



**HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN**  
**Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät**

**Einfluss von Stallmist und Rohphosphat auf die Düngewirkung von  
menschlichem Urin (ECOSAN) im Baumwollanbau in der west-  
afrikanischen Sahelzone**

Bachelorarbeit  
im Studiengang: B.Sc. Agrarwissenschaften

vorgelegt von: Daniel Thylmann

Gutachter:  
Herr Prof. Dr. Engels  
Fachgebiet Pflanzenernährung und Düngung

Herr Dr. Horlacher  
Fachgebiet Pflanzenernährung und Düngung

Berlin, den 03.03.08

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>- 2 -</b>
<b>1. Einleitung: Einführung in das Konzept von ECOSAN</b> .....	<b>- 4 -</b>
1.1 Aktuelle Herausforderungen an sanitäre Konzepte .....	- 4 -
1.2 Unzulänglichkeiten konventioneller sanitärer Lösungen .....	- 5 -
1.2.1 „Drop-and-store“ .....	- 5 -
1.2.2 „Flush-and-discharge“ .....	- 6 -
1.3 Ein alternativer Ansatz: ECOSAN .....	- 7 -
1.3.1 Einführung .....	- 7 -
1.3.2 Beispiele der technischen Umsetzung von ECOSAN .....	- 8 -
1.3.2.1 Einfache Komposttoiletten in ländlichen Gebieten. ....	- 9 -
1.3.2.2 Komposttoiletten aus Skandinavien .....	- 11 -
1.3.2.3 Einfache Trenntoiletten (Trennung von Urin und Fäkalien) ...	- 13 -
1.3.2.4 Lösungen auf hohem technischen Niveau .....	- 16 -
1.4 Verwendung von Urin in der Landwirtschaft .....	- 18 -
1.5 Zusammenstellung weiterer f. ECOSAN wichtiger Themenkomplexe. ....	- 22 -
1.6 Abschließende Betrachtung .....	- 24 -
<b>2. Vorstellung und Einordnung der Versuchsfragestellung</b> .....	<b>- 26 -</b>
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>- 28 -</b>
3.1 Vorstellung der durchführenden Organisationen .....	- 28 -
3.2 Geographie und Klima am Versuchsstandort .....	- 29 -
3.3 Versuchsaufbau .....	- 30 -
3.4 Versuchsdurchführung .....	- 32 -
3.5 Statistische Auswertung .....	- 33 -
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>- 35 -</b>
<b>5. Diskussion</b> .....	<b>- 44 -</b>
<b>6. Zusammenfassung</b> .....	<b>- 49 -</b>
<b>7. Literatur</b> .....	<b>- 51 -</b>
<b>Liste der verwendeten Abkürzungen</b> .....	<b>- 56 -</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>- 57 -</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>- 58 -</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>- 59 -</b>

## Vorwort

„Ecological Sanitation“ (ECOSAN) ist ein Ansatz, der mich schon seit dem ich das erste Mal von ihm hörte interessierte, zu Beginn meines Studiums. Das Konzept ist meiner Ansicht nach ein gutes Beispiel dafür, wie ein Problem im Sinne der Nachhaltigkeit angegangen werden kann. Das beinhaltet damit schon per Definition, dass jeder, der sich mit dem Konzept von ECOSAN beschäftigt, mit einer Vielzahl von Fragestellungen ökologischer, ökonomischer und sozialer Natur konfrontiert wird. Inzwischen gibt es eine weltweit vernetzte Gemeinschaft, die diesen Fragestellungen nachgeht.

Im Zuge dieses früh geweckten Interesses habe ich mich entschlossen, meine Bachelorarbeit über eine mit ECOSAN verbundene Fragestellung zu schreiben. Mein generelles Interesse für die Entwicklungszusammenarbeit legte eine Bearbeitung im Kontext eines Entwicklungslandes nahe. Das Resultat war schließlich die Durchführung eines vier-monatigen Praktikums in Zusammenarbeit mit dem CREPA (*Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût* – regionales Zentrum für Trinkwasser und Abwasserreinigung zu niedrigen Kosten) in Burkina Faso und Mali. Das Praktikum bestand in der Durchführung eines Feldversuchs zur Untersuchung der Düngewirkung von Urin, welcher in dieser Arbeit besprochen wird.

In der Auswertung des Versuches ergaben sich einige Schwierigkeiten. Die von meinem Betreuer und Versuchsleiter Herr Dr. Démbélé aufgestellte Versuchshypothese hätte im Grunde genommen im Voraus unter Zuhilfenahme von vorliegenden Forschungsergebnissen abgelehnt werden können. Die vorgenommenen Messungen waren zudem für die Beantwortung der Versuchsfragestellung wenig geeignet. Es lagen auch leider bis zuletzt nicht alle Ergebnisse vor. Deshalb kam der Darstellung des Gesamtkonzeptes von ECOSAN neben der Versuchsauswertung eine besondere Bedeutung zu.

## Danksagung

An erster Stelle bin ich Linus Dagerskog zu Dank verpflichtet, der das Praktikum für mich organisiert hat, die Finanzierung der Laboranalysen in die Wege

leitete, mich mit zusätzlicher Literatur versorgte und mir Ankunft und Abfahrt durch seine Gastfreundschaft sehr erleichterte.

Desweiteren gilt besonderer Dank Sidiki Gabriel Démbélé, der die Versuchsplanung und meine Betreuung übernommen hat, immer geduldig und gut gelaunt auf meine Fragen eingegangen ist, und sich außerdem auch um mein Wohlergehen in der Abgeschiedenheit des Instituts bemüht hat.

Auch möchte ich der Familie Filifing Démbélé danken, die meine Versorgung übernahm und mich bald wie ein Familienmitglied behandelt hat. Außerdem geht herzlicher Dank an die Verantwortlichen des IPR, an Emanuel und an Jesse.

In Deutschland möchte ich folgenden Menschen meinen herzlichsten Dank aussprechen: Paula, meiner Familie, meinen Großeltern, Herr Prof. Engels, Herr Dr. Horlacher und Frau Dr. Wick.

## **1. Einleitung: Einführung in das Konzept von ECOSAN**

### **1.1 Aktuelle Herausforderungen an sanitäre Konzepte**

Das Jahr 2008 wurde von der UNO zum „world-sanitation-year“ erklärt. Sanitäre Probleme sind somit endgültig in den Fokus der Entwicklungspolitik gerückt. In den Millenniumszielen (Millennium development Goals, MDGs) der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2000 findet sich die Absichtserklärung, die Anzahl der Menschen, die keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser und sanitärer Grundversorgung haben, bis 2015 zu halbieren. Hinsichtlich der sanitären Situation stellen sich die Herausforderungen wie folgt dar:

#### **Menschen ohne Zugang zu sanitärer Grundversorgung**

2,6 Milliarden Menschen, ungefähr 40 % der Weltbevölkerung, haben keinen Zugang zu „verbesserten sanitären Anlagen“, nutzen nach WHO Definition also öffentliche Toiletten, offene Gruben, Eimer oder ähnliches (WHO 2006).

#### **Gesundheitsrisiken durch schlechte sanitäre Grundversorgung (WHO 2004)**

Jedes Jahr sterben 1,8 Millionen Menschen an Durchfallerkrankungen (inklusive Cholera), davon 90 % Kinder unter 5 Jahren, hauptsächlich in Entwicklungsländern. 88 % dieser Krankheiten sind auf schlechte Wasserversorgung, unzureichende sanitäre Anlagen und mangelhafte hygienische Bedingungen zurückzuführen.

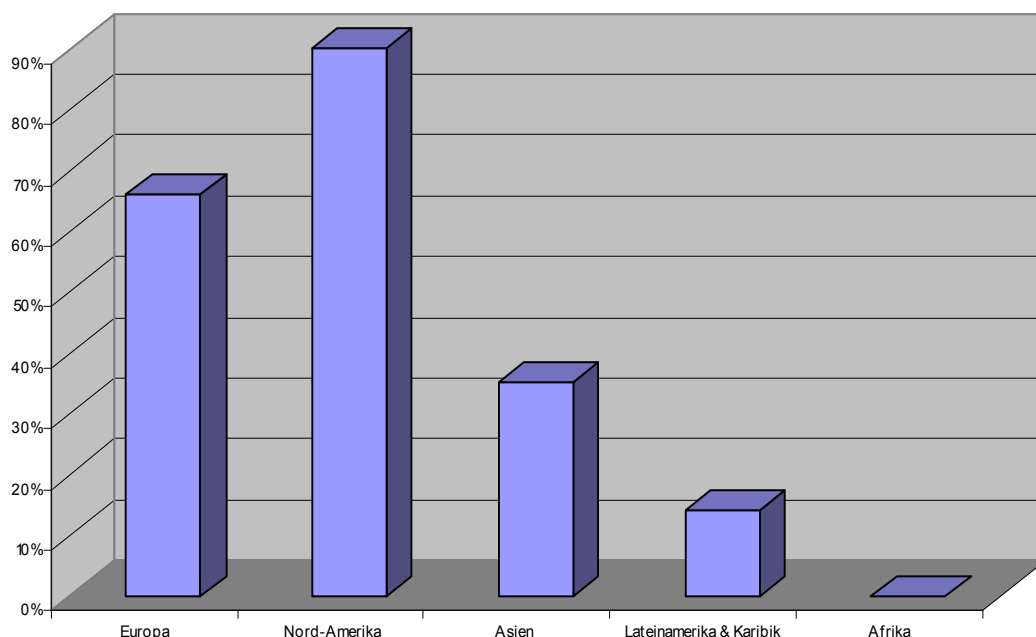
Grundlegende sanitäre Versorgung senkt die durchfallerkrankungsbedingte Sterblichkeit um 37,5 %. Die Infektionsrate mit Schistosomiasis (rund 160 Millionen Erkrankte weltweit, über 10000 Tote jedes Jahr alleine in Sub-Sahara-Afrika) wird durch Verbesserung der sanitären Situation um bis zu 77 % gesenkt.

#### **Management der wertvollen Ressource Wasser**

Schon heute herrscht in einigen Regionen der Welt Wasserknappheit. 2025 werden fast 50 % der Erdbevölkerung in Regionen mit Wasserstress leben, 2,4 Milliarden in Regionen mit sehr hohem Wasserstress (EARTHTRENDS 2007).

Ein verantwortungsvoller Umgang mit der Ressource Wasser wird daher zwingend notwendig werden. Doch die Herausforderungen sind enorm.

Ungeklärte Abwässer stellen weltweit die Hauptursache für Wasserverschmutzung dar. Insbesondere bevölkerungsreiche Kontinente verfügen nur über unzureichende Abwasserbehandlung, wie folgende Grafik verdeutlicht:



**Abb.1 Anteil der Abwässer, die durch Kläranlagen aufbereitet werden (in Prozent, Median), Quelle: WHO 2000**

## **1.2 Unzulänglichkeiten konventioneller sanitärer Lösungen**

Die weltweit vorherrschenden sanitären Konzepte lassen sich in zwei Kategorien einteilen (für eine detaillierte Beschreibung verschiedener Formen sanitärer Einrichtung siehe UNEP 2002, dem auch die folgenden Angaben entnommen sind): „*Drop-and-store*“ und „*Flush-and-discharge*“.

### **1.2.1 „Drop-and-store“**

Dieses System besteht aus Latrinen die über tiefen Gruben (Sickergruben) platziert werden („Plumpsklos“). Diese Art sanitärer Einrichtung ist in den ärmeren Gebieten von Entwicklungsländern weit verbreitet. Die Fäkalien häufen sich in der Grube an, der Urin und andere Flüssigkeiten sickert in den Boden. Es gibt Variationen mit Spülung oder mit Ventilationseinrichtung (um die Anzahl

von Insekten sowie Geruchsbildung zu verringern). Die Zeit, in der eine Grube gefüllt wird, variiert mit ihrer Größe und der Anzahl der Personen, die die Latrine benutzen, beträgt aber höchstens einige Jahre, bis eine Entleerung oder Neugrabung notwendig wird.

Obwohl diese Art der sanitäreren Einrichtung bei richtiger Handhabung Vorteile gegenüber offener Defäkation bietet, billig und einfach instand zu halten ist, hat sie einige gravierende Nachteile:

- Gefahr der Grundwasserkontamination (durch vom Boden absorbierte Flüssigkeiten)
- Installation nicht möglich in dicht besiedelten Gebieten, auf felsigem Boden, bei hohem Grundwasserspiegel oder in Gebieten die regelmäßig überflutet werden
- Entleerung oder Neugrabung von Gruben alle paar Jahre notwendig
- Entleerung meist schwierig, wird in ärmeren Gebieten oftmals Arbeitern ohne ausreichende Schutzbekleidung überlassen
- Oft starke Belästigung durch Fliegen und Geruchsbildung.

### 1.2.2 „Flush-and-discharge“

Hier werden die Abwässer von mehreren Haushalten durch ein Rohrsystem gesammelt und entweder in Kläreinrichtungen oder meistens direkt in natürliche Gewässer entlassen. Diese Form des Abwassermanagements geht mit einigen gravierenden Nachteilen einher:

- Hoher Wasserverbrauch: pro Person fallen im Jahr ca. 50 l Fäkalien und 400- 500 l Urin an, die mit 15000 l Wasser weggespült werden (OTTERPOHL & OLDENBURG 2002); dieses Wasser ist danach mit Krankheitserregern kontaminiert.
- Hohe Kosten: Installation und Instandhaltung einer Kanalisation sind nur in wohlhabenden, dicht bevölkerten Gebieten möglich; hoch qualifizierte Arbeitskräfte werden benötigt.
- Wasserverschmutzung durch unzureichende Klärung: wie unter 1.1 beschrieben wird ein Großteil des weltweit anfallenden Abwassers nicht einer Reinigung durch Kläranlagen unterzogen.

Außerdem lassen die bestehenden Ansätze die Tatsache unberücksichtigt, dass menschliche Exkremamente viele Nährstoffe erhalten, die als Dünger einen wertvollen Beitrag zur Produktion landwirtschaftlicher Güter leisten können, wie im Folgenden noch auszuführen sein wird.

### **1.3 Ein alternativer Ansatz: ECOSAN**

#### **1.3.1 Einführung**

Der Begriff ECOSAN (aus dem Englischen *ecological sanitation*) wird international verwendet, um ein alternatives Konzept der Abwasserbewirtschaftung und Sanitärentsorgung zu beschreiben. Der Ansatz beruht auf dem Prinzip, menschliche Exkrement nicht als Abfall zu betrachten, sondern, sofern sorgfältig gehandhabt, als wertvolle Ressource.

ECOSAN ist weniger eine spezielle Technologie als ein ganzheitlich anderer Ansatz zur Sanitärentsorgung. Im Mittelpunkt stehen dabei im Wesentlichen drei Prinzipien (WINBLAD & SIMPSON 2004):

- Verunreinigung von Wasser wird vermieden, anstatt eine Eindämmung solcher Verschmutzung im Nachhinein zu versuchen
- Vollständige Hygienisierung von Urin und Fäkalien
- Nutzung der sicheren Produkte in der Landwirtschaft.

Zentrale Idee ist einen geschlossenen Nährstoffkreislauf zwischen Sanitären Einrichtungen und der Landwirtschaft herzustellen. Im Gegensatz zu „*drop-and-store*“ oder „*flush-and-discharge*“ kann dieser Ansatz als „*sanitize-and-recycle*“ charakterisiert werden.

Das Konzept sieht für den Idealfall eine vollständige Rückgewinnung aller Nährstoffe aus dem Urin, den Fäkalien und ggf. dem Grauwasser<sup>1</sup> vor, sowie den höchst möglichen sparsamen Umgang mit der Ressource Wasser. In einem weiter gefassten Verständnis kann ECOSAN auch die Nutzung von Regenwasser und Kompost, oder die energetische Verwertung organischer Substanz beinhalten.

---

<sup>1</sup> Grauwasser ist nach DIN EN 1085 ein Teil der häuslich anfallenden Schmutzwässer, jedoch frei von Fäkalien und hochbelastetem Küchenwasser (gesammelte Wässer von Dusch- und Badewanne, Waschtisch und Waschmaschine)

Die Ziele von ECOSAN lassen sich demnach wie folgt zusammenfassen (ebd.):

- Risiken für die Gesundheit in Verbindung mit unzureichenden Sanitäreinrichtungen und kontaminiertem Wasser verringern
- Qualität von Oberflächen- und Grundwasser erhalten bzw. verbessern
- Die Bodenfruchtbarkeit verbessern
- Optimierung des Managements der Ressourcen Wasser und Nährstoffe

In vielen Texten wird ECOSAN als neuer Ansatz bezeichnet. Tatsächlich gibt es aber schon 3000 Jahre alte Hinweise aus China, die auf eine Verwendung menschlicher Exkremente in der Landwirtschaft schließen lassen (SHIMING 2001). Auch im antiken Europa verwendeten die Griechen und Römer Exkremente als Dünger in der Landwirtschaft (SMET & SUGDEN 2006). Im England des 19. Jh. existierten lange Zeit neben mit Wasser betriebenen Toiletten auch so genannte „earth-toilets“, in denen die Fäkalien mit Erde vermischt und dann als Dünger verwendet wurden (ebd.).

### 1.3.2 Beispiele der technischen Umsetzung von ECOSAN

Es gibt zahlreiche Beispiele wie die Prinzipien von ECOSAN umgesetzt werden, von sehr einfachen Lösungen in ländlichen Gebieten von Entwicklungsländern bis zu technisch sehr aufwendigen Anlagen in Industrieländern. Folgende Faktoren spielen bei der Ausgestaltung eines sanitären Konzeptes eine wesentliche Rolle (WINBLAD & SIMPSON 2004):

- Klima: Temperatur, Feuchtigkeit, Niederschlag; in ariden Gebieten bietet sich beispielsweise eine Hygienisierung von Fäkalien durch Trocknung an, während in humiden Gebieten eine Kompostierung erfolgsversprechender ist;
- Bevölkerungsdichte und Art der Niederlassungen: Menge der anfallenden Exkremente, verfügbarer Platz für „on-site/off-site processing“, Lagerung und Möglichkeiten des lokalen Recyclings;
- Soziokulturelle Prägung: Gewohnheiten und Ansichten der Zielgruppe, Akzeptanz;

- Ökonomie: Finanzielle Möglichkeiten sowohl der Individuen einer Zielgruppe, als auch der Zielgruppe insgesamt (bzw. der sie vertretenden öffentlichen Einrichtungen);
- Technische Kapazität: Das Technologieniveau welches mit lokal verfügbarem Fachwissen und Werkzeugen aufrechterhalten werden kann;
- Landwirtschaft: Charakteristiken des lokalen Gartenbaus und der lokalen Landwirtschaft;
- Institutionelle Unterstützung: rechtliche Bestimmungen, öffentliche Unterstützung (durch Regierung auf lokaler und nationaler Ebene), Industrie, Finanzinstitutionen, Universitäten, NGOs.

