

BMBF-Forschungsvorhaben

**Schließen von landwirtschaftlichen Nährstoffkreisläufen
über
hygienisch unbedenkliche Substrate aus dezentralen
Wasserwirtschaftssystemen im Mekong Delta, Vietnam
(SANSED)**

Schlussbericht Projektphase I

31.08.2005

- Teilprojekt 1: Rheinische Friedrich-Wilhelm Universität Bonn
02WD0413 Institut für Pflanzenernährung
PD Dr. Joachim Clemens
Karlrobert-Kreiten-Straße 13
53115 Bonn
- Teilprojekt 2: Ruhr-Universität Bochum
02WD0414 Institut für Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen
Prof. Dr. Harro Stolpe
Universitätsstraße 150
44780 Bochum
- Teilprojekt 3: Ith – Ingenieurbüro für technische Hydrologie
02WD0415 Thilo Herrmann
Brandenburger Straße 21
95448 Bayreuth

Inhalt

1	Einleitung	4
1.1	Bedeutung dezentraler Wasserver- und -entsorgungssysteme.....	4
1.2	Projektziele	4
1.3	Vorraussetzungen und Ablauf.....	4
1.4	Stand der Wissenschaft und Technik: Überblick über die Wasserver- und -entsorgung im Mekong Delta	5
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
1.6	Mekong Delta: Naturraum und Landwirtschaft.....	7
1.7	Untersuchungsstandorte	8
2	Arbeitsgruppe Hydrogeologie: Erkundung der Wasserressourcen und Ihrer Nutzbarkeit für die Trinkwasserversorgung	9
2.1	Einleitung	9
2.2	Untersuchungskonzept.....	10
2.3	Ergebnisse und Diskussion	11
2.4	Schlussfolgerungen.....	13
3	Arbeitsgruppe Stoffflüsse: Untersuchungen zu bestehenden dezentralen Behandlungssystemen.....	14
3.1	Einleitung	14
3.2	Material und Methoden	14
3.3	Ergebnisse und Diskussion	15
3.4	Schlussfolgerungen.....	18
4	Arbeitsgruppe Hygiene: Mikrobiologische Belastung dezentraler Wasserwirtschaftssysteme und deren Auswirkungen auf die Öffentliche Gesundheit	19
4.1	Einleitung	19
4.2	Material und Methoden	19
4.3	Ergebnisse und Diskussion	20
4.4	Schlussfolgerungen.....	22
5	Konzeption angepasster technischer Systeme zur Trinkwasserversorgung und Abwasserbewirtschaftung	23
5.1	Einleitung	23
5.2	Material und Methoden	23
5.3	Ergebnisse und Diskussion	23
5.4	Schlussfolgerungen.....	25
	Trinkwasser	25
	Abwasser.....	26
6	Arbeitsgruppe Agrarökologie: Bewertung und Management von Sekundärrohstoffen in Reisanbausystemen des Mekong Delta	28
6.1	Einleitung	28
6.2	Problemanalyse.....	28
6.3	Zielsetzung	29
6.4	Ergebnisse	29
6.5	Schlussfolgerungen.....	32

7	Arbeitsgruppe Landwirtschaftlicher Wasserbau	33
7.1	Einleitung	33
7.2	Material und Methoden	33
7.3	Ergebnisse und Diskussion	35
7.4	Schlussfolgerungen.....	37
8	Arbeitsgruppe Wirtschaftssoziologie: Akzeptanzanalyse neuer Technologien im dezentralen Wassermanagement	38
8.1	Einleitung	38
8.2	Konzept und Methodik	38
8.3	Ergebnisse	40
8.4	Fazit.....	41
9	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	43
9.1	Zusammenfassung.....	43
9.2	Schlussfolgerungen und Konzepte.....	44
10	Literatur.....	47

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Wirkungszusammenhänge	10
Abbildung 2: Übersicht über die Anzahl und Art der in den befragten Haushalten verwendeten Aufbereitungsmethoden	20
Abbildung 3 Grundwasserpegel in den Hügelbeeten.....	35
Abbildung 4: Hauptschritte des Forschungsprozess.....	39

