop. Hamburg: Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft.
- 31 LØNHOLDT, J. (2005): Water and wastewater management in the tropics. London: IWA Publ.
- 32 LORENZ-LADENER, C./BOSSE, P. (²1993): Kompost-Toiletten. Wege zur sinnvollen Fäkalien-Entsorgung. Staufeu bei Freiburg: Ökobuch-Verlag.
- 33 MALISIE, A. FITHRIANA (2008): Sustainability assessment on sanitation systems for low income urban areas in Indonesia. Hamburg: Ges. zur Förderung und Entwicklung der Umwelttechnologien an der Technischen Univ. Hamburg-Harburg.
- 34 Mineralienatlas (Kaolin). URL: <<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/RockData?rock=Kaolin>> Stand: 10. August 2010.
- 35 MORGAN, P. (2008): Toilets That Make Compost: Low-cost, Sanitary Toilets That Produce Valuable Compost for Crops in an African Context: Practical Action Publishing.
- 36 NAUDASCHER, I. (2001): Kompostierung menschlicher Ausscheidungen durch Verwendung biologischer Trockentoiletten. Mit besonderer Berücksichtigung des Kleingartenbereichs. Karlsruhe: Institutsverl. Siedlungswasserwirtschaft.
- 37 OTTERPOHL, R. (2001): Abwasserbehandlung, Abwasserableitung, Überwachung. Hamburg-Harburg: GFEU.
- 38 SCHILLING, H. (2009): Entwicklung von Wissenschaftstourismus in der Achuar-Gemeinde Sharamentsa, Ecuador. In: Tourismus Management Passport 2009, H. 02, S. 82–86.
- 39 Steinnuss. URL: <<http://de.wikipedia.org/wiki/Steinnuss>> Stand: 10. August 2010.
- 40 Stiftung AMAZONICA Deutschland. URL: <<http://amazonica.org/>> Stand: 7. August.
- 41 Weltgesundheitsorganisation. URL: <<http://de.wikipedia.org/wiki/Weltgesundheitsorganisation>> Stand: 22. August 2010.
- 42 WERNER, C. (2004): Ecosan - closing the loop. Proceedings of the 2nd international symposium, 7th - 11th April 2003, Lübeck, Germany ; [2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA Specialist Group Conference on Sustainable Sanitation]. Eschborn: GTZ Div. 44.

- 43 WERNER, C.; SCHLICK, J.; WITTE, G.; HILDEBRANDT, A. (2001): ecosan - closing the loop in wastewater management and sanitation. Proceedings of the International Symposium, 30-31 October 2000, Bonn, Germany. Eschborn: GTZ Div. 44.
- 44 Wikipedia (EcoSan). URL: <<http://de.wikipedia.org/wiki/Ecosan>> Stand: 22. August 2010.
- 45 Wikipedia (Kaolin). URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kaolin#Weltweite_Vorkommen> Stand: 10. August 2010.
- 46 WINBLAD, U. (2000): Sanitation without solution. In: Chorus, I./Ringelband, U./Schlag, G./Schmoll, O. (Hrsg.): Water, sanitation and health. Resolving conflicts between drinking-water demands and pressures from society's wastes ; proceedings of the international conference held in Bad Elster, Germany, 24 - 28 November 1998. London: IWA Publ. [u.a.].
- 47 WINBLAD, U./KILAMA, W. (1990): Sanitation without water. Houndsmills: Macmillan.
- 48 WINBLAD, U./SIMPSON-HÉBERT, M. (2004): Ecological sanitation. Revised and enlarged edition. Stockholm: Stockholm Environment Institute.
- 49 WINBLAD, U. E. A. (¹1998 ;): Ecological sanitation. Stockholm: Dept. for Natural Resources and the Environment.
- 50 WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006): Excreta and greywater use in agriculture. Geneva: World Health Organization.
- 51 Abendteuer Wissen (2009): Im Internet unter: <<http://www.zdf.de/ZDFmediathek/hauptnavigation/startseite#/beitrag/video/902374/Helden-des-Klimas---Teil-1>> Stand: Mai 2010.

Eidesstattliche Erklärung

„Ich versichere hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Wörtlich übernommene Sätze und Satzteile sind als Zitate belegt, andere Anlehnungen hinsichtlich Aussage und Umfang unter Quellenangabe kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen und ist auch noch nicht veröffentlicht.“

München, den 19.September 2010 Sarah Quast

Danksagung

Für die Realisierung und die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit im Rahmen des Projekts in Yuvienta möchte ich mich bei folgenden Personen und Unternehmen bedanken:

- Heike Schilling von Amazonica und Christoph Rapp vom Fachgebiet Hydromechanik, die dieses Projekt erst ermöglicht haben und sich dafür eingesetzt haben
- Claus Lindenblatt für die Betreuung am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität München
- Folgende Firmen für die finanzielle Unterstützung: Lions Club München -Olympiaturm; Bund der Freunde der TUM e.V.; Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen; den DAAD; die Hanns-Seidel-Stiftung; e-team GmbH; den Verband beratender Ingenieure (VBI); den Verein zur Förderung des internationalen Wissensaustauschs e.V.

Doch mein größtes Dankeschön möchte ich an Heidi Böttcher richten, die mich die letzten drei Jahre als Freundin durch das Bachelorstudium begleitet und stets gestärkt hat.