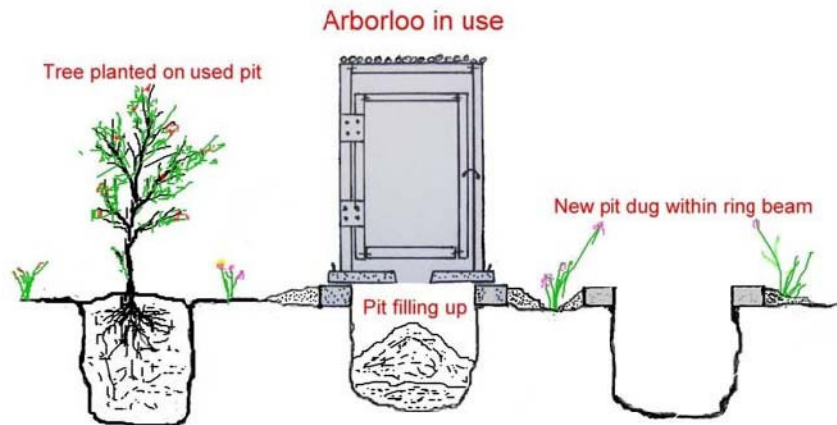
Zu einer ausführlicheren Beschreibung verschiedener Systeme siehe WINBLAD & SIMPSON (ebd.). Im Folgenden sollen beispielhaft einige bestehende Umsetzungen skizziert werden.

#### 1.3.2.1 Einfache Komposttoiletten in ländlichen Gebieten.

Eine Modifikation einfacher „Plumpsklos“ entsprechend den Prinzipien von ECOSAN beschreibt Peter Morgan (MORGAN 2004). Er nennt sie „*Arborloo*“ und „*Fossa Alterna*“. Sie stellen die einfachste Form von ECOSAN dar und haben schon weite Verbreitung in ländlichen Gebieten Afrikas gefunden.

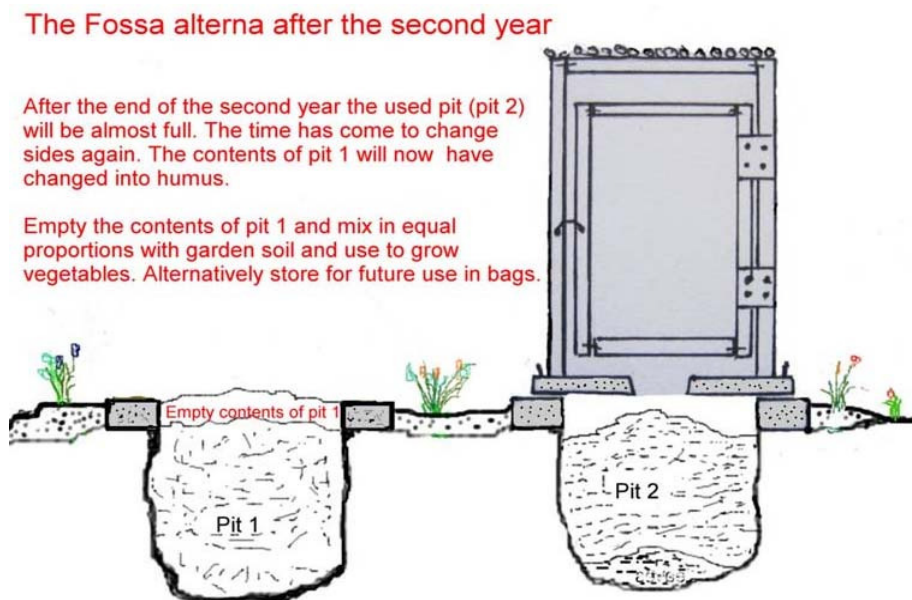
Das *Arborloo* besteht aus einer kleinen Grube über die ein Aufbau entsprechend den vorgefundenen Benutzungsgewohnheiten (Toiletten zur Nutzung im Sitzen oder Toiletten zur Nutzung im Hocken) platziert ist. Urin und Fäkalien sammeln sich in der Grube, und werden nach jeder Nutzung mit einer Schicht Erde abgedeckt. Außerdem werden regelmäßig Blätter und Asche hinzugegeben, um den Kompostierungsprozess zu verbessern. Wenn die Grube voll ist, wird der Überbau über eine andere Grube platziert. In der alten Grube wird ein Baum gepflanzt (beispielsweise Banane oder Papaya), um die hohe Konzentration an Nährstoffen auszunutzen. Die Funktionsweise verdeutlicht Abbildung 2.

Das *Arborloo* eignet sich nur unter einigen recht restriktiven Bedingungen als sanitäre Einrichtung. Es muss genügend Platz für ständig neue Gruben zur Verfügung stehen, es darf nicht zu feucht sein und vor allem darf es zu keinen Überschwemmungen kommen. Auf felsigen Böden oder Böden mit hohem Grundwasserstand kann ein *Arborloo* ebenfalls nicht installiert werden.



**Abb.2 Einfache Komposttoilette in ländlichen Gebieten: das *Arborloo*, Quelle: MORGAN 2004**

Der Ansatz kann weiter modifiziert werden, in dem man von dem System der Nutzung ständig neuer Gruben zum Wechsel von nur noch zwei Gruben übergeht. Diese müssen entsprechend befestigt werden. Morgan nennt dieses System *Fossa Alternata* (Abb.3).



**Abb.3 Einfache Komposttoilette in ländlichen Gebieten: das *Fossa Alternata*, Quelle: MORGAN 2004**

Wenn eine Grube voll ist, wird der Überbau über die zweite Grube platziert. Der Inhalt der ersten Grube verbleibt dort, um kompostiert zu werden (Morgan emp-

fehlt eine Verweildauer von zwei Jahren insgesamt, d.h. inklusive den Zeitraum der Nutzung). Das so schließlich entstandene hygienisierte Produkt, Humus, wird zur weiteren Verwendung im Garten oder auf dem Feld ausgebracht. Dann kann der Überbau wieder über der ersten Grube installiert werden und der Inhalt der zweiten Grube kompostiert werden.

Das *Fossa Alternata* bietet den Vorteil Platz sparender zu sein, außerdem kann der entstandene Humus gezielt genutzt werden.

Morgan bezeichnet die beiden Konzepte als einfach und unkompliziert, sicher in der Anwendung und außerdem gut geeignet, um die betroffenen Menschen mit dem Konzept von ECOSAN, sprich dem Aspekt des Recyclings von Nährstoffen, vertraut zu machen. Allerdings dürften sich die Ansätze nicht für Projekte in großem Maßstab eignen, wie z.B der Versorgung größerer Siedlungen mit sanitären Einrichtungen.

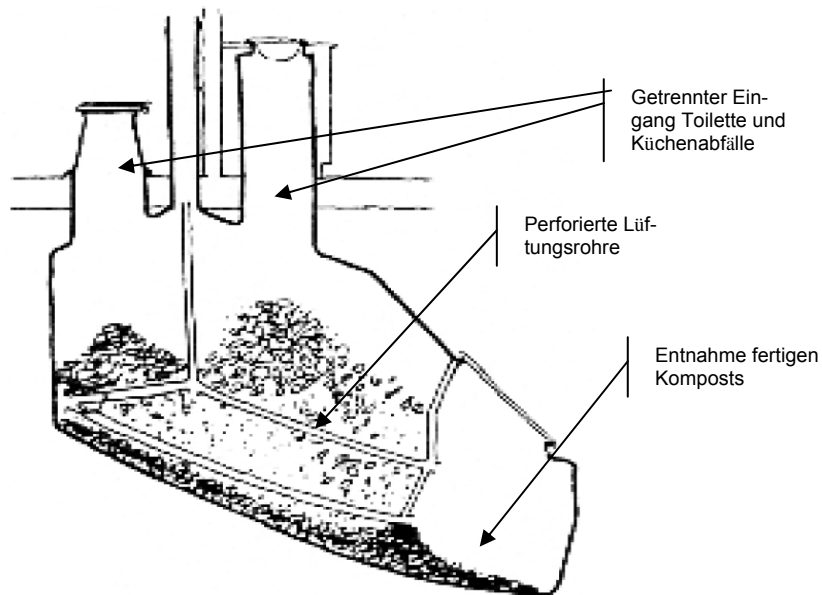
#### 1.3.2.2 Komposttoiletten aus Skandinavien

Komposttoiletten aus Skandinavien funktionieren vom Prinzip her ähnlich wie die eben beschriebenen Latrinen. Zwei Beispiele sollen kurz erläutert werden.

##### „Clivus“ aus Schweden

Das *Clivus* besteht aus einer Prozesskammer in der Fäkalien, Urin und Küchenabfälle zusammen kompostiert werden. Durch eine leichte Schräge rutscht das Material langsam nach unten, bis es schließlich kompostiert entnommen werden kann. Es handelt sich hierbei um einen fortlaufenden Prozess, d.h. die Kammer wird nie vollständig geleert, sondern jedes Jahr wird eine bestimmte Menge fertig kompostierten Materials entnommen (Abb. 4).

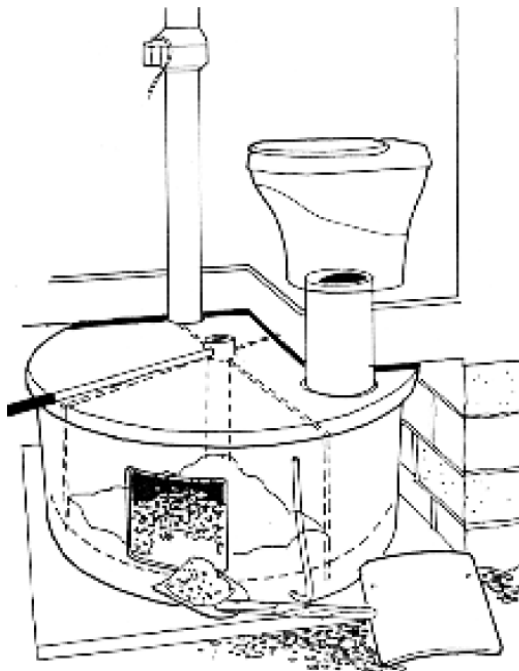
Bei richtiger Installation und sorgfältiger Handhabung funktioniert das *Clivus* problemlos. Häufig kommt es aber dennoch zu Problemen, z.B. dass sich Flüssigkeiten im unteren Teil der Anlage ansammeln (Hygienisierung nicht mehr gewährleistet) oder dass die Rutschfläche verstopft.



**Abb.4 Komposttoilette aus Schweden, Modell *Clivus*,  
Quelle: WINBLAD & SIMPSON 2004, eigenhändige Beschriftung**

Das *Carousel* aus Norwegen

Unter der Toilette befindet sich ein rotierbarer Tank aus mehreren Kammern (meistens vier, selten sechs Kammern). Wenn eine Kammer voll ist, wird der Tank weiter gedreht. In den anderen Kammern kann der Inhalt in der Zwischenzeit kompostiert werden.



**Abb.5 Das *Carousel* aus Norwegen, Quelle: WINBLAD & SIMPSON 2004**

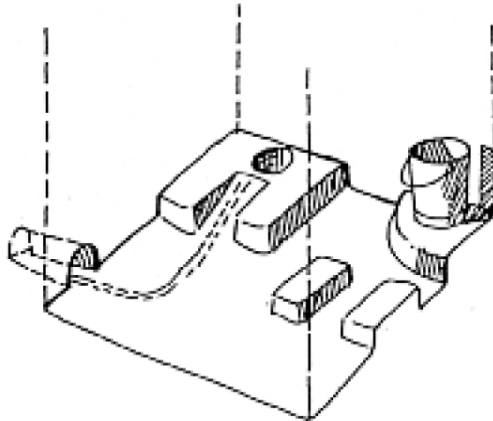
### 1.3.2.3 Einfache Trenntoiletten (Trennung von Urin und Fäkalien)

Diese Art Toiletten werden häufig in ECOSAN-Projekten verwendet. Sie sollen etwas genauer beschrieben werden, da Toiletten dieser Bauart auch in dem Projekt verwendet wurden, welches den Urin für den Versuch bereitstellte.

Die Latrinen bestehen aus zwei Teilen: einem Unterbau, der ein oder zwei Kammern bildet, und einem Überbau mit der eigentlichen Toilette und dem Sichtschutz.

#### Abtrennung des Urins

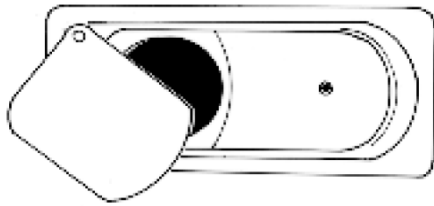
Die Trennung des Urins wird schon beim Auffangen der Ausscheidungen vollzogen. Sowohl Sitztoiletten, als auch Hocktoiletten sind leicht mit entsprechenden Vorrichtungen zu bauen (Siehe Abb. 6 bis 9). Der Urin wird dann in Kanistern gesammelt.



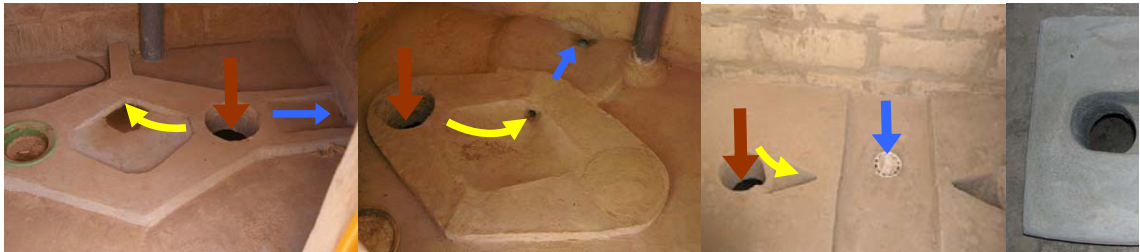
**Abb. 6** Einfachste Form der Urinabscheidung bei einer Hocktoilette, Quelle: WINBLAD & SIMPSON 2004



**Abb. 7** Einfache Bauform einer Sitztoilette mit Vorrichtung zum Abtrennen von Urin, Quelle: MORGAN 2004



**Abb. 8 Vorgefertigtes Bauteil zur Urinabtrennung in Hocktoiletten (aus China),  
Quelle: WINBLAD & SIMPSON 2004**



**Abb. 9 Weitere Bauformen von Hocktoiletten (aus Westafrika), Quelle: CREPA  
2007**

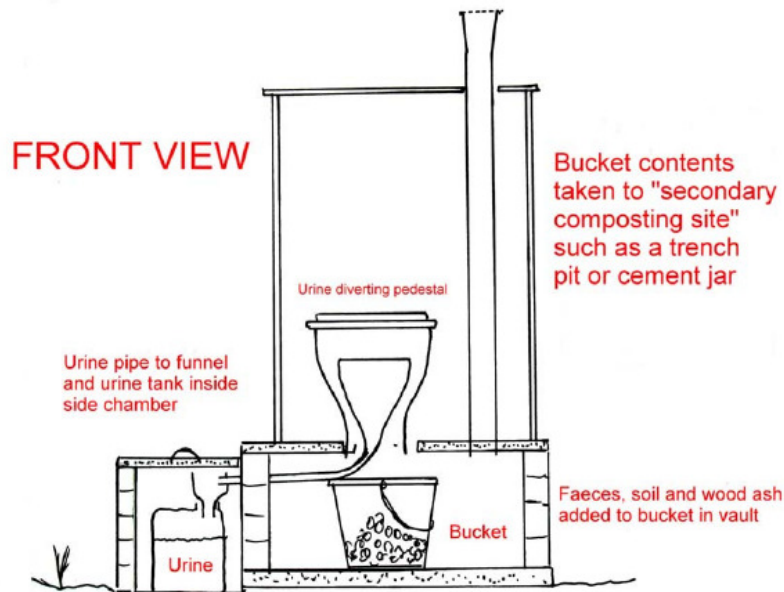
Die gelben Pfeile zeigen welchen Weg der Urin nimmt, die braunen Pfeile zeigen den Weg der Fäkalien, die blauen Pfeile zeigen, wo das Waschwasser (Dusche, Analhygiene) abfließt

### Hygienisierung der Fäkalien

Es existieren zwei Variationen, die sich hinsichtlich des Hygienisierungsprozesses der Fäkalien unterscheiden: a) sofortige Kompostierung und b) Trocknung mit anschließender Kompostierung.

#### a) sofortige Kompostierung

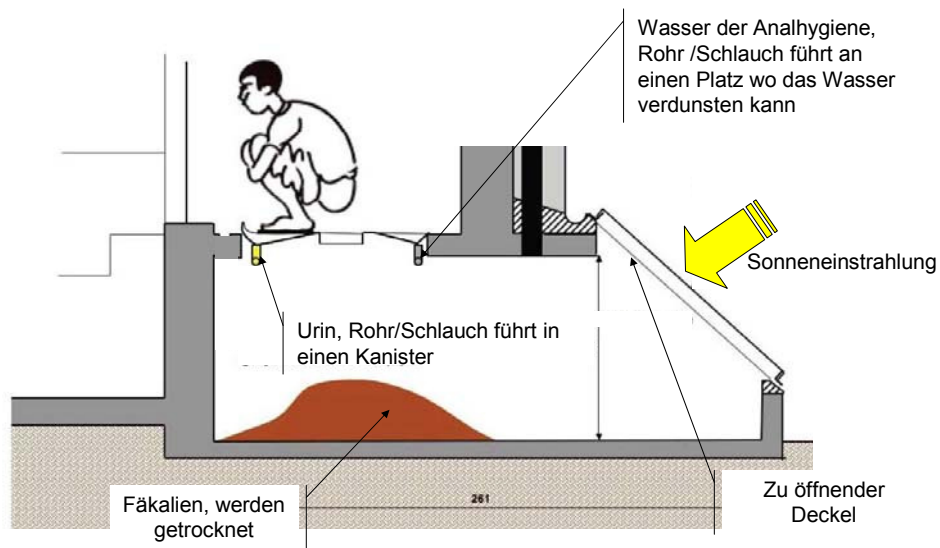
Die Fäkalien können in einem Behältnis aufgefangen werden, welches regelmäßig geleert wird. Auf einem Kompost in der Nähe werden sie dann kompostiert. Dieses Vorgehen beschreibt Morgan (MORGAN 2004), die entsprechende Latrinenform nennt er „Skyloo“ (Abb.10).