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Charakteristische Kenngrößen der Untersuchungsstandorte	8
Tabelle 2: Vor-Ort-Untersuchungsprogramm	11
Tabelle 3: Grundwassertypen in der Provinz Can Tho.....	11
Tabelle 3: Analyseergebnisse Grundwasser.....	12
Tabelle 4: Analyseergebnisse Oberflächenwasser	12
Tabelle 5: Analyseergebnisse Standort Long Tuyen	16
Tabelle 7: Basisverdunstungshöhen in Can Tho.....	35
Tabelle 8: monatliche Basisverdunstungshöhen in Hoa An.....	36
Tabelle 9: benötigte Parameter bei den jeweiligen Formelansätzen	36

1 Einleitung

1.1 Bedeutung dezentraler Wasserver- und –entsorgungssysteme

Bevölkerungszuwachs, zunehmende Wasserverschmutzung und steigender Wasserverbrauch erfordern den nachhaltigen Umgang mit der nicht zu ersetzenden Ressource Wasser.

In nicht industrialisierten und Transformationsländern stellt Abwasser und Müll vielfach eine Gefahr für die öffentliche Gesundheit dar. In den industrialisierten Ländern Europas und den USA führen Nährstoffüberschüsse zu Problemen. Nur wenige Länder können sich die hier praktizierte Verdünnung und Elimination von Nährstoffen und die Wiederaufbereitung zu Trinkwasser leisten.

Neue Lösungen setzen auf reduzierten Wasserverbrauch, Wiederverwertung und Konzentrierung bzw. Entkoppelung von Stoffströmen. Mit dezentralen Wasserver- und –entsorgungssystemen sollen spezifisch lokale Unterschiede berücksichtigt und Möglichkeiten zur weiteren Nutzung oder Wiederverwertung von Reststoffen aus der Abwasserbehandlung geschaffen werden.

Insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern, wo Wasserver- und Entsorgungen erst entstehen, sind angepasste, robuste Systeme erforderlich, die ökonomische und ökologischer Aspekte berücksichtigen.

1.2 Projektziele

Ziel des Vorhabens SANSED ist es, am Beispiel des dicht bevölkerten, intensiv landwirtschaftlich genutzten Mekong Deltas in Vietnam ein Konzept zur Wasserversorgung und -entsorgung zu entwickeln und zu optimieren, bei dem Wasser und Nährstoffe in geeigneter Weise wieder verwertet werden. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei die ökonomisch, ökologisch sinnvolle und gesundheitlich unbedenkliche Verwertung der anfallenden Substrate in der Landwirtschaft. Die mögliche Verwertung des Substrats soll entscheidend die einzusetzende Wasserbehandlungstechnologie bestimmen.

Im Rahmen des multidisziplinären Projektes werden in einem „bottom-up-approach“ grundlegende Daten zur Situation vor Ort ermittelt und aussichtsreiche Ver- und Entsorgungsmöglichkeiten überprüft um darauf aufbauend Empfehlungen abzuleiten.

Die vorliegende Untersuchung stellt die Ergebnisse der Projektphase I vor. Sie beschreibt und bewertet den Status quo der Wasserver- und -entsorgung an zwei ausgewählten Standorten im Mekong Delta, wobei insbesondere eingegangen wird auf die Wasserverfügbarkeit (qualitativ und quantitativ), die Nährstoffe und hygienischen Belastungen, die sozioökonomischen Gegebenheiten und die sich für den vorliegenden Landschaftsraum ergebenden Möglichkeiten der Wiederverwendung von Substraten aus der Abwasserbehandlung in der Landwirtschaft.

1.3 Vorraussetzungen und Ablauf

Nach Projektbewilligung im Dezember 2002 begannen die vorbereitenden Arbeiten in Deutschland (Materialbeschaffung, Verschiffung etc.) und in Vietnam (Auswahl der

Untersuchungsstandorte, Besorgen von Genehmigungen, u.a.).

Im März 2003 wurden nach dem Kick-off-workshop in Can Tho die Arbeiten vor Ort aufgenommen. In deutsch-vietnamesischen Arbeitsgruppen bearbeiteten Wissenschaftler der Universitäten Bonn und Bochum mit Mitarbeitern der Universität Can Tho die Fragestellungen des Projektes. Die für die Felduntersuchungen ausgewählten Standorte waren den vietnamesischen Mitarbeitern bereits bekannt, wodurch neben der Ortskenntnis auch ein guter Kontakt zu den Landwirten bestand.