**Abb.10 Trenntoilette mit sofortiger Kompostierung der Fäkalien, das Skyloo, Quelle: MORGAN 2004**

b) Trocknung mit anschließender Kompostierung

Um diese Form einer Latrine handelte es sich in dem Pilotprojekt, welches den Urin für den Versuch bereitstellte. Der Unterbau der Latrine bildet zwei Kammern, der Oberbau lässt eine abwechselnde Benutzung der Kammern zu. Die Fäkalien sammeln sich in einer der Kammern und trocknen dort. Der Trocknungsvorgang wird durch Sonneneinstrahlung auf die Deckel der Kammer und regelmäßige Zugabe von Asche unterstützt. Hat sich die erste Kammer gefüllt, wird die zweite Kammer genutzt; die Fäkalien in der ersten Kammer verbleiben dort, um weiter getrocknet zu werden. Ist die zweite Kammer gefüllt, wird die erste Kammer geleert. Die getrockneten Fäkalien können nun kompostiert werden oder, sofern der Trocknungsprozess lange genug andauerte (mindestens ein Jahr, vgl. SCHÖNNING & STENSTRÖM 2004), direkt in der Landwirtschaft verwendet werden.



**Abb.11 Schema einer Hocktoilette mit Urinabtrennung und Trocknung der Fäkalien, Quelle: GTZ 2006, eigene Beschriftung**



**Abb.12 Rückansicht einer Toilette mit Entnahmeöffnungen für die getrockneten Fäkalien, Quelle: GTZ 2001**



**Abb.13 Fäkalien nach der Trocknung, Quelle: GTZ 2001**

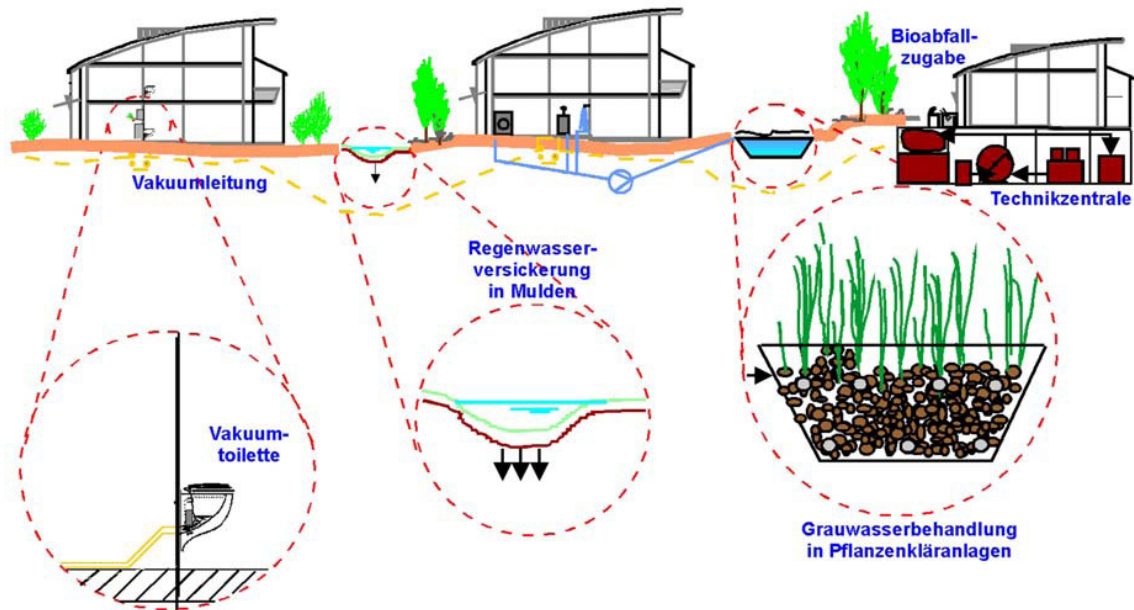
#### 1.3.2.4 Lösungen auf hohem technischen Niveau

##### Die Wohnsiedlung Flintenbreite in Lübeck

Anlässlich der EXPO 2000 startete das Bundesumweltministerium ein Demonstrationsvorhaben für ökologisch verträglichen Städtebau. In Lübeck entstand eine Wohnsiedlung für 350 Menschen, die sich durch Nutzung um-

weltschonender Technologien im Abwasser-, Energie- und Baustoffbereich auszeichnet.

Die Wohnsiedlung ist nicht an das städtische Abwassersystem angeschlossen, das Abwasser wird in Teilströme aufgeschlüsselt (Regenwasser, Grauwasser, Schwarzwasser). Dieses Abwasserkonzept verdeutlicht folgende Abbildung (Abb. 14).



**Abb.14 Technische Umsetzung des Stoffstrommanagements in der Wohnsiedlung Flintenbreite, Quelle: OLDENBURG 2005**

Die Toiletten werden mit einer Vakuumpülung betrieben, so dass der Wasserverbrauch deutlich reduziert werden kann. Außerdem wird so eine hohe Konzentration des Schwarzwassers (Fäkalien und Urin) ermöglicht. Das Schwarzwasser wird zusammen mit zerkleinertem Abfall aus Biotonnen (Küchenabfälle) in eine Biogasanlage gegeben. Das gewonnene Gas wird zur Strom- und Wärmeerzeugung verwendet. Der verbleibende Gärrückstand ist hygienisiert und wird von einem Maschinenring als Dünger in der Landwirtschaft verwendet, wo er Teile des mineralischen Düngers substituieren kann.

Für eine genauere Beschreibung des Projektes siehe unter anderem OLDENBURG 2005.

### Weitere Beispiele

Sanitäre Versorgungen die nach den ECOSAN-Prinzipien arbeiten, in urbanen Gebieten Anwendung finden und mit höherem technischen Aufwand arbeiten, existieren ebenfalls in vielen Variationen, auf die nicht alle eingegangen werden kann. Eines der größten gegenwärtigen Projekte ist die Siedlung Erdos in China, in der 825 mehrstöckige Appartements mit Trenntoiletten ausgerüstet wurden. Fäkalien werden in Containern gesammelt, das Urin in Tanks gelagert, der Transport an eine zentrale Sammelstele wird von öffentlicher Hand übernommen (für eine kurze Darstellung des Projektes siehe LIXIA et al. 2007). Für kurze Darstellungen weiterer Umsetzungen von ECOSAN – Prinzipien auf dem Niveau mehrstöckiger Häuser, oder Siedlungen siehe WINBLAD & SIMPSON (2004).

Es muss allerdings erwähnt werden, dass es noch keine Projekte gibt die in großem Maßstab eine Abwasserversorgung einer ganzen Stadt nach den ECOSAN – Prinzipien gewährleisten.

### **1.4 Verwendung von Urin in der Landwirtschaft**

Die Nutzung von menschlichen Exkrementen als Dünger in der Landwirtschaft ist bisher weltweit wenig verbreitet. Daher halten sich auch die verfügbaren wissenschaftlichen Untersuchungen zu diesem Thema in überschaubarem Rahmen. Dennoch existieren klare Versuchsergebnisse und davon abgeleitete Handlungsempfehlungen. Diese sollen an dieser Stelle kurz zusammengefasst werden, dabei soll im Hinblick auf den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuch jedoch nur auf die Verwendung von Urin eingegangen werden. Für eine ausführliche Darstellung des momentanen Wissensstands betreffend der Nutzung menschlicher Exkremente in der Landwirtschaft, insbesondere auch betreffend der Nutzung von Fäkalien, siehe JÖNSSON et al. (2004).

Einen Überblick über Untersuchungen die im Speziellen auf die Düngewirkung von Urin eingehen, findet sich bei SIMONS (2003).

### Nährstoffanteil im Urin

Es existieren nur wenig exakte Untersuchungen des Nährstoffgehaltes von Urin in unterschiedlichen regionalen Kontexten. JÖNSSON schlägt daher eine Be-

rechnung der mit dem Urin anfallenden Nährstoffmengen anhand verfügbarer FAO-Daten zur Ernährungssituation einer Region vor. Dies verdeutlicht zugleich, dass es große regionale Unterschiede von Nährstoffgehalten –und Konzentrationen im Urin gibt, im Wesentlichen determiniert durch unterschiedliche Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung einer Region.

Dennoch lassen sich folgende, von der betrachteten Region unabhängige Feststellungen treffen:

- An den häuslichen Teilströmen haben Urin und Fäkalien vom Volumen her nur einen kleinen Anteil.
- Von den häuslichen Teilströmen beinhaltet der Urin die meisten Nährstoffe.
- Die hygienisch bedenklichste Substanz sind die Fäkalien, die vom Volumen her nur ein Bruchteil des gesamten häuslichen Stoffstroms ausmachen.

Die Anteile der wichtigsten Nährstoffe, Stickstoff, Phosphor und Kalium (N, P, K), in Exkrementen können anhand folgender Grafik (Abb.15) abgeschätzt werden, die auch die eben genannten Aspekte verdeutlicht.

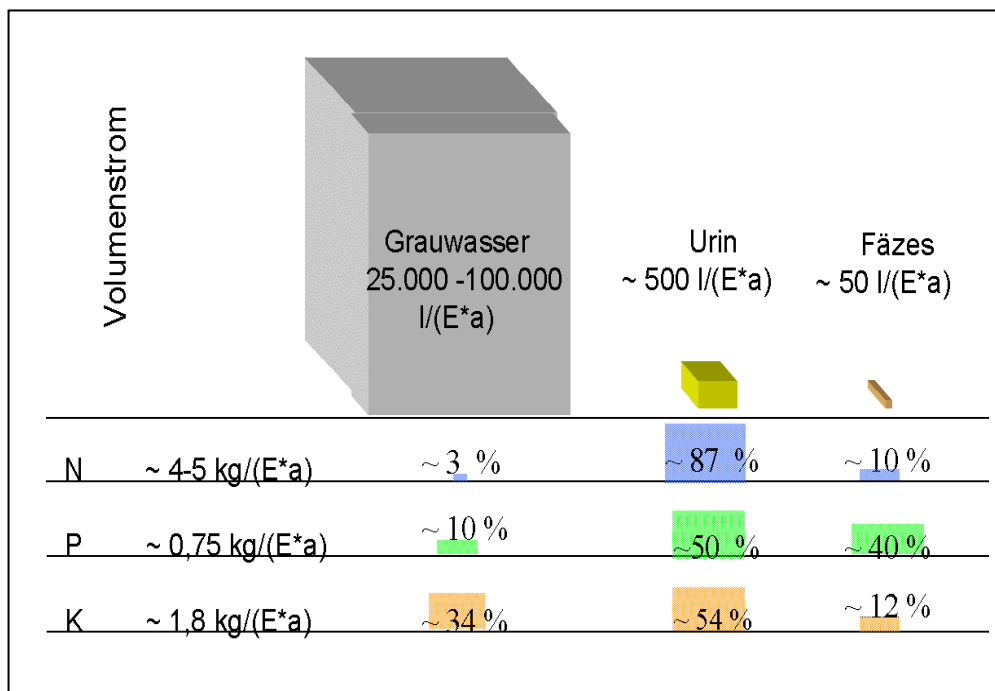


Abb. 15 Charakteristika der Teilströme von Haushaltsabwasser (E\*a = Person und Jahr), Quelle: OTTERPOHL & OLDENBURG 2002

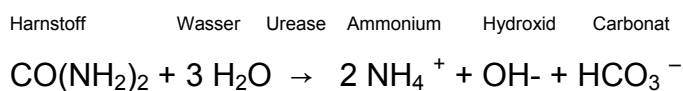
Um eine genauere Vorstellung der Inhaltsstoffe im Urin zu ermöglichen, werden die Analysen verschiedener Autoren in folgender Tabelle zusammengefasst (Tab.1).

**Tab. 1 Angaben verschiedener Autoren zu dem Anteil wichtiger Nährstoffe (N, P, K) in menschlichem Urin (g/l)**

Autor	N <sub>tot</sub>	P	K
(1) ADAMSON	4,90	0,28	1,77
(2) ESREY	11,00	1,00	2,50
(3) OTTERPOHL & OLDENBURG 2002	3,92	0,38	0,97
(4) JÖNSSON et al. 2004	7,27	0,66	
(5) MUSKOLUS 2007	4,00	0,38	2,00
(6) WOLFFERSDORF 2004	9,20	1,00	2,20
(7) MAURER et al. 2006 <sup>1)</sup>	6,24	0,48	2,59
Mittel	6,65	0,60	2,01

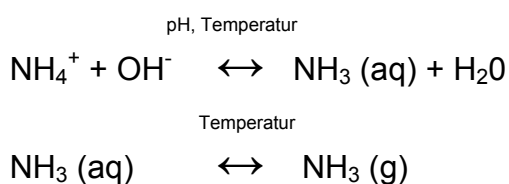
<sup>1)</sup>MAURER selbst hat die Analyse verschiedener Autoren zusammengefasst, allerdings in verschiedener Verdünnung des Urins. Seine Werte wurden auf unverdünnten Urin zurück gerechnet und zu einem Mittelwert zusammengefasst.

Der Stickstoff wird vom menschlichen Körper zu 75 – 90 % als Harnstoff ausgeschieden (LENTNER et al. 1981). In Gegenwart des Enzyms Urease wird der Harnstoff innerhalb kürzester Zeit (JÖNSSON et al. 2004 spricht von wenigen Stunden) zu Ammonium und CO<sub>2</sub> aufgespalten:



Die Hydroxid-Ionen erhöhen den pH-Wert auf 9 - 9,3.

Das Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) befindet sich im Gleichgewicht (abhängig von pH-Wert und Temperatur) mit gelöstem Ammoniak (NH<sub>3</sub> (aq)), welches wiederum im Gleichgewicht (abhängig von der Temperatur) mit gasförmigem Ammoniak (NH<sub>3</sub> (g)) liegt:



Gasförmiges Ammoniak kann sich verflüchtigen, was bei Lagerung und Ausbringung beachtet werden sollte.

Ammonium ist ein exzellenter Stickstoffdünger (in einem Großteil der handelsüblichen mineralischen Stickstoffdünger liegt der Stickstoff in Form von Ammonium oder Harnstoff vor). Die Pflanzenverfügbarkeit von Stickstoff aus Urin entspricht damit der von mineralischer Stickstoffdüngung (KIRCHMANN & PETERSSON 1995, RICHERT STINTZING et al. 2001, MUSKOLUS 2007).

Wie der Stickstoff aus Ammoniumdüngern unterliegt auch der Stickstoff aus Urin der Nitrifikation, so dass er im Boden bald als Nitrat vorliegt. Nitrat weist eine höhere Mobilität auf und kann daher besser von Pflanzenwurzeln aufgenommen werden, unterliegt jedoch auch einer erhöhten Auswaschungsgefahr.

Phosphor liegt im Urin fast vollständig (95 – 100 %) anorganisch in ionischer Form vor (LENTNER et al. 1981) und ist damit mindestens so leicht pflanzenverfügbar wie chemischer Phosphordünger (KIRCHMANN & PETERSSON 1995).

#### Ausbringung von Urin

Ausgangspunkt für die Aufwandsmenge sind lokale Empfehlungen zur Stickstoffdüngung in Abhängigkeit von dem Nährstoffbedarf der jeweiligen Kulturpflanze, dem spezifischen Ertragsniveau am Standort und dem Vorrat an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden. Im weltweiten Kontext betrachtet existieren solche Empfehlungen jedoch häufig nicht, so dass die eben genannten Parameter je nach verfügbaren Daten mehr oder weniger genau geschätzt werden müssen. Auch ist die genaue Stickstoffkonzentration im Urin nicht immer bekannt. Als Näherungswert nennt JÖNSSON 3 – 7 g je Liter. Als generelle Faustregel (wenn keine besseren Abschätzungen vorgenommen werden können) schlägt JÖNSSON vor, den Urin einer Person von einem Tag (ca. 1,5 l) auf 1 m<sup>2</sup> auszubringen (entspricht je nach Stickstoffkonzentration im Urin einer Düngemenge von 40 – 110 kg N je ha) (JÖNSSON et al. 2004).

Hinsichtlich des Ausbringungszeitpunktes, der Ausbringungshäufigkeit, der Auswaschungsgefahr und des Ammoniakverlustes sollten der Ausbringung von Urin die gleichen Überlegungen vorausgehen wie der Ausbringung von Kunst-

oder Wirtschaftsdüngern. Eine Einarbeitung in den Boden verringert die Ammoniakverluste deutlich. Für alle Pflanzen deren Produkte roh verzehrt werden empfehlen SCHÖNNING & STENSTRÖM (2004) sicherheitshalber einen Abstand von einem Monat zwischen letzter Ausbringung von Urin und Ernte des Produktes.

In Deutschland existieren noch keine gesonderten rechtlichen Regelungen für die Ausbringung von Urin und Fäkalien. Wie ROSCHKE (2005) argumentiert, können sie als originäre Bestandteile von Klärschlamm düngemittelrechtlich wie dieser eingeordnet werden. Auch international gibt es rechtliche Grauzonen, insbesondere hinsichtlich der Frage, ob Urin als Dünger in der ökologischen Landwirtschaft eingesetzt werden darf.<sup>2</sup>

### **1.5 Zusammenstellung weiterer für ECOSAN wichtiger Themenkomplexe**

Im Rahmen dieser Arbeit ist es nicht möglich, auf alle Fragestellungen hinsichtlich ECOSAN einzugehen. Einige wichtige Themenkomplexe sollen an dieser Stelle kurz erwähnt werden, es wird auf weiterführende Literatur verwiesen.