Die Felduntersuchungen der AG Stoffflüsse und Hygiene starteten im Mai 2003, die der AG Agrarökologie, Wasserbau sowie Sozioökonomie im Herbst 2003. Die detaillierten Untersuchungsprogramme sind den Teilberichten zu entnehmen.

Die Universität Can Tho als die zentrale Lehr- und Forschungseinrichtung im Mekong-Delta besitzt Laborkapazitäten, in denen nach Einführung entsprechender Methodik mikrobiologische und ein Teil der chemischen Analysen durchgeführt werden konnten.

Die Arbeiten wurden durch die deutsche Koordination vor Ort begleitet, deutsche Doktoranden und Diplomanden an den Untersuchungen beteiligt. Mehrere vietnamesische Wissenschaftler konnten zu Studienaufenthalten deutsche Institute besuchen.

1.4 Stand der Wissenschaft und Technik:

Überblick über die Wasserver- und -entsorgung im Mekong Delta

Im Mekong Delta leben 17 Millionen Einwohner auf 40.000 km², die Besiedlungsdichte variiert zwischen den verschiedenen Provinzen des Deltas. Die Siedlungen erstrecken sich meist linear entlang der Kanäle.

Urbane Bereiche

Can Tho ist mit 350.000 Einwohnern die größte Stadt des Deltas. Ihr Zentrum wird mit aufbereitetem Oberflächenwasser aus dem städtischen Wasserwerk versorgt. Dort wird auch – nach weiterer Aufbereitung – Trinkwasser abgefüllt und vertrieben.

Für die Behandlung des häuslichen Abwassers gibt es keine Kläranlage. Es wird im zentralen Teil der Stadt über Kanalleitungen direkt dem Mekong zugeführt. Ein Teil der Haushalte ist mit Absetzgruben („sanitary tanks“) ausgestattet. Entlang der Kanäle befinden sich Latrinen auch direkt über dem Kanal bzw. Fluss.

Industriebetriebe sind verpflichtet, Abwasserreinigungsanlagen zu betreiben.

Ländlicher Raum

Im ländlichen Raum existieren zur Wasserversorgung teilweise kleinere Stationen, die um die 100 Haushalte mit Grundwasser versorgen. Ein großer Teil der Bevölkerung gewinnt Oberflächen- und/oder Grundwasser, teilweise auch Regenwasser in Einzelversorgungen je Haushalt.

Häusliche Abwässer sowie Abwässer aus der Tierhaltung werden meist direkt in die Oberflächengewässer geleitet.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das kommunistisch regierte Land erlaubt seit 1995 durch seine „Doi-moi“-Politik Kontakte mit dem Ausland, die u.a. zu Wirtschaftswachstum und erhöhter Bautätigkeit führten. Diese Öffnung vollzieht sich schrittweise und lässt langsam auch die Veröffentlichung bzw. Herausgabe von Daten zu.

Im Kontakt mit verschiedenen regionalen und überregionalen Instituten konnten wir Informationen zu den relevanten Wasser und Umwelt erhalten.

Direkter Kontakt bestand zum zuständigen Ministerium MOST (Ministry of Science and Technology). Ansonsten wurden die nachgeordneten Behörden der für den Wasser- und Umweltbereich relevanten Ministerien (Ministry of Natural Resources and Environment (MONRE), Ministry of Agriculture and Rural Development (MARD), Ministry of Health (MOH)) kontaktiert.

Neben der Universität Can Tho mit der der Technischen Fakultät (Center of Environmental Technology and Renewable Energy) und der Landwirtschaftlichen Fakultät (Institute of Natural Resources Management, Farming System R&D Institute) sind als wesentliche Kontakte zu nennen:

- Department of Hydrogeology and Engineering of Southern Vietnam (DHRS)
- Southern Institute of Water Resources Research (SIWRR)
- Southern Institute of Water Resources and Planning (SIWRP)
- Hydro-Meteorological Service (HMS)
- Nong Lam University, HCMC, Faculty of Technology

- Department of Natural Resources and Environment (DONRE) Can Tho, Environmental Monitoring Station (EMS)
- Department of Science and Technology Can Tho (DOST)
- Can Tho Water Supply and Sewerage Company (CTWSSC)
- Centre for Rural Water Supply (CERWAS)
- Preventive Health Centre
- Agricultural Extension Service,
- Farmer´s Union, Woman´s Union u.a.