Ökonomie: Die ökonomischen Aspekte von ECOSAN-Systemen stellen ein sehr komplexes Themenfeld dar. Zu den meisten Fragestellungen liegt nur sehr spärliches Datenmaterial vor. Folgende Aspekte erschweren die meisten Betrachtungen zusätzlich:

- Frage der betrachteten Systemgrenzen
- Welche Externalitäten sollen berücksichtigt werden (viele lassen sich monetär schwer erfassen)
- Abschätzung zukünftiger Entwicklung (Wasserknappheit, Energiepreise, Düngermittelpreise)
- Kostenunterschiede in Industrie- und Entwicklungsländern

---

<sup>2</sup> So erlaubt die IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements) Urin als Dünger in ihrem Zertifizierungssystem. In der Liste der für biologische Landwirtschaft erlaubten Dünger der EU taucht Urin jedoch nicht auf. Es wäre beispielsweise im Zuge der rasanten Entwicklung des Biotextilmarktes für die Promotion von ECOSAN-Systemen sehr hilfreich, wenn Urin im Bio-Baumwollanbau Westafrikas zugelassen wäre, was bisher jedoch nicht der Fall ist.

Eine gute, kurze Zusammenfassung ökonomischer Aspekte liefern HEEB et al. (2006), insbesondere auch zu dem in der Diskussion über ECOSAN-Systeme häufig angesprochen Vergleich von konventionellen Abwassersystemen und ECOSAN (siehe dazu auch ZIMMERMANN 2006).

Durchführung und Planung: ECOSAN-Systeme erfordern immer eine aktive Partizipation der Zielgruppe. Motivation und Akzeptanz innerhalb der Zielgruppen entscheiden oftmals über Erfolg oder Misserfolg der Implementierung von ECOSAN-Systemen. Eine sorgfältige Planung und Kommunikation mit allen Stakeholdern ist daher von großer Wichtigkeit. Die GTZ hat deshalb der Planung und Durchführung von ECOSAN-Projekten ein ganzes Buch gewidmet (GTZ 2003).

Hygienisierung: Um eine für die öffentliche Gesundheit unbedenkliche Nutzung von Exkrementen und Grauwasser zu gewährleisten, hat die WHO 1973 erstmals Richtlinien herausgegeben, die 1989 überarbeitet wurden und bisher den internationalen Standard definierten. Im Zuge gestiegenen Interesses an der Verwendung von Exkrementen in der Landwirtschaft und neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen, hat die WHO 2006 eine neue Edition der Richtlinien für eine sichere Nutzung von Abwasser, Exkrementen und Grauwasser (*Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*) herausgegeben (WHO 2006).

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Maßnahmen und Erkenntnisse zur Hygienisierung von menschlichen Exkrementen bieten SCHÖNNING & STENSTRÖM (2004).

Rückstände in Exkrementen (Schwermetalle und Arzneimittelrückstände):

Die Kontamination von menschlichen Exkrementen wird oft als möglicher Hinderungsgrund einer ökologisch unbedenklichen Verwendung diskutiert. JÖNSSON et al. (2004) argumentiert, dass der Gehalt an Schwermetallen in Exkrementen meist gering und abhängig von der mit der Nahrung aufgenommenen Menge ist. Im Urin finden sich nur sehr geringe Mengen an Schwermetallen, der Großteil findet sich in den Fäkalien, aber auch hier übersteigen die Werte fast nie die von Wirtschaftsdüngern (ebd.).

Auch die Rückstände von Arzneimitteln im Urin sind abhängig von der aufgenommenen Menge. Sie werden durch Lagerung nur unvollständig abgebaut und gelangen bei einer Ausbringung in den Boden. Eine Darstellung weiterführender Untersuchungen findet sich in LONDONG (2005). In der zusammenfassenden Risikobewertung argumentiert er, dass hinsichtlich des Transport- und Rückhalterhaltens von Arzneimitteln in Böden noch viele Fragen offen sind und eine sichere Risikobewertung daher nicht endgültig möglich ist. Er bewertet das Konzept der getrennten Sammlung von Urin und die Ausbringung als Dünger aber als vorteilhaft gegenüber den konventionellen Abwasserkonzepten, da die Arzneimittel nicht in Gewässer gelangen. Auch JÖNSSON et al. (2004) greift dieses Argument auf: Er führt an, dass auch Wirtschaftsdünger Arzneimittelrückstände aufweisen, und Böden im Gegensatz zu Gewässern der natürliche Ort des Abbaus biologisch wirksamer Stoffe sind.

### **1.6 Abschließende Betrachtung**

„Ecological Sanitation“ ist ein sehr viel versprechender Ansatz, der das Problem mangelnder sanitärer Einrichtungen und knapper Düngemittel wirksam gemeinsam angeht. Das Konzept ist sicherlich zunächst für Entwicklungsländer interessant, insbesondere für solche, die in vielen Regionen keine ausreichenden sanitären Lösungen bereithalten können und für die der Zukauf von Düngemitteln kaum erschwinglich ist. Die im Vergleich zu einer Kanalisation geringeren Investitionskosten und die erzielten höheren Erträge in der Landwirtschaft helfen dann, die Zielgruppen zur Partizipation zu bewegen.

Es darf dabei jedoch nicht vergessen werden, dass das Hauptanliegen einer Verbesserung der sanitären Situation letztendlich darin liegt, gesundheitliche Risiken zu minimieren und somit zu einer besseren Lebenssituation der Menschen beizutragen. Erfolge lassen sich hier nicht immer leicht monetär messen.

Wie unter Kapitel 1.3.2 beschrieben gibt es viele Faktoren, die die Wahl eines optimalen Sanitär-Konzeptes beeinflussen. Der Ansatz von ECOSAN, ein optimales Ressourcenmanagement anzustreben (und hierzu kann neben natürlichen Ressourcen auch die Ressource „Geld“ angesehen werden), zielt dabei sicherlich in die richtige Richtung. Die genaue Ausgestaltung der Systeme

me ist hierbei allerdings noch im Entstehungsprozess. Vor allem die Implementierung in armen, dicht besiedelten urbanen Gebieten stellt eine große Herausforderung an sanitäre Konzepte. Es muss sich noch zeigen, ob der Ansatz von ECOSAN diesen gerecht werden kann.

In Industrieländern wurden bereits große Summen in Abwassersysteme (Kanalisation) investiert. Es besteht kein unmittelbarer Anreiz das Abwasserkonzept vollständig umzustellen. Langfristig könnten aber die Ersparnisse an Investitionen zur Erhaltung der Kanalisation und an Energie für die Herstellung für Düngemittel, zusammen mit der Bereitschaft einem neuen Nachhaltigkeitsgedanken zu folgen, ein alternatives Abwasserkonzept auch für solche Länder lukrativ machen.

## **2. Vorstellung und Einordnung der Versuchsfragestellung**

JÖNSSON et al. (2004) empfiehlt, den Ausbringungstermin des Urins so zu wählen, dass der darin enthaltene Stickstoff von der wachsenden Pflanze sofort genutzt werden kann, d.h. in der Regel bei einer einmaligen Applikation kurz vor der Saat, während der Saat oder kurz nach der Saat. Doch der Urin fällt über das ganze Jahr verteilt an. Soll die Ausbringung zeitnah zur Saat erfolgen, stellt dies eine große Herausforderung an die Kapazität zur Aufbewahrung des Urins dar. In Regionen, in denen zwischen der Vegetationszeit eine Trockenzeit liegt, wie in der Sahelzone der Fall, könnte die Speicherung der Nährstoffe aus dem Urin im Boden eine interessante Alternative darstellen. Ein weiterer Vorteil der Ausbringung von Urin während der Trockenzeit wäre das Ausgleichen von Arbeitsspitzen. JÖNSSON (ebd.) betont, dass aber noch kaum Erkenntnisse darüber vorliegen, welche Verluste an Stickstoff bei der Ausbringung bereits in der Trockenzeit in Kauf zu nehmen sind.

### **Versuchsziel**

Ziel des im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuches war es, Erkenntnisse hinsichtlich der eben beschriebenen Fragestellung zu gewinnen. Es sollte untersucht werden, wie sich der Stickstoffvorrat im Boden nach der Ausbringung des Urins verhält und wie sich die Ausbringung des Urins auf den Ertrag im Baumwollanbau auswirkt. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob Rohphosphat und Stallmist die Speicherung des Stickstoffs im Boden und seine Düngewirkung positiv beeinflussen.

Es wurde die Versuchshypothese aufgestellt, dass die Speicherung des Stickstoffs im Urin während der Trockenzeit durch eine temporäre biologische Immobilisierung durch Mikroorganismen begünstigt wird. Zwar muss in der Trockenzeit von einer verminderten mikrobiellen Aktivität ausgegangen werden, sie kommt aber nicht vollständig zum Erliegen (WICK 1997, AUGUSTINE & McNAUGHTON 2004, SHAHANDEH et al. 2004). Es wurde angenommen, dass die Zufuhr organischer Substanz mikrobielles Wachstum fördert und es bei einem weiten C/N-Verhältnis (>20) zu einer temporären Immobilisierung von Stickstoff kommt (vgl. TREHAN & WILD 1993, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, SØRENSEN 2004). BABANA & ANTOUN (2005)

beschreiben für Böden Malis das Vorkommen von Mikroorganismen, die Rohphosphat aus Tilemsi aufspalten und in ihre Biomasse aufnehmen können. Daraus wurde die Annahme abgeleitet, dass durch die Beigabe von Rohphosphat das Wachstum und damit die Stickstoffaufnahme dieser Mikroorganismen angeregt wird. Außerdem könnte die Bereitstellung von Phosphor (leicht verfügbare Fraktion des Rohphosphates und von den phosphorlösenden Mikroorganismen freigesetztes Phosphor) das Wachstum anderer Mikroorganismen fördern, für die die Phosphorverfügbarkeit im Boden als limitierender Faktor wirkt (ILSTEDT & SINGH 2004).

### **3. Material und Methoden**

#### **3.1 Vorstellung der durchführenden Organisationen**

Der Versuch wurde im Auftrag des CREPA (*Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût* – regionales Zentrum für Trinkwasser und Abwasserreinigung zu niedrigen Kosten) in Kooperation mit dem IPR/IFRA in Mali durchgeführt.

##### Das CREPA

Das CREPA ist eine interstaatliche Organisation von 17 Staaten des frankophonen Afrikas (Benin, Burkina Faso, Burundi, Kamerun, Zentralafrika, Kongo, Côte d'Ivoire, Gabun, Guinea Bissau, Guinea, Mali, Mauretanien, Niger, Ruanda, Senegal, Tschad und Togo). Das Hauptquartier befindet sich in Ouagadougou, der Hauptstadt Burkina Fasos. In dreizehn der beteiligten Länder befinden sich nationale Zweigstellen. Die Organisation erhält finanzielle Unterstützung von Schweden und der Schweiz.

Die Arbeitsschwerpunkte des CREPA liegen in der Bereitstellung von Trinkwasser, in der Promotion von Hygiene und im Abwassermanagement, so wohl im ruralen als auch im periurbanen und urbanen Bereich.

Zu ihren Aufgaben zählt das CREPA Beratung und Fortbildung sämtlicher Akteure (Regierung, lokale Kooperationen, private Unternehmen) in den Zielsektoren, dazu zählen ebenfalls Bildung und Aufklärung der Bevölkerung.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf den Ansätzen der Handlungs- und angewandten Forschung, um neue oder verbesserte Lösungsansätze für die Probleme in den Zielsektoren zu erzielen.

##### Das IPR/IFRA in Katibougou, Mali

In Ouagadougou wird derzeit wenig zu den landwirtschaftlichen Aspekten von ECOSAN gearbeitet. Die CREPA hatte schon einige Projekte in Zusammenarbeit mit dem IPR/IFRA (*Institute Polytechnique Rural de formation et de Recherche Appliquée*) in Mali hinsichtlich landwirtschaftlicher Fragestellungen verwirklicht, so dass der Versuch dort durchgeführt wurde.

Die Geschichte des IPRs geht bis auf das Jahr 1897 zurück, als es als landwirtschaftliche Versuchsstation gegründet wurde. Mit Unterstützung der UNESCO wurde das Institut 1995 in ein Institut für Ausbildung und angewandte Forschung transformiert, um eine nachhaltige ländliche Entwicklung der Sahelzone zu fördern. Seitdem bildet das IPR/IFRA Ingenieure in verschiedenen Spezialisierungen der Agrarwissenschaften aus und leistet selbst aktive Forschungsarbeit.

### **3.2 Geographie und Klima am Versuchsstandort**

Das Institut befindet sich in der nord-sudanesischen Klimazone, die durch jährlichen Niederschlag von 700 mm – 1300 mm, einer Regenzeit von 4 – 6 Monaten, dem Vegetationstyp Savanne und der ökologischen Einordnung als „tropischer-trockener Wald“ (nach FAO-Ökozonen) charakterisiert ist. Eine genaue Beschreibung der Geographie und Geologie Malis, inklusive einer Beschreibung der nord-sudanesischen Klimazone findet sich auf der Internetseite des Präsidiums von Mali (MALI 2008).

Das IPR/IFRA liegt in Katibougu, etwa 70 km von Malis Hauptstadt Bamako entfernt. Die nächste größere Stadt, Koulikoro, liegt 3,5 km entfernt. Die genauen geographischen Koordinaten sind: 12°56“ nördliche Breite, 7°32“ westliche Länge. Die Versuchsflächen erstrecken sich über 380 ha entlang des nord-westlichen Ufers des Nigers. Das Institut liegt 326 m über N.N.

Das Klima ist gekennzeichnet durch eine Trockenzeit von Oktober bis Ende Mai und einer Regenzeit von Juni bis Anfang Oktober, mit den stärksten Niederschlägen im August. Die jährliche Niederschlagsmenge liegt zwischen 700 und 900 mm, im Durchschnitt bei 743 mm, im Jahr 2006 lag die Niederschlagsmenge bei 764 mm.

#### **Böden**

Es wurde kein Bodenprofil vor Ort erstellt. Die französische Klassifikation der Böden vor Ort lautet wie folgt: *sols ferrugineux tropicaux rubéfiés*, *sols ferrugineux tropicaux jaunes*, *sols hydromorphes à amphigley* und *sols ferrugineux à hydromorphie profonde*. Ohne genaue Kenntnis der Bodeneigenschaften ist es

nicht möglich, diese in die aktuelle FAO-Klassifikation zu übersetzen. In Frage kämen Bödenklassifikationen aus dem Set 6, "*Mineral Soils conditioned by a Wet (Sub)Tropical Climate*", beispielsweise Lixisole (vgl. FAO 2001).

Es wurde eine Bodentexturanalyse (Boden bis 30 cm Tiefe) für jede Parzelle des Versuchsfeldes durchgeführt: die Tongehalte schwanken zwischen 7 und 12 % (Mittel 9,3 %), die Schluffgehalte (Ausreißer nicht berücksichtigt) zwischen 35 und 45 % (Mittel 37,3 %), und die Sandgehalte zwischen 43 und 68 % (Mittel 53,3 %). Die Bodenart ist nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) ein mittellehmiger Sand (Sl3) bis hin zu schluffig-lehmigem Sand (Slu).

### **3.3 Versuchsaufbau**

Der Versuch wurde als drei-faktorieller Versuch durchgeführt, mit dem Ziel auch Wechselwirkungen der einzelnen Komponenten untersuchen zu können. Den ersten Faktor stellte die Ausbringung des Urins dar: keine Ausbringung, oberflächliche Ausbringung, Ausbringung mit Einarbeitung in den Boden. Als zweiter Faktor wurde die Kombination mit Stallmist gewählt: Ausbringung von Stallmist, keine Ausbringung von Stallmist. Dritter Faktor war die Zugabe von Rohphosphat: mit Ausbringung von Rohphosphat, ohne Ausbringung von Rohphosphat. Die Kombination aller Faktoren ergibt 12 Varianten, wie sie in Tabelle 2 dargestellt werden.

Jede Variante wurde jeweils in vier Wiederholungen ausgebracht. Somit ergibt sich ein Versuch mit 48 Parzellen, die in einer randomisierten Blockanlage angelegt waren (Abbildung der Versuchsanlage im Anhang, Abb.A1).

Die Parzellen hatten jeweils die Ausmaße von 3,20 m x 4,50 m = 14,4 m<sup>2</sup>. Zwischen den Parzellen betrug der Abstand 1,00 m, der Abstand zwischen den Blöcken betrug 1,50 m.

**Tab. 2 Darstellung der Varianten des Versuchs**

Variante	Ausbringung von	Abkürzung
I	Keine Ausbringung	k.A.
II	Urin, oberflächlich	Uo
III	Urin, eingearbeitet (tief)	Ut
IV	Rohphosphat	P
V	Stallmist (organische Substanz)	OS
VI	Urin, oberflächlich + Rohphosphat	Uo + P
VII	Urin, oberflächlich + Stallmist	Uo + OS
VIII	Stallmist + Rohphosphat	OS + P
IX	Urin, oberflächlich + Stallmist + Rohphosphat	Uo + OS + P
X	Urin, eingearbeitet + Rohphosphat	Ut + P
XI	Urin, tief + Stallmist	Ut + OS
XII	Urin, eingearbeitet + Stallmist + Rohphosphat	Ut + OS + P

### Charakterisierung der ausgebrachten Substanzen

Der Urin wurde aus einem ECOSAN-Pilotprojekt in dem Ort Fana, ca. 80 km entfernt von dem Versuchsstandort, gesammelt. Eine Laboranalyse des Urins lag leider bis zuletzt nicht vor, daher musste mit Näherungswerten gearbeitet werden. Aus vorherigen Versuchen abgeleitet (DÉMBÉLÉ 2007) wurde ein ungefährender Stickstoffgehalt des Urins von 3,5 g je Liter angenommen. Dieser liegt am unteren Ende der von JÖNSSON (2004) genannten Spanne von 3-7 g N je Liter.

Der Stallmist stammte von Rindern von ortsansässigen Bauern. Da die Tiere während der Trockenzeit sehr rohfaserhaltiges Futter aufnehmen, wies er einen hohen Strohanteil auf. Er lag in getrockneter Form vor.