Daneben bestanden Kontakte zu internationalen Organisationen

- DANIDA (Caules Can Tho)
- WHO (Collaboration Centre)
- Gtz (Sektorvorhaben Ecosan, Büro Hanoi, CIM)
- Kfw (Büro Hanoi, Bonn)
- DED (Büro Hanoi)
- DAAD (Büro HCMC, Hanoi)

1.6 Mekong Delta: Naturraum und Landwirtschaft

Topographie und Klima

Abgesehen von wenigen Erhebungen an der Grenze zu Kambodscha ist die Topographie des Mekong-Deltas sehr eben, die Meereshöhe beträgt 0-3 m.

Seine Lage in Südostasien auf 8,5-12,5° nördlicher Breite bedingt ein tropisches Monsun-Klima, das charakterisiert ist durch hohe Temperaturen (mittlere Monatsmitteltemperaturen 26,6-27,5°C) und hohe Luftfeuchte (81-85%). Die Evaporation liegt deutlich unterhalb der Niederschlagsmenge. Das Gebiet liegt von November bis April im Einfluss von Nordost-, von Mai bis Oktober von Südwest-Monsun (regenreich), wobei an mehr als 120 Regentagen im Jahr Niederschlagsmengen von 1200-2300 mm (1600 mm in Can Tho) erreicht werden.

Hydrogeologie

Das Mekong-Delta ist durchzogen von einem dichten Netz von Flussarmen und Kanälen, die neben der Wasserversorgung auch als Verkehrswege dienen. Jährlich, zwischen Juni-November finden in weiten Bereichen (1.4-2 Mio. ha) Überschwemmungen statt.

Das Delta steht entlang der 650 km langen Küste im Kontakt mit Meeren (Golf von Thailand, Südchinesisches Meer), die bis weit ins Inland die Gewässer durch ihre Tide beeinflussen.

In den geologisch jungen Sedimenten, die auf älteres Muttergestein abgelagert wurden, befindet sich erst in größerer Tiefe (ca. 100 m) in pleistozänen Ablagerungen ein nutzbarer Grundwasserleiter. Versalzung des Grundwassers stellt insbesondere entlang der Küsten ein Problem dar.

Böden

Sulfatsaure Böden bedecken etwa 46% der Fläche. Insbesondere in der Plain of Reeds und im Gebiet um Long Xuyen sind diese zu finden. Ein niedriger pH und Nährstoffmangel bzw. Toxizität limitieren den Pflanzenbau auf diesen Böden. Die zu Beginn der Regenzeit ausgewaschene Schwefelsäure kann in den umliegenden Oberflächengewässer zu Problemen wegen der starken pH-Absenkung führen.

Im Überflutungsbereich des Mekongs, wo Flusssediment abgelagert wurde („top layer“: 20 cm bis >1 m), entstanden - vor allem entlang des Mekong und Bassac-Armes - alluviale Böden. Sie enthalten einen hohen Anteil Schluff, sind sehr nährstoffreich und erlauben mehrere Ernten pro Jahr. Daneben finden sich „Graue Böden“ sowie Saline Böden entlang der Küstenlinie.

Landwirtschaft

75 % der Fläche wird landwirtschaftlich genutzt, i.d.R. durch kleine Familienbetriebe von weniger als 1 ha Größe. Auf dem größten Teil der Felder (¾ der Flächen) wird Reis angebaut, wobei an geeigneten Standorten bis zu drei Ernten pro Jahr Praxis sind. Daneben ist Obstbau sehr verbreitet.

Die Tierhaltung im Delta umfasst hauptsächlich Schweine (2,9 Mio) und Geflügel. Die noch 2002 vorhandene Anzahl von ca. 46 Mio wurde durch die Vogelgrippe stark reduziert.

Aquakultur wird - wie im übrigen Vietnam - auch im Mekong Delta ausgebaut.

Wald oder forstwirtschaftlich genutzte Flächen sind nur in Resten vorhanden.

1.7 Untersuchungsstandorte

Die untersuchten Standorte liegen in der Provinz Can Tho, die Anfang 2004 – nach Abschluss der Datenerhebung für den vorliegenden Bericht - von der Regierung in die Stadt Can Tho und die Provinz Hau Giang geteilt wurde.