Das Rohphosphat stammt aus den Minen in Tilemsi in Mali. Es handelt sich dabei um ein Carbonat-Apatit-Gestein, das in pulvriger Form vorliegt. Der Anteil an  $P_2O_5$  liegt bei durchschnittlich 29 % (TROUNG 1993). Die genaue mineralische Zusammensetzung beschreibt Tabelle 3.

**Tab. 3 Mineralogische Zusammensetzung des Rohphosphates aus Tilemsi (in % des Ausgangsgesteins), Quelle: TROUNG 1993**

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	29
CaO	42,5
MnO	1,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2
Fe <sup>2+</sup> O <sub>3</sub>	6,3
SiO <sub>2</sub>	7,9
S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3
andere	9,8

TROUNG hat die Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit von Rohphosphat aus Tilemsi mit der von Triplesuperphosphat verglichen, die Ergebnisse zeigt Tabelle 4.

**Tab. 4 Vergleich der Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit von Rohphosphat aus Tilemsi mit Triplesuperphosphat (in % vom Ausgangsmaterial), Quelle: TROUNG 1993**

Phosphat	Gehalt an P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> wasserlöslich	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> löslich in neutralem Ammonium-citrat	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Pflanzenverfügbar	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> pflanzenverfügbar v. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total
Rohphosphat aus Tilemsi	27,6	>1	4,2	4,2	15,2
Triplesuperphosphat	46,0	38,3	6,7	45,0	97,8

### **3.4 Versuchsdurchführung**

Der Versuch wurde am 07.05.2007 installiert. Das Versuchsfeld wurde vorher mit einer Scheibenegge bearbeitet und von Hand eingeebnet. Um bei Regen ein Übertreten von oberflächlichem Bodenmaterial von einer Parzelle zur anderen zu vermeiden wurde jede Parzelle mit einem kleinen aus Erde aufgeschütteten Damm umrahmt.

Die Versuchsmaterialien wurden in der Reihenfolge Rohphosphat, Stallmist, Urin ausgebracht. Die Ausbringung der Substanzen erfolgte auf den späteren Saatreihen. Pro Parzelle wurden vier Saatreihen im Abstand von 0,80 m angelegt. In den Varianten, in denen Urin ausgebracht wurde, wurden 25 l je

Parzelle ausgebracht. Das entspricht 17361 l/ha. Bei einem geschätzten Gehalt von 3,5 g N je Liter entspricht die ausgebrachte Menge 60,8 kg N/ha. In den Varianten, in denen eine Einarbeitung des Urins vorgesehen war, wurden 15 cm tiefe Furchen gezogen, in die der Urin (und ggf. die Kombinationsmaterialien) ausgebracht wurde, und die sofort nach der Ausbringung geschlossen wurden. Von dem Rohphosphat wurden 432 g je Parzelle ausgebracht. Das entspricht einer Düngemenge von 300 kg Rohphosphat je ha; davon waren 3,5 kg/ha direkt pflanzenverfügbar (P Gehalt von 29% entspricht einer Gesamtmenge von 87 kg P/ha, davon 4,2 % pflanzenverfügbar). Es wurden 12 kg Stallmist je Parzelle ausgebracht, das entspricht einer Menge von 8,33 t/ha.

Es wurden drei Mal Bodenproben entnommen: vor der Ausbringung der Versuchsmaterialien, 15 Tage nach der Ausbringung der Versuchsmaterialien, und 30 Tage nach der Ausbringung der Versuchsmaterialien. Es wurde jeweils eine Probe pro Saatreihe entnommen, von 0 bis 30 cm Tiefe. Die vier Proben pro Parzelle wurden zu einer Mischprobe zusammengefasst. Die Bodenproben wurden im Labor des Instituts für Ökonomie im ländlichen Raum in Bamako analysiert. Es wurden pH-Wert, Gehalt an organischer Substanz ( $C_{org}$ -Gehalt) und an Stickstoff ( $N_{tot}$ , nach Kjeldahl) erfasst.

Die Baumwolle wurde Anfang Juli gepflanzt und Ende Oktober (bereits nach Ablauf des Praktikums) geerntet.

### **3.5 Statistische Auswertung**

Die Versuchsauswertung der Ernteergebnisse wurde in Form einer Varianzanalyse nach Vorlage von SCHUSTER & LOCHOW (1979) vorgenommen. SCHUSTER & LOCHOW schlagen für die Auswertung vor, zunächst mittels F-Test zu prüfen, welche der getesteten Faktoren und Faktorenkombinationen einen signifikanten Einfluss auf die Ertragsergebnisse haben. Um leichter erkennen zu können, zwischen welchen Mittelwerten signifikante Unterschiede bestehen, wird eine Auflistung von Grenzdifferenzen vorgenommen. Die Differenz zwischen zwei Mittelwerten muss größer als die zugeordnete Grenzdifferenz sein, um als signifikant (bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%) eingestuft zu werden. Anschließend werden Mittelwerte der einzelnen Be-

handlungen über die verschiedenen Kombinationen betrachtet. Dafür werden alle Kombinationen, die die entsprechende Behandlung aufweisen, zu einem Mittelwert zusammengefasst (z.B. Urin oberflächlich: Mittelwert aus U<sub>0</sub>, U<sub>0</sub>+OS, U<sub>0</sub>+P, U<sub>0</sub>+P+OS).

Für die Signifikanztests der zeitlich aufeinander folgenden Messungen der Bodenparameter (N<sub>tot</sub>, C<sub>org</sub>, pH) wurde ein t-Test für gepaarte Stichproben mit dem Statistikprogramm SPSS durchgeführt.

## **4. Ergebnisse**

### Ertrag

Es sollen zunächst die Ertragsergebnisse dargestellt werden, da ihnen bei diesem Versuch die höchste Aussagefähigkeit zukommt. Festgestellt wurde der Ertrag der Baumwollernte, und zwar Kapseln und Fasern zusammen.

Die mittleren Erträge der einzelnen Varianten zeigt Tabelle 5.

**Tab.5 Ernteertrag (kg/ha) von Baumwolle (Samen und Fasern) der einzelnen Versuchsvarianten, Mittelwerte der 4 Wdh.**

Variante	Ertrag (kg/ha)
k.A.	1189
Uo	1647
Ut	1845
P	1326
OS	1644
Uo + P	1860
Uo + OS	1813
OS + P	1896
Uo + OS + P	1844
Ut + P	2295
Ut + OS	2169
Ut + OS + P	1925

Die Ernteergebnisse liegen normalverteilt vor (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest).

Das Ergebnis der Signifikanztests für die Wirkung der einzelnen Faktoren, sowie die errechneten Grenzdifferenzen für den Vergleich von Mittelwerten der Ertragsergebnisse nach SCHUSTER & LOCHOW (1979), zeigt die folgende Tabelle (Tab. 6).

**Tab.6 Signifikanztest für die Wirkung der einzelnen Faktoren auf den Ertrag und errechnete Grenzdifferenzen für signifikante ( $\alpha=5\%$ ) Ertragsunterschiede (kg/ha)**

	F-Test	Grenzdifferenz (kg/ha)
Wirkung Urin	10,20*	243
Wirkung OS	3,65	198
Wirkung P	2,01	198
Wechselwirkung Urin/OS	2,79	343
Wechselwirkung Urin/P	0,08	343
Wechselwirkung OS/P	1,65	280
Wechselwirkung Urin/OS/P	1,44	485

\* = statistisch gesichert bei P=5%

Der F-Test zeigt eine statistisch gesicherte Wirkung der Urinapplikationen auf den Ertrag. Wechselwirkungen mit den Kombinationen lassen sich nicht als signifikant nachweisen.

Die Mittelwerte der Varianten mit unterschiedlicher Urinapplikation zeigt Tab. 7.

**Tab. 7 Mittelwerte des Ertrags (kg/ha) der Varianten mit unterschiedlicher Urinapplikation**

	ohne Urin	Urin oberflächlich	Urin tief
Mittel der Varianten	1514	1791	2059

Die Differenz zwischen den Varianten ohne Urinapplikation und denen mit oberflächlicher Ausbringung von Urin beträgt 277 kg/ha. Die errechnete Grenzdifferenz für die Wirkung von Urin ist 243 kg/ha. Da  $277 > 243$ , ist der Ertrag mit oberflächlicher Ausbringung von Urin signifikant höher als ohne Ausbringung (Irrtumswahrscheinlichkeit 5%). Zwischen den Varianten mit Einarbeitung des Urins und denen mit oberflächlicher Ausbringung, besteht ebenfalls eine signifikante Differenz ( $268 > 243$ ). Die Einarbeitung des Urins bringt also nicht nur gegenüber den Varianten ohne Ausbringung von Urin, sondern auch gegenüber den Varianten mit oberflächlicher Ausbringung, einen statistisch gesicherten Mehrertrag.

Die Mittelwerte der Varianten mit Rohphosphatbeigabe zeigt Tabelle 8. Hier wurde auch noch nach den verschiedenen Behandlungen mit Urin unterschieden.

**Tab.8 Mittelwerte des Ertrags (kg/ha) der Varianten mit unterschiedlicher Rohphosphorbeigabe (P)**

Mittel der Varianten	ohne P	mit P
ohne Urin	1417	1611
Urin oberflächlich	1730	1852
Urin tief	2007	2110
Mittel	1718	1858

Es zeigt sich, dass die Erträge der Varianten mit Rohphosphatbeigabe in den Varianten mit Urinausbringung jeweils etwas höher ausfallen als in den Varianten ohne Urinausbringung. Die Differenzen sind aber nicht signifikant (Grenzdifferenz Wechselwirkung Urin/Phosphor = 343 kg/ha). Im Mittel über die verschiedenen Formen der Urinapplikation ergibt sich ein Mehrertrag von 140 kg/ha, welcher jedoch ebenfalls nicht signifikant ist (Grenzdifferenz Wirkung Phosphor 198 kg/ha).

Die Mittelwerte der Varianten mit Beigabe von organischer Substanz zeigt Tabelle 9.

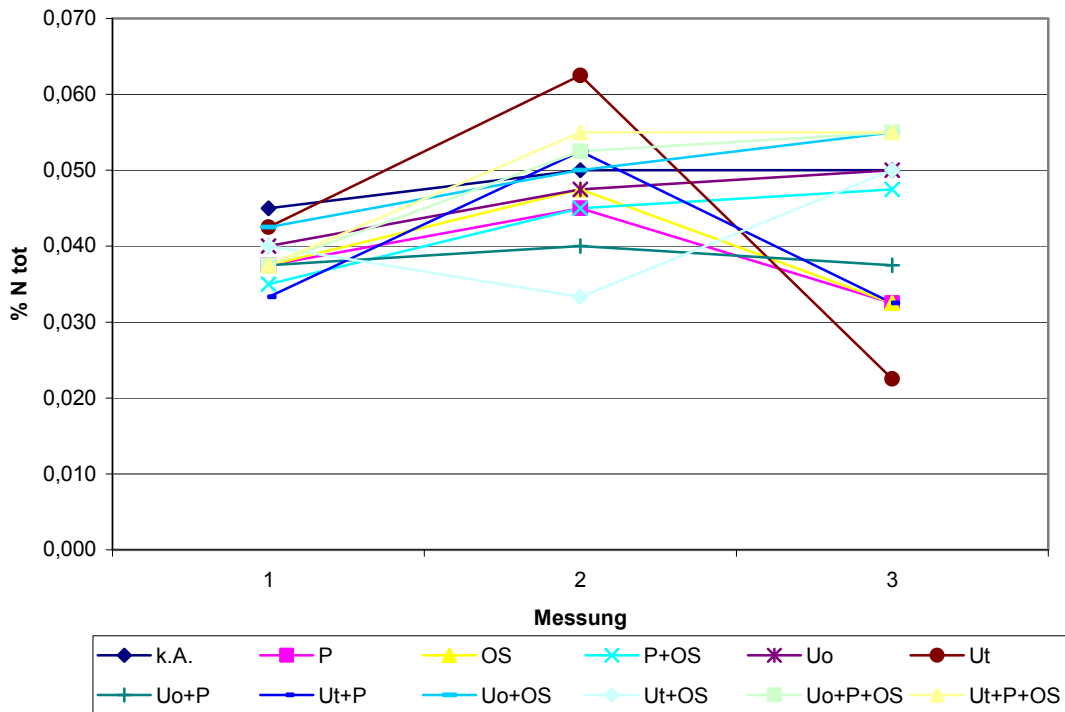
**Tab.9 Mittelwerte des Ertrags (kg/ha) der Varianten mit unterschiedlicher Beigabe von organischer Substanz (Stallmist)**

Mittel der Varianten	ohne org. Substanz	mit org. Substanz
ohne Urin	1258	1770
Urin oberflächlich	1754	1828
Urin tief	2070	2047
Mittel	1694	1882

Im Mittel über die verschiedenen Formen der Urinapplikation wurde innerhalb des Versuchs durch die Beigabe von organischer Substanz ein Mehrertrag erzielt (188 kg/ha), der jedoch statistisch nicht gesichert ist (Grenzdifferenz Wirkung OS=198kg). Nur bei Varianten, in denen nicht mit Urin gedüngt wurde, ist der Mehrertrag (512 kg/ha) durch die Beigabe organischer Substanz statistisch gesichert (Grenzdifferenz Wechselwirkung Urin/OS 343 kg/ha).

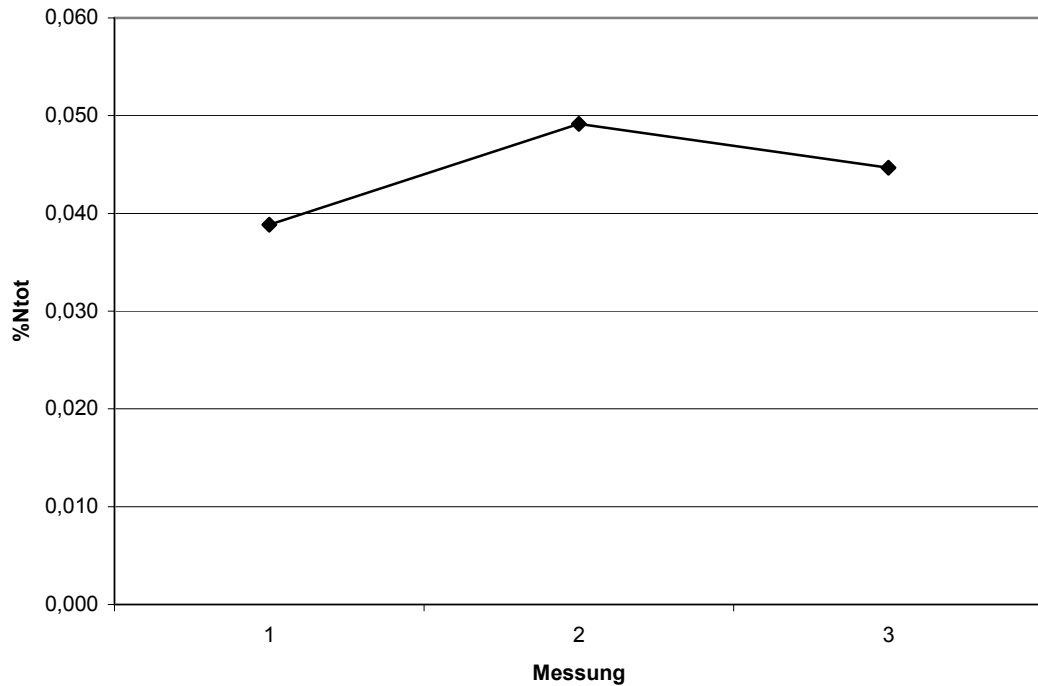
## Bodenproben

Zunächst werden die Ergebnisse der Untersuchungen des  $N_{\text{tot}}$ -Gehaltes dargestellt.



**Abb. 16 Entwicklung des N-Anteils ( $N_{\text{tot}}$ %) im Boden in den Einzelnen Varianten (1= vor Ausbringung der Versuchssubstanzen, 2= 15 Tage nach der Ausbringung, 3= 30 Tage nach der Ausbringung)**

Die Messergebnisse der Varianten mit Urindüngung variieren stark, es wurde daher darauf verzichtet Vergleiche zwischen den Varianten durchzuführen. Es soll im Folgenden der Mittelwert der Varianten betrachtet werden, bei denen eine Ausbringung von Urin vorgenommen wurde.



**Abb.17 Entwicklung des N-Gehaltes ( $N_{\text{tot}}\%$ ) im Boden im Mittel über alle Varianten mit Urinapplikation (1= vor Ausbringung der Versuchssubstanzen, 2= 15 Tage nach der Ausbringung, 3= 30 Tage nach der Ausbringung)**

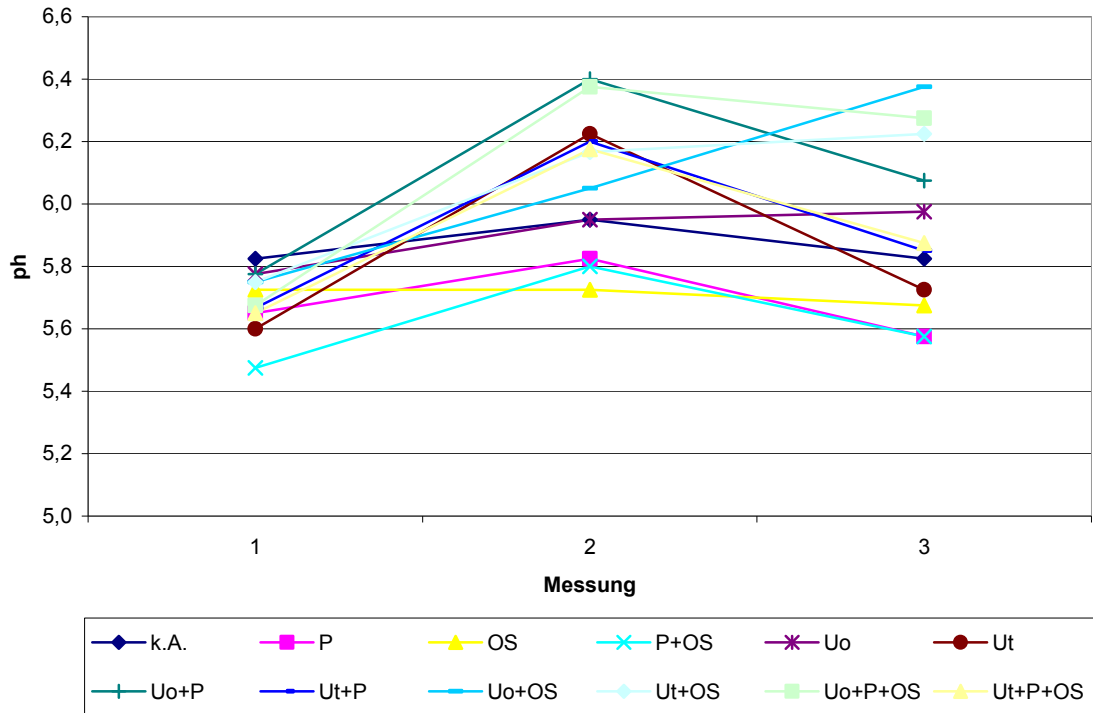
Ein Vergleich der Mittelwerte aller Varianten mit Urinapplikation zeigt Tabelle 10.