Die benachbarten Orte („communes“) An Binh und Long Tuyen liegen ca 15 km im Nordwesten der Stadt Can Tho, der Standort Hoa An ca. 40 km südwestlich der Stadt im Distrikt Phung Hiep.

Die Standorte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Besiedlungsdichte und –struktur, der landwirtschaftlichen Nutzung, dem Bodentyp sowie der Wasserqualität und –verfügbarkeit (Übersicht siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Charakteristische Kenngrößen der Untersuchungsstandorte

	AB	LT	HA
Fläche [ha]	1100	1400	5000
Einwohner	19800	12933	17812
Haushalte	3231	2657	3236
Vorw. Bodentyp	Alluvial		Sulfatsaure Böden
Hauptkultur	Reis		Reis
Weitere Kulturen	Obstbau		Zuckerrohr, Maniok
Wasserressource	Grund/Oberfl.		Oberflächenwasser

2 Arbeitsgruppe Hydrogeologie: Erkundung der Wasserressourcen und Ihrer Nutzbarkeit für die Trinkwasserversorgung

Harro Stolpe, Thomas Nuber, Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum

2.1 Einleitung

Im Rahmen des SANSED-Projekts wurde vom Lehrstuhl Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen der Ruhr-Universität Bochum das Teilprojekt 2 „Erkundung der Wasserressourcen und Ihrer Nutzbarkeit für die Wasserversorgung“ bearbeitet.

Ziele des Teilprojekts sind:

- die Beschreibung der Ist-Situation der Wasserressourcen und ihrer Nutzung bzw. Beeinträchtigung,
- die Erstellung einer Prognose für die weitere Entwicklung hinsichtlich der Nutzbarkeit,
- und die Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen für eine Verbesserung der Trinkwasserversorgung.

Verantwortlich für die Trinkwasserversorgung im ländlichen Raum ist das „Center of Rural Water Supply“, das im Jahre 1989 von der UNICEF gegründet wurde. Seit Mitte der 1990er Jahre untersteht es direkt dem Volks-Komitee der Provinz Can Tho.

Das „Center of Rural Water Supply“ koordiniert u. a. den Bau von Grundwasser- und Oberflächenwasserwerken. Die Größe der Grund- und Oberflächenwasserwerke ist von der Bevölkerungsdichte abhängig. In Bereichen mit einer mittleren Bevölkerungsdichte versorgt ein Wasserwerk zwischen 100 und 150 Haushalte, bei einer höheren Bevölkerungsdichte um die 600 Haushalte. Der Wasserpreis liegt einheitlich bei 2.500 VND/m³ (ca. 0,20 Euro).

In den weniger dicht besiedelten Gebieten sind die sog. UNICEF-Brunnen weit verbreitet, die mit Handpumpen oder einfachen elektrisch betriebenen Saugpumpen ausgestattet sind.

Insgesamt sind dem „Center of Rural Water Supply“ nahezu 55.000 UNICEF-Brunnen bekannt. Die tatsächliche Anzahl dürfte jedoch weitaus höher sein.

Haushalte, die nicht an Wasserversorgungseinrichtungen angeschlossen sind bzw. die keinen Zugang zu einem Brunnen haben, entnehmen zu Trinkwasserzwecken größtenteils Oberflächenwasser direkt aus den Kanälen oder greifen auf Regenwasser zurück.

Der ländliche Raum der Provinz Can Tho ist charakterisiert durch eine hohe landwirtschaftliche Flächennutzung, insbesondere Reisanbau. Die Bewässerung erfolgt durch Kanalwasser. Viele Farmen betreiben Schweine- und/oder Fischzucht. Häusliche Abwässer und Abwässer aus den Ställen werden dabei direkt in die Oberflächenwasser geleitet.

Die sich daraus ergebenden Wirkungszusammenhänge sind in Abbildung 1 dargestellt.

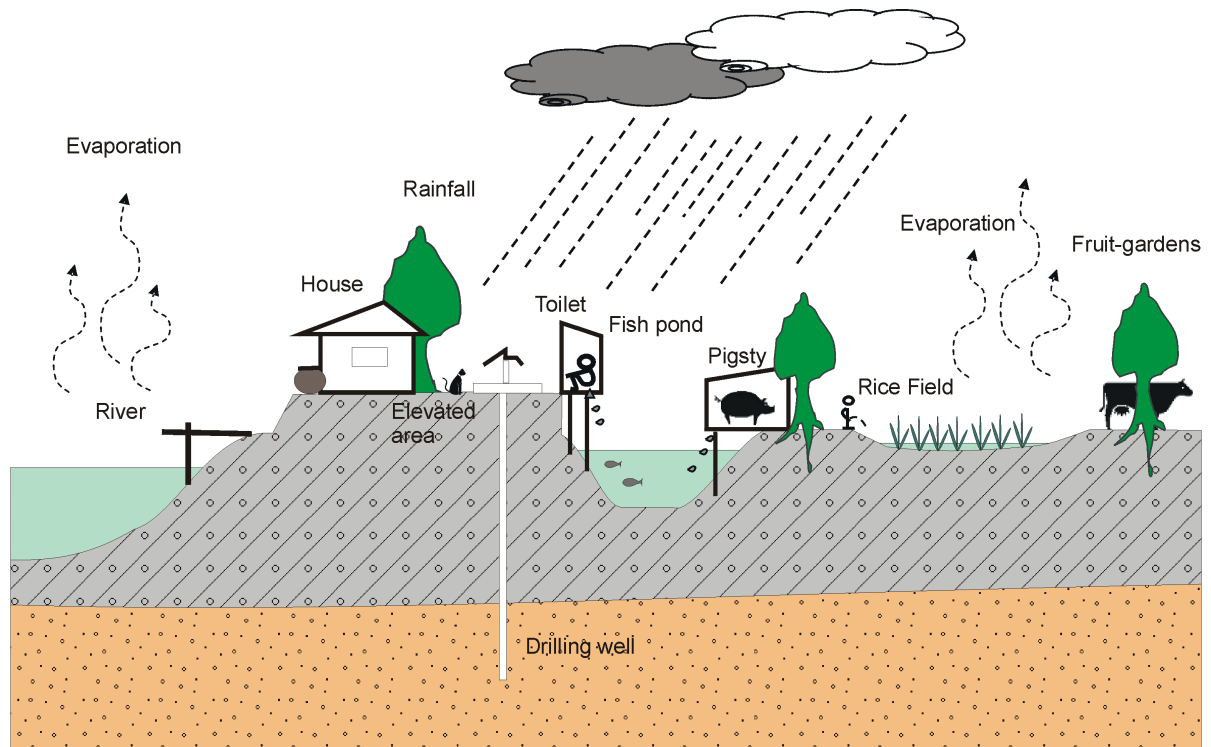


Abbildung 1: Wirkungszusammenhänge

2.2 Untersuchungskonzept

Für die gesamte Provinz Can Tho erfolgte eine Bestandsaufnahme bzgl. wasserwirtschaftlicher, hydrologischer und hydrogeologischer Verhältnisse. An den beiden Modellstandorten An Binh und Hoa An wurde ein weitreichendes Vor-Ort-Untersuchungsprogramm durchgeführt.

Zur Bestandsaufnahme der Provinz Can Tho erfolgte eine Recherche bei regionalen wie auch überregional zuständigen Institutionen und Fachbehörden. Hierbei lag der Schwerpunkt auf Berichten, Gutachten, Karten sowie Daten zu Hydrologie, Hydrogeologie, Grundwasser, Oberflächenwasser und Regenwasserqualität.

Grundlagen des Vor-Ort-Untersuchungsprogramms für die Modellstandorte An Binh und Hoa An waren Kartierungsarbeiten in beiden Gebieten. Die Ergebnisse wurden in ein Geoinformationssystem (GIS) übertragen, das Angaben zur Flächennutzung, Grundwasserbrunnen, Verlauf und Fließrichtungen der Fließgewässer und Bewässerungskanälen beinhaltet.

Ergebnis der Kartierungs- und Recherchearbeiten ist für die Modellstandorte An Binh und Hoa An das in Tabelle 1 dargestellte Vor-Ort-Untersuchungsprogramm.

Die Durchführung des Vor-Ort-Untersuchungsprogramms erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Universität Can Tho. Die Dokumentation der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe eines GIS, die Auswertung mit entsprechender Software.