**Tab.10 Mittelwerte des Stickstoffgehaltes ( $N_{\text{tot}}\%$ ) im Boden aller Varianten mit Urinapplikation, unterschiedliche Buchstaben (hochgestellt) zeigen signifikanten Unterschied (Irrtumswahrscheinlichkeit 5%)**

Messung	N-Gehalt im Boden ( $N_{\text{tot}}\%$ )
1. Messung	0,0389 <sup>a</sup>
2. Messung	0,0492 <sup>b</sup>
3. Messung	0,0447 <sup>b</sup>

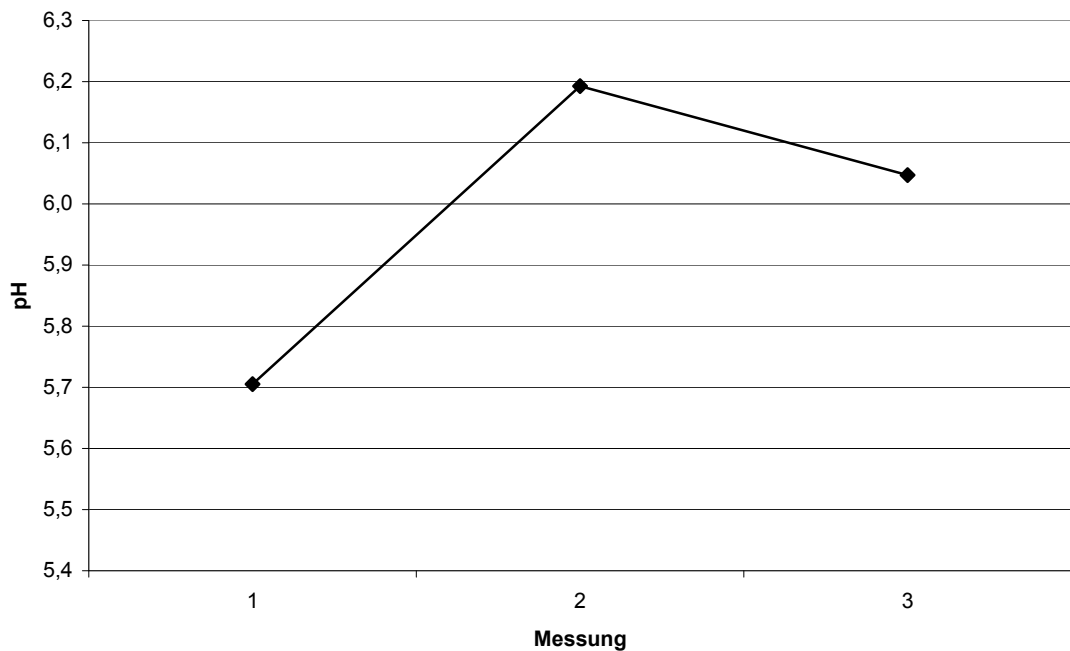
Zwischen der 1. und 2. Messung und der 1. und 3. Messung besteht ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte. Zwischen der 2. und 3. Messung besteht kein signifikanter Unterschied.

Die Ergebnisse der Messungen des pH-Wertes zeigt die folgende Graphik:



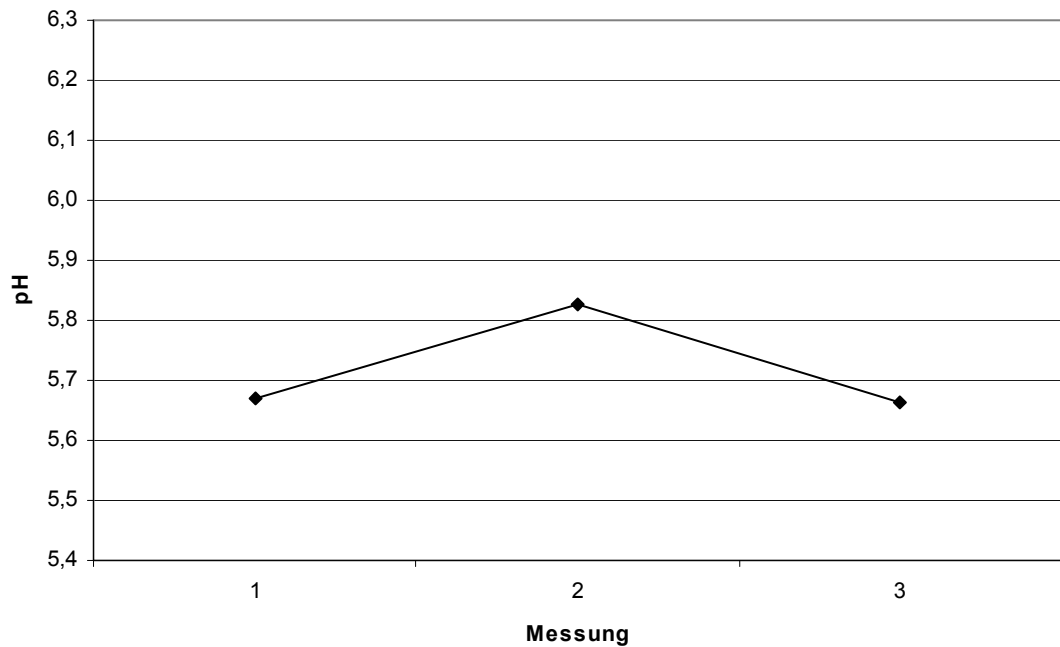
**Abb.18 Entwicklung des pH-Wertes des Bodens in den einzelnen Varianten (1= vor Ausbringung der Versuchssubstanzen, 2= 15 Tage nach der Ausbringung, 3= 30 Tage nach der Ausbringung)**

Die folgenden Graphiken ermöglichen einen Vergleich des pH Wertes als Mittelwert über alle Varianten in denen Urin ausgebracht wurde und denen, auf denen kein Urin ausgebracht wurde.



**Abb. 19 Entwicklung des pH-Wertes im Boden im Mittel über alle Varianten mit Urinapplikation (1= vor Ausbringung der Versuchssubstanzen, 2= 15 Tage nach der Ausbringung, 3= 30 Tage nach der Ausbringung)**

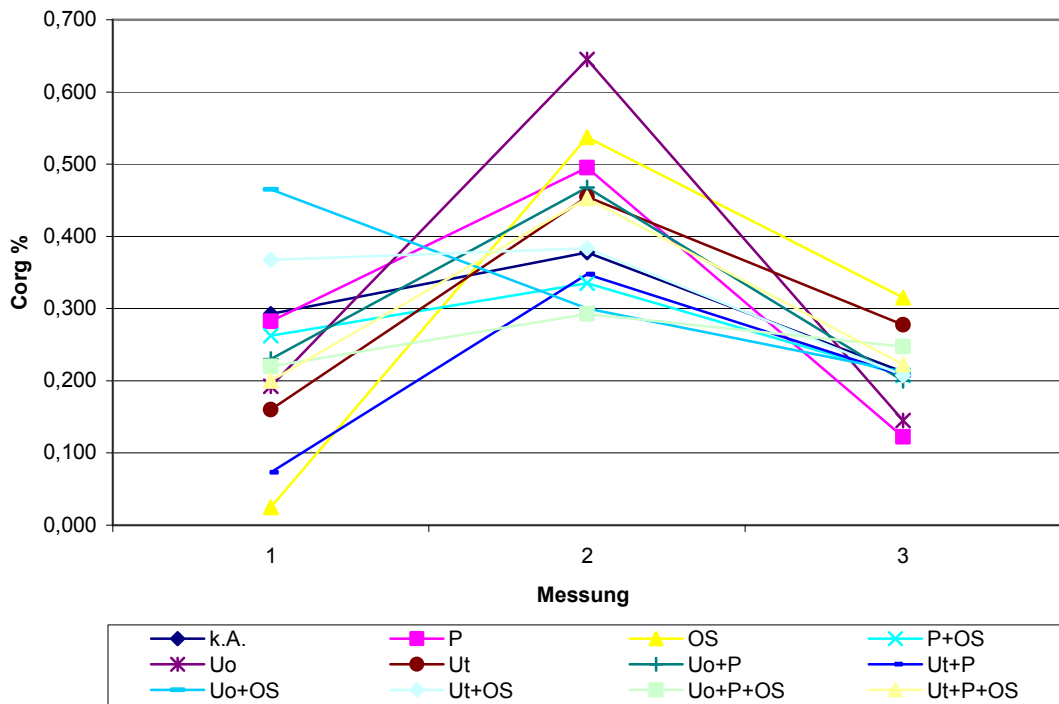
Wie bei der Messung des Stickstoffgehaltes ist der pH-Wert der 1. Messung signifikant von dem der 2. und 3. Messung verschieden, die Werte der 2. und 3. Messung unterscheiden sich dagegen nicht signifikant.



**Abb. 20 Entwicklung des pH-Wertes im Boden im Mittel über alle Varianten ohne Urinapplikation (1= vor Ausbringung der Versuchssubstanzen, 2= 15 Tage nach der Ausbringung, 3= 30 Tage nach der Ausbringung)**

In den Varianten ohne Urinapplikation verändert sich der pH-Wert deutlich weniger. Die Veränderungen sind nicht signifikant.

Der Vollständigkeit halber sollen hier auch die Ergebnisse der Messungen des Gehaltes der organischen Substanz aufgeführt werden, auch wenn eine sinnvolle Interpretation kaum möglich ist. Es wird daher auch nur eine graphische Darstellung vorgenommen und auf eine statistische Auswertung verzichtet.

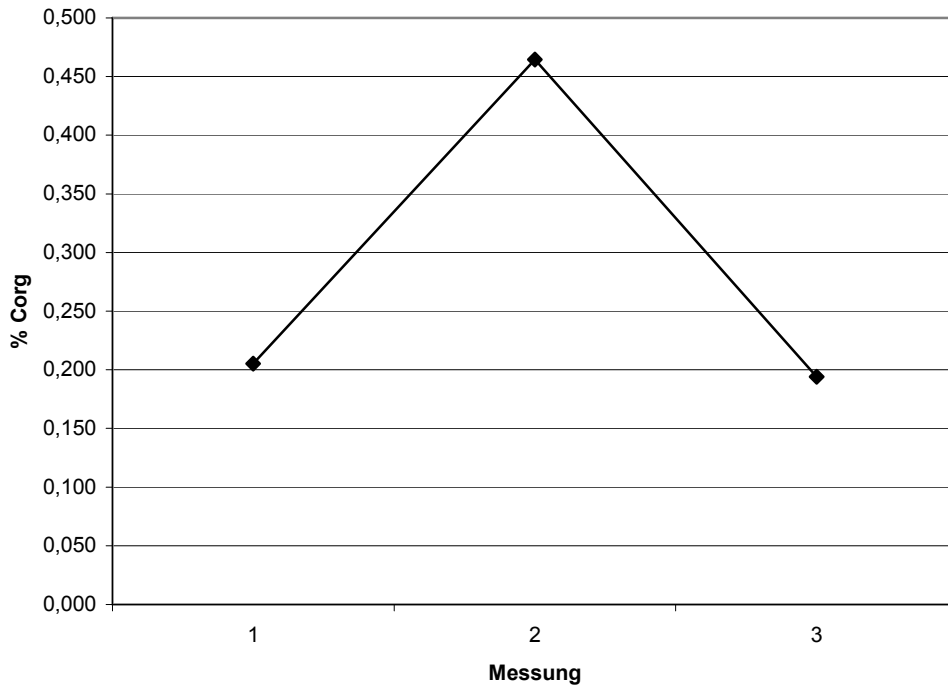


**Abb.21 Entwicklung des Gehaltes an organischer Substanz (%C<sub>org</sub>) des Bodens in den einzelnen Varianten (1= vor Ausbringung der Versuchssubstanzen, 2= 15 Tage nach der Ausbringung, 3= 30 Tage nach der Ausbringung)**

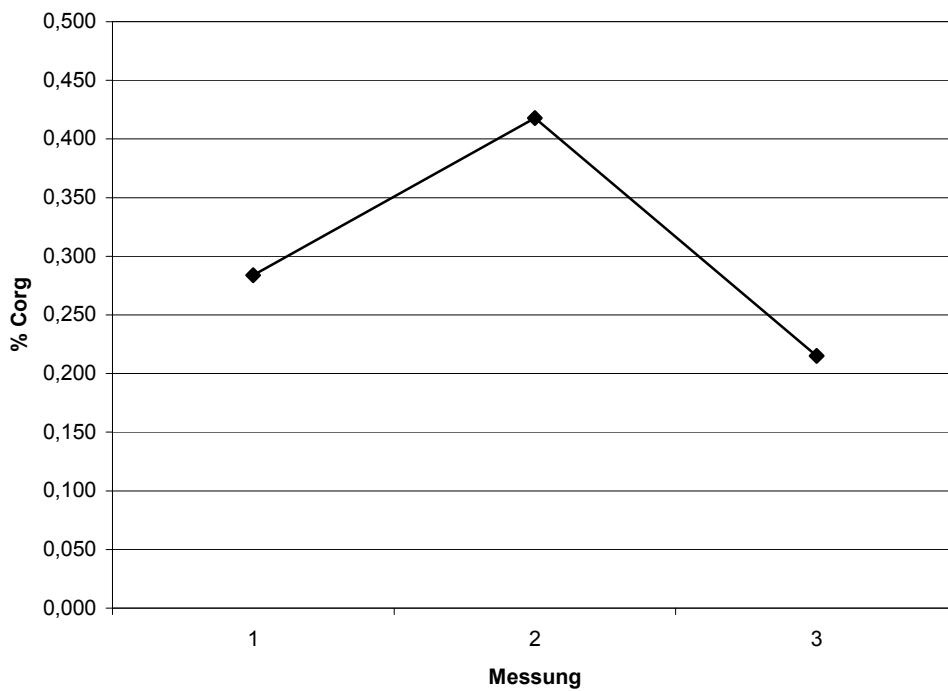
Die Messwerte zeigen eine Verdoppelung des Gehaltes an organischer Bodensubstanz in den Varianten, in denen keine organische Substanz ausgebracht wurde (Abb. 22). Der Anstieg ist auch höher als in den Varianten mit Ausbringung von organischer Substanz (Abb.23). Die Messwerte unterliegen großen Schwankungen, und die Differenzen variieren sogar noch stärker, wie die folgende Tabelle (Tab.11) der Variationskoeffizienten zeigt:

**Tab. 11 Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Messwerte des Gehaltes an organischer Substanz in den Böden, alle Varianten**

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Differenz v. 1. und 2. Messung	Differenz v. 2. und 3. Messung
Mittelwert (%C <sub>org</sub> )	0,23	0,42	0,21	+ 0,19	- 0,21
Variationskoeffizient	88,26%	49,92%	42,05%	165,53%	108,14%



**Abb. 22** Entwicklung des Gehaltes an organischer Substanz (%C<sub>org</sub>) des Bodens im Mittel über alle Varianten ohne Ausbringung organischer Substanz (1= vor Ausbringung der Versuchssubstanzen, 2= 15 Tage nach der Ausbringung, 3= 30 Tage nach der Ausbringung)



**Abb. 23** Entwicklung des Gehaltes an organischer Substanz (%C<sub>org</sub>) des Bodens im Mittel über alle Varianten mit Ausbringung organischer Substanz (1= vor Ausbringung der Versuchssubstanzen, 2= 15 Tage nach der Ausbringung, 3= 30 Tage nach der Ausbringung)

## **5. Diskussion**

Die Ertragsdaten belegen die Düngewirkung von Urin. Auch wenn anhand der Daten nicht abgeleitet werden kann, wie hoch die Stickstoffverluste durch eine Ausbringung bereits in der Trockenzeit sind, so kann doch mit Sicherheit gesagt werden, dass eine Urindüngung auch bei Ausbringung vor der Vegetationsperiode den Ertrag deutlich steigert. Das gilt selbst bei einer Ausbringung ohne Einarbeitung in den Boden. Da nach der Lagerung der Stickstoff im Urin in Form von Ammoniak im Gleichgewicht mit gelöstem Ammonium vorliegt, welches wiederum im Gleichgewicht mit gasförmigen Ammonium steht (siehe 1.4), ist wie bei Wirtschaftsdüngern bei oberflächlicher Applikation von hohen Ammoniakverlusten unmittelbar nach der Ausbringung auszugehen. Durch die Einarbeitung lassen sich diese verringern, so dass die ertragssteigernde Wirkung des Urins besser ausgenutzt werden kann (vgl. RICHERT STINTZING et al. 2001).

Es liegt nahe den Düngungseffekt des Urins auf den Stickstoff zurückzuführen, auch wenn Urin ebenfalls Phosphor und Kalium beinhaltet. Leider lagen keine Hinweise über die Versorgungsstufen bzw. Nährstoffgehalte des Bodens vor. Geht man von einem N/P-Verhältnis im Urin von  $\sim 8,7:1$  und einem N/K-Verhältnis von  $\sim 2,3:1$  aus<sup>3</sup>, wird deutlich, dass Stickstoff in der Ausbringungsmenge klar überwiegt. Als weiterer Hinweis kann gewertet werden, dass die Rohphosphatdüngung keine signifikante Ertragssteigerung ergab. Allerdings beschreibt TROUNG (1993) geringe sofortige Düng-Effekte von Rohphosphat aus Tilemsi bei geringer Bodenazidität und wenig Bodenfeuchte bzw. Niederschlag.