Tabelle 2: Vor-Ort-Untersuchungsprogramm

Titel	Untersuchungsziel
Funktionstests der Handpumpenbrunnen	Untersuchungen zu Qualität der sog. UNICEF-Handpumpen
Slug & Bail Tests	Bestimmung der Transmissivität der Grundwasserleiters
Untersuchung von Grund- und Oberflächenwasser, Regenwasserspeicher, zus. Wasservorkommen	Bestimmung der chemischen und hygienischen Eigenschaften der verschiedenen Wasserressourcen
Probenahme und Untersuchung von Flusssedimenten	Bestimmung der Korngrößenverteilung, Bestimmung der chemischen Eigenschaften der Sedimente
Hydrologische Untersuchungen	Bestimmung des Tidehubs zur Abschätzung des täglichen Austauschvolumens. Bestimmung der Fließrichtungen der Fließgewässer unter besonderer Beachtung der herrschenden Tideverhältnisse

2.3 Ergebnisse und Diskussion

Der Grundwasserkörper im Bereich der Provinz Can Tho ist aus fünf Grundwasserstockwerken aufgebaut. Für die Nutzung von Grundwasser zur Trink- und Brauchwasserversorgung wird hauptsächlich das zweite Grundwasserstockwerk (Oberes Pleistozän) genutzt.

Die Slug & Bail Tests ergeben für den Standort An Binh Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $1,9$ und $4,1 \cdot 10^{-4}$ m/s, für Hoa An liegen die Werte zwischen $3,5 \cdot 10^{-4}$ m/s und $3,6 \cdot 10^{-4}$ m/s bestimmt. Die Werte entsprechen feinkörnigem und mittelkörnigem Sand.

Für das zweite Grundwasserstockwerk können für die gesamte Provinz Can Tho drei unterschiedliche Grundwassertypen hinsichtlich der Nutzung zu Trinkwasserzwecken unterschieden werden (siehe Tabelle 2).

Tabelle 3: Grundwassertypen in der Provinz Can Tho

	Chlorid [mg/l]	Härte [mg/l CaO]	Fe-II [mg/l]	Bewertungsstufe
Typ I	< 200	< 80	1 – 2	gut geeignet
Typ II	200 - 600	80 – 180	2 – 5	geeignet
Typ III	> 600	> 180	5 – 10	ungeeignet

Die Analyseergebnisse der Grundwässer für die Standorte An Binh und Hoa An sind in Tabelle 3 aufgeführt. Das Grundwasser des Standorts An Binh liegt im Übergangsbereich zwischen den Bewertungsstufen „gut geeignet“ und „geeignet“. Am Standort Hoa An entsprechen die Grundwasservorkommen dem Typ III und sind damit für die Trinkwassernutzung ungeeignet.

Tabelle 4: Analyseergebnisse Grundwasser

		An Binh	Hoa An
pH	[-]	6,5 – 7	6,5 – 6,6
Leitf.	[μ S/cm]	1000 - 1300	3800 – 4100
Cl ⁻	[mg/l]	150 -250	880 – 1200
Wasserhärte	[mg/l CaO]	80 - 130	560 - 630
Fe-II	[mg/l]	1,6 – 2,5	6,2 – 7,1

Zudem gibt es in der Provinz Can Tho Anzeichen für eine Übernutzung der Grundwasservorkommen. Der Grundwasser(druck)-spiegel fiel innerhalb der letzten fünf Jahre mit einem Trend von durchschnittlich 0,6 bis 1 m/a. Bei einer Fortsetzung dieses Trends würde der Grundwasserspiegel mittel- bis langfristig auf mehr als 8 m unter Geländeoberkante absinken. Das bedeutet, dass in ca. fünf bis zehn Jahren sowohl die Handpumpen der UNICEF-Brunnen als auch Elektropumpen zur Grundwasserförderung nicht mehr geeignet wären.