Im Hinblick auf die Versuchshypothese lassen sich anhand der vorliegenden Ergebnisse keine Aussagen zu der temporären biologischen Immobilisierung des Stickstoffs aus dem Urin machen. Zunächst ist es fraglich, welche Stickstoffverluste während der Trockenzeit überhaupt zu erwarten wären. SOMDA et al. (1997) untersuchten Veränderungen der Konzentration von mineralischem Stickstoff im Boden nach punktueller Ausbringung von Schafs- oder Rinderurin

---

<sup>3</sup> Der im Versuch verwendete Urin wurde nicht auf P- und K-Gehalt untersucht. Die angegebenen Verhältnisse sind ein Mittelwert aus verschiedenen Angaben in der Literatur (MUSKOLUS 2007, JÖNSSON et al. 2004, GTZ 2004)

während der Trockenzeit. Sie stellten dabei während der Trockenzeit nur eine geringe Abnahme der durch die Ausbringung erhöhten N-Konzentration im Boden fest, einen deutlichen Rückgang jedoch nach einsetzen der Regenzeit. SHAHANDEH et al. (2004) beschreiben für Böden in Mali (ohne Düngerapplikation in der Trockenzeit) sogar einen leichten Anstieg von mineralischem Stickstoff während der Trockenzeit, einen starken Anstieg von Mineralisierung und mineralischer Stickstoffkonzentration mit Einsetzen des Regens, unmittelbar gefolgt von einem genauso großen Rückgang von Mineralisierung und mineralischer Stickstoffkonzentration. AUGUSTINE & McNAUGHTON 2004 betonen die Wichtigkeit von Wasser für mikrobielle Aktivität und gehen mit zunehmender Trockenheit von abnehmender Immobilisierung von Stickstoff durch Mikroorganismen und einem Anstieg der Konzentration von anorganischem Stickstoff aus.

Sie beschreiben außerdem eine sehr geringe Nitrifikationsrate während der Trockenzeit, so dass auch bei gelegentlichen Regenfällen nur mit geringen Auswaschungsverlusten gerechnet werden muss. Hinsichtlich der Aktivität von phosphorlösenden Mikroorganismen ist laut BABANA & ANTOUN (2005) nicht davon auszugehen, dass diese in ausreichenden Mengen in allen Böden Malis zu finden sind, daher empfehlen sie eine Impfung des Saatgutes mit vorher isolierten phosphorlösenden Mikroorganismen. Auf Grund ihrer wahrscheinlich sehr geringen Anzahl im Boden und ihrer durch Trockenheit gehemmte Aktivität ist nicht davon auszugehen, dass sie während der Trockenzeit zu einer Immobilisierung von Stickstoff aus dem Urin beitragen.

Bisherigen Untersuchungen zufolge ist also weder von hohen Stickstoffverlusten während der Trockenzeit, noch von einer biologischen Immobilisierung auszugehen. Diesen Prozessen müsste demzufolge hauptsächlich Aufmerksamkeit bei Einsetzen der Regenzeit gewidmet werden.

Aus den Bodenuntersuchungen lassen sich kaum Aussagen herleiten. Der Grund hierfür findet sich bereits in der Versuchsplanung. Die vor der Ausbringung der Versuchssubstanzen genommenen Bodenproben zeigen im Mittel einen Gesamtstickstoffanteil von knapp 0,04 %. Bei einer angenommenen Bodendichte von 1,6 g/cm<sup>3</sup> (ungefährer Richtwert, hergeleitet aus mehreren Bodenprofilen aus Mali) ergibt sich für die untersuchte Bodentiefe (0 - 30 cm)

ein Stickstoffvorrat von ca. 1850 kg/ha. Die durch den Urin ausgebrachte Menge von etwa 60 kg/ha fällt somit in den Fehlerbereich der Messungen.

Der zeitliche Verlauf der Messwerte legt vom Trend her dennoch eine sinnvolle Schlussfolgerung nahe: durch die Ausbringung wurde der Stickstoffvorrat im Boden erhöht. Durch die Verflüchtigung von Ammoniak bedingte Verluste treten unmittelbar nach der Ausbringung auf und nicht mehr später. Da es zwischen der 2. und 3. Messung nur 6 mm Niederschlag gab, kann auch eine Auswaschung nahezu ausgeschlossen werden. Daher ist nicht von weiteren Stickstoffverlusten (zwischen 2. und 3. Messung) auszugehen. Dies wird in den Messergebnissen bestätigt (kein Signifikanter Unterschied zwischen 2. und 3. Messung). Dennoch können die Messwerte nur als ein Hinweis gewertet werden, denn die gemessene Erhöhung des Stickstoffgehaltes von fast 0,01% entsprechen einer Vergrößerung des Bodenvorrates (in den oberen 30cm) um 400 kg/ha; eine Menge, die die durch das Urin ausgebrachte bei weitem übersteigt<sup>4</sup>, so dass von Messfehlern auszugehen ist.

Die Messungen des pH-Wertes im Boden zeigen eine Erhöhung in den Varianten mit Ausbringung von Urin. Da für den ausgebrachten Urin von einem hohen pH-Wert auszugehen ist (> 9,0), ist dies kein unerwartetes Ergebnis (vgl. RICHTER 1997, SOMDA et al. 1997, SUNDIN 1999). SOMDA et al. 1997 haben in ihren Messungen am Ort der Urinausbringung unmittelbar einen Anstieg des pH-Wertes von 5,0 auf > 8,0 dokumentiert. Der Wert sank an diesen Orten im Verlauf von 150 Tagen nach der Ausbringung auf 7,0. In Bereichen die vertikal und horizontal weiter von dem Punkt der Urinausbringung entfernt lagen, stieg der pH-Wert weniger stark an und ging schon innerhalb von 90 Tagen auf das Ausgangsniveau zurück. Als Ursachen für den Rückgang des pH-Wertes sind durch den Regen einsetzende Nitrifikation und Transport von Ionen zu nennen. Der Anstieg des pH-Wertes ist also räumlich und zeitlich begrenzt.

Aus den Ergebnissen der Messungen der organischen Bodensubstanz lassen sich keine Aussagen ableiten. Es kann nicht erklärt werden, warum der Gehalt an organischer Substanz in den Varianten ohne Ausbringung von organischer Substanz stärker ansteigt als in den Varianten mit Ausbringung von organischer

---

<sup>4</sup> selbst wenn von einer sehr hohen N-Konzentration im Urin von 10 g/l ausgegangen wird, entspräche die ausgebrachte Menge nur etwa 170 kg N/ha

Substanz (die Differenzen sind trotz ihrer Größe statistisch nicht signifikant, was auf die breite Streuung der Werte zurückgeführt werden kann).

Zur Beurteilung der Ergebnisse wurden die C/N-Verhältnisse der Messungen berechnet. Diese schwanken mit einem Variationskoeffizienten von 45 % um den Mittelwert 6,8, mit Ausreißern bei 1,0 und 12,3. Auch wenn im Mittel dieser Wert nicht gänzlich unrealistisch ist, ist dies ein weiterer deutlicher Hinweis für die Ungenauigkeit der Messwerte.

Als Ursache kommen neben Fehlern in der Laboranalyse auch Fehler bei der Probenentnahme in Frage. Auf einigen Parzellen wurde Aktivität von Termiten im Boden festgestellt, auch das könnte einen Einfluss auf die Resultate gehabt haben.

Hinsichtlich der Beantwortung der in der Versuchszielstellung aufgeworfenen Fragen wären andere Messungen sinnvoller gewesen. Die Untersuchungen der Bodenproben auf Konzentration von anorganischem Stickstoff (Ammoniak und Nitrat), wie sie in einigen der zitierten Veröffentlichungen (SOMDA et al. 1997, SHAHANDEH et al. 2004) vorgenommen wurden, sind besser dazu geeignet zu zeigen, was mit dem durch den Urin ausgebrachten Stickstoff im zeitlichen Verlauf im Boden geschieht. Noch genauere Angaben dazu sind mit Hilfe von Messungen mit <sup>15</sup>N-makiertem Stickstoff möglich, wie sie beispielsweise TREHAN & WILD (1993) zur Beantwortung ihrer Versuchsfragestellung verwendet haben; Messungen dieser Art wären für diesen Versuch allerdings zu aufwendig gewesen. Als Hinweis auf mikrobielle Aktivität und temporäre Stickstofffestlegung in ihrer Biomasse können Bodenrespiration oder Enzymaktivitäten gemessen werden (vgl. FORMOWITZ et al. 2007).

Ein guter Indikator für die Verfügbarkeit und Düngewirkung von ausgebrachtem Stickstoff ist die N-Aufnahme der Kulturpflanzen. In dem Versuch sollte der N-Gehalt der Baumwollpflanzen zum Zeitpunkt der Ernte festgestellt werden, die Ergebnisse lagen jedoch bis zuletzt nicht vor.

Auch um eine Einschätzung zu ermöglichen, ob die Ausbringung während der Trockenzeit deutliche Nachteile gegenüber der Ausbringung unmittelbar vor der Saat hat, reichen die Versuchsergebnisse nicht aus. Dafür wäre es notwendig gewesen, zumindest eine Variante zu installieren, in der der Urin erst unmittelbar vor der Saat ausgebracht worden wäre.

Es sind somit einige Ausgangspunkte für weitere Versuche aufgezeigt worden die helfen würden, die in diesem Versuch aufgeworfenen Fragestellungen zufrieden stellender zu beantworten.

### Probleme außerhalb der Versuchsfragestellung

An das Ende der Diskussion sollen noch einige Überlegungen gestellt werden, die über die Versuchsfragestellung hinausgehen und einige Aspekte des Gesamtkonzepts von ECOSAN aufgreifen.

Die „*Re-use*“-Seite, d.h. die agrarwissenschaftliche Forschung zur Nutzbarkeit der Produkte in der Landwirtschaft, wird in der Diskussion von ECOSAN, zumindest in Entwicklungsländern, oftmals etwas stiefmütterlich behandelt. Das mag auf den ersten Blick verwunderlich erscheinen, überrascht aber bei genauerer Überlegung nicht. Die logistische Machbarkeit eines ECOSAN-Systems stellt sicherlich zunächst eine größere Herausforderung als die Ermittlung des jeweils optimalen Ausbringungsverfahrens dar.

Will ein Bauer in Mali die gleiche Menge Urin, die in dem Versuch ausgebracht wurde, auf einem ha Land applizieren, müsste er rund 17.000 l Urin auf sein Feld transportieren. Das mag für die Landwirtschaft in den Industrienationen kein logistisches Problem darstellen, in einem Land, in dem die Menschen selbst ihr Trinkwasser in 20 l Kanistern mit einem Eselkarren transportieren, dürfte dies dagegen eine echte Herausforderung darstellen<sup>5</sup>.

Sollen ECOSAN-Projekte in großem Maßstab implementiert werden, stellt die Frage wie die Produkte (Urin und Fäkalien) von den Orten wo sie massenweise anfallen (in den Städten) zu den Orten, wo sie massenweise gebraucht werden (auf dem Land) transportiert werden sollen, wahrscheinlich die größte Herausforderung dar. Möglich wäre dies wohl nur durch eine Versorgung durch öffentliche Hand. Dies wiederum erfordert viele zu erfüllende Rahmenbedingungen finanzieller und institutioneller Art, deren Diskussion nicht im Rahmen dieser Arbeit liegt.

---

<sup>5</sup> Die für den Versuch benötigte Menge von knapp 1000 l wurde mit dem Jeep in einem 1m<sup>3</sup> Kanister geliefert, und schon hier zeigten sich einige Probleme (Kauf des Kanisters, Verfügbarkeit des Jeeps, Abladen des Kanisters).

## **6. Zusammenfassung**

Für 2,6 Mrd. Menschen auf der Erde ist die sanitäre Situation bedenklich und es werden dringend alternative Lösungen benötigt. Gleichzeitig gehen mit den menschlichen Exkrementen jährlich große Mengen an wertvollen Nährstoffen verloren. ECOSAN ist ein Ansatz der versucht, diesen Überlegungen Folge zu leisten.

Im Mittelpunkt steht dabei das Vermeiden von Verschmutzung der wertvollen Ressource Wasser, die Hygienisierung menschlicher Exkremente und deren Verwendung in der Landwirtschaft. Eines der häufig implementierten Konzepte von ECOSAN sieht eine Trennung von Urin und Fäkalien vor.

Ziel des im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuches war es, festzustellen, wie sich im regionalen Kontext der Sahelzone die Düngewirkung von Urin entwickelt, wenn man ihn bereits während der Trockenzeit vor der Vegetationsperiode ausbringt, und ob sich die Düngewirkung durch die Kombination mit Rohphosphat und/oder Stallmist verbessern lässt.

Es wurde ein drei-faktorieller Versuch durchgeführt, in dem Varianten ohne Ausbringung von Urin, Varianten mit oberflächlicher Ausbringung des Urins und Varianten mit Einarbeitung des Urins installiert wurden; außerdem wurden jeweils Kombinationen mit Stallmist, Rohphosphat und beiden zusammen getestet. Es wurden die Ernteerträge im Baumwollanbau bestimmt. Im ersten Monat nach der Ausbringung wurden außerdem Bodenproben entnommen, anhand derer N-Gehalt ( $N_{\text{tot}}$ ), Gehalt an organischer Substanz ( $C_{\text{org}}$ ) und pH-Wert bestimmt wurden.

Die Düngung mit Urin bei Ausbringung bereits fast zwei Monate vor der Saat zeigt eine deutliche Ertragssteigerung bei Baumwolle. Durch sofortige Einarbeitung lässt sich ein noch höherer Ertrag erzielen. In der Kombination von Urin mit Rohphosphat und Stallmist deuten sich höhere Erträge an, diese sind jedoch statistisch nicht signifikant. Da keine Resultate über die Stickstoffaufnahme der Baumwollpflanzen vorlagen (N-Gehalt in der Gesamtpflanze) können keine Angaben zur Stickstoffverfügbarkeit im Boden der einzelnen Varianten gemacht werden.

Es lässt sich anhand der erhobenen Messungen nicht sagen, ob ein deutlicher Nachteil bei der Ausbringung in der Trockenzeit im Vergleich zu einer Ausbrin-

gung zum Zeitpunkt der Ernte besteht. Die Untersuchungen des Gesamtstickstoffgehaltes im Boden erlauben keine Schlussfolgerungen bezüglich der Frage, was mit dem Stickstoff aus dem Urin nach der Ausbringung geschieht. Der sich abzeichnende Trend, dass es nach der Ausbringung bis zum Einsetzen der Regenzeit nicht zu deutlichen Stickstoffverlusten kommt, bestätigt Angaben in bisher veröffentlichter Literatur. Es ist entgegen der Versuchshypothese nicht davon auszugehen, dass es während der Trockenzeit zu einer Immobilisierung des ausgebrachten Stickstoffs durch Mikroorganismen im Boden kommt. Die durchgeführten Bodenuntersuchungen lassen dazu jedoch ebenfalls keine Aussagen zu. Durch den hohen pH-Wert des ausgebrachten Urins steigt der pH-Wert im untersuchten Boden, dies ist jedoch ein zeitlich und räumlich begrenzter Effekt.

Weitere Versuche und andere Messungen sind nötig um die Versuchsfragestellung zufriedenstellender zu beantworten.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Ausbringung von Urin während der Trockenzeit möglich und sinnvoll ist, wenn dadurch logistischen Herausforderungen, wie Transport und Lagerung, besser nachgekommen werden kann. Denn die Logistik ist eine der Kernherausforderungen in den Ansätzen von ECOSAN.

## **7. Literatur**

ADAMSSON, M. (2003): *Sustainable utilisation of human urine in urban areas - practical experiences* in: GTZ (2004) *ecosan – closing the loop, Proceedings of the 2nd international symposium, 7th –11th April 2003, Lübeck*, GTZ-ecosan-team, Eschbron, abrufbar online (10.02.2008):

<http://www2.gtz.de/ecosan/english/symposium2-proceedings-eng.htm>

AUGUSTINE, D. & McNAUGHTON (2004): *Temporal Asynchrony in Soil Nutrient Dynamics and Plant Production in a Semiarid Ecosystem*, *Ecosystems* 7: 829–840

BABANA, A. & ANTOUN, H. (2005): *Biological system for improving the availability of Tilemsi phosphate rock for wheat (Triticum aestivum L.) cultivated in Mali*, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72:147–157

BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG (1994): *AG Bodenkunde*, 4. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

CREPA (2007): *ECOSAN Info No.09 June 2007*, CREPA, Ouagadougou

DÉMBÉLÉ (2007): persönliche Mitteilung

EARTHTRENDS (2007): *Projected Annual Renewable Water Supply Per Person by River Basin, 2025*, World Resources Institute - PAGE, abrufbar online (10.02.2008):

[http://earthtrends.wri.org/maps\\_spatial/maps\\_detail\\_static.php?map\\_select=265&theme=2](http://earthtrends.wri.org/maps_spatial/maps_detail_static.php?map_select=265&theme=2)

ESREY, A. (2000): *Towards a recycling society Ecological sanitation – closing the loop to food security* in: GTZ (2000): *ecosan - closing the loop in wastewater management and sanitation, Proceedings of the International Symposium, 30-31 October 2000, Bonn*, GTZ-ecosan-team, Eschbron

FAO (2001): *Lecture Notes on the Major Soils of the World*, World Soil Resources Reports 94, FAO, Rome

FORMOWITZ, B. et al. (2007): *Reaction of microorganisms to rewetting in continuous cereal and legume rotation soils of semi-arid Sub-Saharan Africa*, *Soil Biology & Biochemistry* 39:1512–1517

GTZ (2001): *Kurzbericht ecosan-Projekt - Koulikoro/Mali*, GTZ-ecosan-team, Eschbron, Abrufbar online (29.11.2007):

<http://www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>

GTZ (2003): *An ecosan source book for the preparation and implementation of ecological sanitation projects, 2nd draft*, GTZ-ecosan-team, Eschbron, Abrufbar online (29.11.2007):

<http://www.gtz.de/de/dokumente/en-ecosan-source-book-2005.pdf>

GTZ (2006): *technical data sheets for ecosan components (02 Dehydration toilets, C.1 Construction plans – selected examples)* GTZ-ecosan-team, Eschbron, abrufbar online (29.11.2007):

<http://www.gtz.de/de/dokumente/en-ecosan-tds-02-c1-dehydration-toilets-plans-2006.pdf>

HEEB, J. et al (2006): *ecosan curriculum, economic aspects*, in: capacity building for ecological sanitation – ecosan resource material (CD-ROM), GTZ ecosan-team, Eschbron

ILSTEDT, U. & SINGH, S. (2004): *Nitrogen and phosphorus limitations of microbial respiration in a tropical phosphorus-fixing acrisol (ultisol) compared with organic compost*, *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1407–1410

JÖNSSON, H. et al. (2004): *Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production*, SEI Report no. 2 of 2004, SEI, Stockholm, abrufbar online (13.12.2007):

[http://www.ecosanres.org/pdf\\_files/ESR\\_Publications\\_2004/ESR2web.pdf](http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR_Publications_2004/ESR2web.pdf)

KIRCHMANN, H. & PETTERSSON, S. (1995): *Human urine – chemical composition and fertilizer efficiency*, *Fertilizer Research* 40:149-154.

LENTNER, C. & WINK, A. (1981): *Units of Measurement, Body Fluids, Composition of the Body, Nutrition*, in Geigy Scientific tables, Ciba-Geigy, Basel

LIXIA, S. et al. (2007): *Sweden-China Erdos Eco-Town Project Dongsheng, Inner Mongolia*, EcoSanRes Fact Sheet 11, SEI, Stockholm, abrufbar online (6.12.2007):

[http://www.ecosanres.org/pdf\\_files/Fact\\_sheets/Fact\\_Sheet\\_11ls.pdf](http://www.ecosanres.org/pdf_files/Fact_sheets/Fact_Sheet_11ls.pdf)

LONDONG, J. (2005): *Zusammenfassende Risikobewertung* in: BASTIAN, A. et al. (2005): *Nährstofftrennung und –verwertung in der Abwassertechnik am Beispiel der „Lambertsmühle*, Verein zur Förderung der Agrikulturchemie e.V., Institut für Pflanzenernährung, Bonn

MAURER, M. et al. (2006): *Treatment processes for source-separated urine*, *Water Research* 40: 3151 – 3166

MALI (2008) : *Site Internet de la présidence de la République du Mali, Géographie du Mali*, abrufbar online (18.01.2008):

<http://www.koulouba.pr.ml/spip.php?article9>

MORGAN, P. (2004): *An Ecological Approach to Sanitation in Africa: A Compilation of Experiences*, SEI, Stockholm, abrufbar online (26.11.2007)

<http://www.ecosanres.org/PM%20Report.htm>

MUSKOLUS, A. (2007): *Anthropogenic Plant Nutrients as Fertiliser*, Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin

OLDENBURG, M. (2005): *Die ökologische Wohnsiedlung Flintenbreite, Lübeck*, Vortrag im Rahmen der Fachtagung „Ökologische Siedlungsentwicklung im Spiegel aktueller Trends und Praxiserfahrungen“, 9. und 10. März 2005, Osnabrück, abrufbar online (6.12.2007):

<http://www.oekosiedlungen.de/downloads/dokumente/tagung-siedlungsentwicklung-2005/dokumente/Oldenbourg.pdf>

OTTERPOHL, R. & OLDENBURG, M. (2002): *Innovative Technologien zur Abwasserbehandlung in urbanen Gebieten*, in *Korrespondenz Abwasser*, 49. Jhrg./Nr 10, S. 1364-1371, abrufbar online (14.12.07)

<http://www.tuhh.de/susan/downloads/ka260702.pdf>

RICHERT STINTZING, A. et al. (2001): *Human urine as fertilizer – plant nutrients, application technique and environmental effects*, JTI-Rapport Lantbruk & Industri 278, Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Stockholm

RICHTER et.al.(1997): *Einfluß unterschiedlicher Düngung auf pH, N, C und die Gehalte an CAL-extrahierbarem K und P im Boden*, *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160: 107-111

ROSCHKE, M. (2005): *Zur düngemittelrechtlichen Einordnung von menschlichen Kot und Harn (Urin)*, Infobrief des LVLV Frankfurt (Oder), Abteilung 4 Landwirtschaft und Gartenbau, Güterfelde

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*, 15. Auflage, Spektrum Verlag, Heidelberg

SCHÖNNING, C. & STENSTRÖM, T. (2004): *Guidelines for the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems*. SEI Report no. 1 of 2004, SEI, Stockholm, abrufbar online (30.12.2007):

[http://www.ecosanres.org/pdf\\_files/ESR\\_Publications\\_2004/ESR1web.pdf](http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR_Publications_2004/ESR1web.pdf)

SCHUSTER, W. & LOCHOW, J (1978): *Anlage und Auswertung von Feldversuchen*, DLG Verlag, Frankfurt am Main

SHAHANDEH, H. et al. (2004): *Nitrogen dynamics in tropical soils of Mali, West Africa*, *Biol Fertil Soils* 39: 258–268

SHIMING, L. (2001): *The utilization of human excreta in Chinese agriculture*, Internet Dialogue on Ecological Sanitation, South China Agricultural University, P.R. China, abrufbar online (25.11.2007):

<http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/ecosan/luo-02.html>

SIMONS, J. (2003): *Qualitäts- und umweltrelevante Beurteilung von Urin aus Separationstoiletten für die Nutzung als Dünger in der Landwirtschaft und Kundenanforderungen an das Substrat für die Nutzung in der Landwirtschaft*, Diplomarbeit, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

SMET, J.& SUGDEN, S. (2006): *Factsheet Ecological Sanitation*, WELL resource centre for water, sanitation and environmental health, WEDC Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University, Leicestershire  
Abrufbar online (25.11.2007):

<http://www.lboro.ac.uk/well/resources/fact-sheets/fact-sheets-htm/Ecological%20sanitation.htm#Reasons%20NOT%20to%20adopt%20ecological%20sanitation>

SOMDA et al. (1997): *Soil pH and Nitrogen Changes following Cattle and Sheep Urine Deposition*, Commun. Soil Sci. Plant Anal., 28: 1253-1268

SØRENSEN, P. (2004): *Immobilisation, remineralisation and residual effects in subsequent crops of dairy cattle slurry nitrogen compared to mineral fertiliser nitrogen*, Plant and Soil 267: 285–296

SUNDIN, A. (1999): *Humane urine improves the growth of Swiss chard and soil fertility in Ethiopian urban agriculture*, Thesis and Seminar projects No. 112, Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala

TREHAN, S. & WILD, A. (1993): Effects of an organic manure on the transformations of ammonium nitrogen in planted and unplanted soil, Plant and Soil 151: 287-294

TROUNG, B. (1993): *Etude de pré faisabilité pour une production d'engrais au Mali à partir des phosphates de Tilemsi*, Rapport CIRAD-TECHNIFERT, Montpellier

UNEP (2002): *A directory of environmentally sound technologies for the integrated management of solid, liquid and hazardous waste for Small Island Developing States (SIDS) in the Pacific*, Report of the UNEP International Environmental Technology Centre, United Nations Environment Programme, Nairobi, abrufbar online (21.11.2007):

[http://www.training.gpa.unep.org/documents/a\\_directory\\_of\\_environmentally\\_english.pdf](http://www.training.gpa.unep.org/documents/a_directory_of_environmentally_english.pdf)

WHO (2000): *Global water supply and sanitation assessment 2000 report*, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, WHO, Genf, S.19, abrufbar online (15.11.2007):

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp2000.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf)

WHO (2004): *Water, Sanitation and Hygiene Links to Health FACTS AND FIGURES - updated March 2004*, WHO, Genf, abrufbar online (15.11.2007):

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/factsfigures2005.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/factsfigures2005.pdf)

WHO (2006a): *Meeting the MDG drinking water and sanitation target: the urban and rural challenge of the decade*, WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, WHO, Genf, abrufbar online (15.11.2007):

[http://www.wssinfo.org/en/40\\_mdg2006.html](http://www.wssinfo.org/en/40_mdg2006.html)

WHO (2006b): *WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, v. 4. Excreta and greywater use in agriculture*, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, WHO, Genf

WICK, B. (1997): *Microbiological indicators for quality of soils at various stages of degradation in the forest-savanna-transition zone, south-western Nigeria*, Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen

WINBLAD, U. & SIMPSON-HÉBERT, M. (2004) (Hrsg.): *Ecological sanitation – revised and enlarged edition*. SEI, Stockholm, abrufbar online (26.11.2007): [http://www.ecosanres.org/ES2\\_download.htm](http://www.ecosanres.org/ES2_download.htm)

WOLFFERSDORFF VON, S. (2004): *Untersuchung zu Sortier Toiletten unter besonderer Berücksichtigung der Urinverwertung*, Diplomarbeit, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock

ZIMMERMANN, G. (2006): *Vergleichende Betrachtung der Effektivität und Effizienz von konventioneller Abwasserbehandlung (mehrstufige Kläranlage) gegenüber neuartigen, kreislauforientierten Sanitärsystemen an ausgewählten Beispielen in Syrien*, Masterarbeit, Bauhaus-Universität Weimar, abrufbar online (10.02.08)  
<http://www2.gtz.de/dokumente/oe44/ecosan/nl/de-thesis-oekonomische-betrachtung-syrien-2006.pdf>

## Liste der verwendeten Abkürzungen

CREPA	Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût
C <sub>org</sub>	Organische Bodensubstanz
ECOSAN	„ecological sanitation“
FAO	Food and Agriculture Organisation of the United Nations
IPR/IFRA	Institute Polytechnique Rural de formation et de Recherche Appliquée
K	Kalium
k.A.	Keine Ausbringung
MDG	Millenium-Development-Goals
N	Stickstoff
N <sub>tot</sub>	Gesamtstickstoffgehalt (nach Kjehldahl)
NGO	Non-Government-Organisation
OS	Versuchsvariante: Stallmist (organische Substanz)
OS + P	Versuchsvariante: Stallmist + Rohphosphat
P	Phosphor
SPSS	Statistikprogramm der Firma SPSS-Inc.
UNEP	United Nations Environment Programme
UNO	United-Nations-Organisation
Uo	Versuchsvariante: Urin, oberflächlich
Uo + OS + P	Versuchsvariante: Urin, oberflächlich + Stallmist + Rohphosphat
Uo + P	Versuchsvariante: Urin, oberflächlich + Rohphosphat
Ut	Versuchsvariante: Urin, eingearbeitet (tief)
Ut + OS	Versuchsvariante: Urin, tief + Stallmist
Ut + OS + P	Versuchsvariante: Urin, eingearbeitet + Stallmist + Rohphosphat
Ut + P	Versuchsvariante: Urin, eingearbeitet + Rohphosphat
Ut + P	Versuchsvariante: Urin, eingearbeitet + Rohphosphat
WHO	World-Health-Organisation

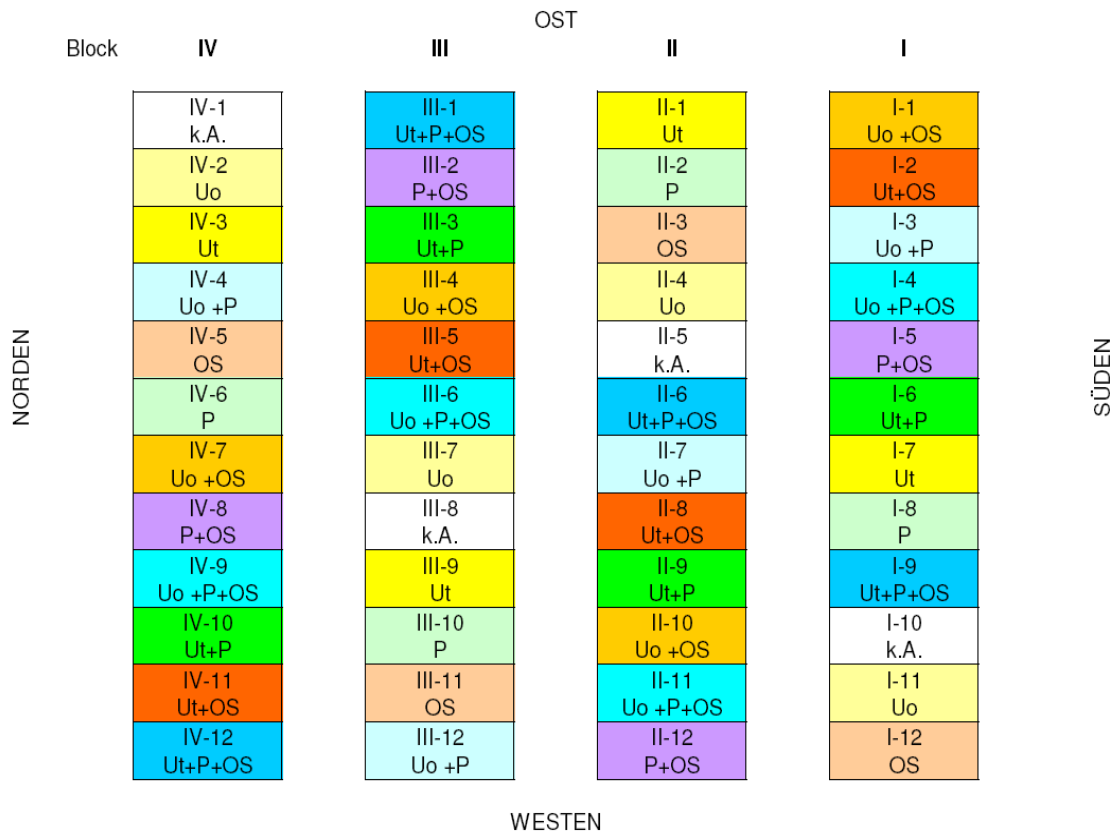
## Abbildungsverzeichnis

Abb.1 Anteil der Abwässer, die durch Kläranlagen aufbereitet wird.....	- 5 -
Abb.2: Einfache Komposttoilette in ländlichen Gebieten: das <i>Arborloo</i> .....	- 10 -
Abb.3: Einfache Komposttoilette in ländlichen Gebieten: das <i>Fossa Alterna</i> -	10 -
Abb.4 Komposttoilette aus Schweden, Modell <i>Clivus</i> .....	- 12 -
Abb.5 Das <i>Carousel</i> aus Norwegen .....	- 12 -
Abb.6 Einfachste Form der Urinabscheidung bei einer Hocktoilette .....	- 12 -
Abb.7 Bauform einer Sitztoilette m. Vorrichtung zum Abtrennen von Urin ...	- 12 -
Abb.8 Vorgefertigtes Bauteil zur Urinabtrennung in Hocktoiletten .....	- 14 -
Abb.9 Weitere Bauformen von Hocktoiletten (aus Westafrika) .....	- 14 -
Abb.10 Trenntoilette mit sofortiger Kompostierung der Fäkalien .....	- 15 -
Abb.11 Schema einer Hocktoilette mit Urinabtrennung .....	- 15 -
Abb.12 Rückansicht einer Toilette mit Entnahmeöffnungen für die getrockneten Fäkalien .....	- 40 -
Abb.13 Fäkalien nach der Trocknung .....	- 15 -
Abb.14 Technische Umsetzung des Stoffstrommanagements in der Wohnsiedlung Flintenbreite, .....	- 17 -
Abb.15 Charakteristika der Teilströme von Haushaltsabwasser .....	- 19 -
Abb.16 Entwicklung des N-Anteils im Boden in den Einzelnen Varianten ...	- 38 -
Abb.17 Entwicklung des N-Gehaltes im Boden im Mittel über alle Varianten mit Urinapplikation .....	- 40 -
Abb.18 Entwicklung des pH-Wertes im Bodens in den einzelnen Varianten-	40 -
Abb.19 Entwicklung des pH-Wertes im Boden im Mittel über alle Varianten mit Urinapplikation .....	- 40 -
Abb.20 Entwicklung des pH-Wertes im Boden im Mittel über alle Varianten ohne Urinapplikation .....	- 41 -
Abb.21 Entwicklung des Gehaltes an organischer Substanz des Bodens in den einzelnen Varianten .....	- 42 -
Abb. 22 Entwicklung des Gehaltes an organischer Substanz des Bodens im Mittel über alle Varianten ohne Ausbringung organischer Substanz.....	- 43 -
Abb. 23 Entwicklung des Gehaltes an organischer Substanz des Bodens im Mittel über alle Varianten mit Ausbringung organischer Substanz.....	- 43 -
Abb. A1 Aufbau der Versuchsanlage .....	- 59 -

## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1 Angaben verschiedener Autoren zu dem Anteil wichtiger Nährstoffe (N, P, K) in menschlichem Urin.....	- 20 -
Tab. 2 Darstellung der Varianten des Versuchs.....	- 31 -
Tab. 3 Mineraralische Zusammensetzung des Rohphosphates aus Tilemsi	- 32 -
Tab. 4 Vergleich der Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit von Rohphosphat aus Tilemsi mit Triplesuperphosphat .....	- 32 -
Tab.5 Ernteertrag von Baumwolle (Samen und Fasern) der einzelnen Versuchsvarianten .....	- 35 -
Tab.6 Signifikanztest für die Wirkung der einzelnen Faktoren und errechnete Grenzdifferenzen für signifikante Ertragsunterschiede .....	- 36 -
Tab. 7 Mittelwerte des Ertrags der Varianten mit unterschiedlicher Urinapplikation.....	- 36 -
Tab.8 Mittelwerte des Ertrags der Varianten mit unterschiedlicher Rohphosphorbeigabe .....	- 37 -
Tab.9 Mittelwerte des Ertrags der Varianten mit unterschiedlicher Beigabe von organischer Substanz .....	- 37 -
Tab.10 Mittelwerte des Stickstoffgehaltes im Boden aller Varianten mit Urinapplikation .....	- 39 -
Tab. 11 Mittelwerte und Variationskoeffizient der Messwerte des Gehaltes an organischer Substanz in den Böden, alle Varianten .....	- 42 -

## Anhang



**Abb. A1 Aufbau der Versuchsanlage (12 Varianten in 4 Wiederholungen, randomisierte Blockanlage)**

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben.

Datum, Unterschrift