Die Oberflächenwasser werden vor allem durch direkte Einleitung von häuslichen Abwässern, einer hohen Feststofffracht, Versauerungserscheinungen durch sulfatsaure Böden sowie Rückstände fossiler Brennstoffe und einer hohen landwirtschaftlichen Belastung verschmutzt. Bei beiden Untersuchungsgebieten liegen die Hauptprobleme der Oberflächenwasser hauptsächlich beim Gehalt an Feststoffen u. a. durch einen hohen Tonanteil und der hygienischen Belastung. Weder Rückstände von Pestiziden noch von fossilen Brennstoffen konnten bei den Standorten nachgewiesen werden. Das gleiche gilt für Nährstoffbelastungen und organische Belastungen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 5: Analyseergebnisse Oberflächenwasser

		An Binh	Hoa An
pH	[-]	6,5 – 6,8	6,2 – 6,6
BSB ₅	[mg/l]	1,5 – 2	1,5 – 2
NH ₄	[mg/l]	0, 1 – 0, 8	0,05 – 0,1
PO ₄	[mg/l]	< 0,5	< 0.5
Pestizide	[mg/l]	n.n.	n.n.
Mineralöl-KW	[mg/l]	n.n.	n.n.
E.Coli	[MPN]	$2 * 10^3 - 7 * 10^4$	$3,5 * 10^4$
Coliformes _{tot}	[MPN]	$2 * 10^4 - 7 * 10^6$	$1,6 * 10^6$

Zusätzlich zu den Bestimmungen der hydrochemischen Verhältnisse von Grund- und Oberflächenwasser konnte durch die Funktionstests der Handpumpen gezeigt werden, dass es erhebliche Qualitätsunterschiede zwischen den original UNICEF-Pumpen und billigen Fälschungen gibt, die seit ein paar Jahren verstärkt auf den Markt drängen. Sowohl die Wirkungsgrade als auch das Verhältnis zwischen Fördermenge und dazu benötigter Pumpenleistungen der Kopien liegt bei durchschnittlich 50 – 65 % der Originalpumpen. Weiter zeigte sich, dass die Fälschungen eine erhebliche kürzere Lebensdauer als die Originalpumpen

besitzen. Dieses ist bedingt durch eine labilere Bauweise und der Verwendung schlechterer Eisenlegierungen als Werkstoff.

Als wesentliches Ergebnis der durchgeführten Arbeiten stehen detaillierte Karten für die beiden Untersuchungsstandorte, die die Untersuchungsergebnisse darstellen. Sie beinhalten Angaben zur Flächennutzung, Lager der Grundwasserbrunnen, Grundwasser- und Oberflächenwasserqualität, Grundwasserstände sowie Verlauf und Fließrichtung der Oberflächenwasser etc. Neben den Karten für die Projektstandorte wurden Karten zu Hydrogeologie, Grund- und Oberflächenwasser sowie Meteorologischen Messstellen, Punktuelle Grundwasserentnahmen, Bevölkerungsdichte und UNICEF-Brunnen für die Provinz Can Tho erstellt.

2.4 Schlussfolgerungen

Beide Modellstandorte sind für die Verhältnisse der Provinz Can Tho typisch und somit für die Implementierung exemplarischer Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserversorgungssituation, die u.a. bzgl. der Wasseraufbereitung sowie der Wirtschaftlichkeit verbesserungswürdig ist, geeignet.

Der Standort An Binh besitzt Grundwasservorkommen, die mit einer angepassten Aufbereitung, für Trinkwasserzwecke verwendet werden können. In Hoa An ist das Grundwasser u. a. aufgrund des hohen Chloridgehalts nicht für die Trinkwassernutzung geeignet. An beiden Standorten kann Oberflächenwasser für die Trinkwasserversorgung genutzt werden. Der Schwerpunkt der Aufbereitung ist hier jedoch auf die Vorbehandlungsstufen zu legen, u.a. aufgrund eines hohen Tonanteils der Schwebstofffracht in den Oberflächengewässer. Weiter gilt es, ein Wassermengenkonzept, das u. a. auch Regenwasser als Trinkwasserquellen mitberücksichtigt, aufzustellen. Dabei müssen die Wasserqualität und Wassernutzung berücksichtigt werden.

Generell sind jedoch für eine mittel- bis langfristige Sicherstellung der Wasserversorgung im ländlichen Bereich Wasserbedarfprognosen und Untersuchungen hinsichtlich der nachhaltigen Nutzung der Ressourcen durchzuführen. Hier gilt es u. a. die Auswirkungen des wachsenden Wasserbedarfs durch das rasante Wirtschaftswachstum und z. B. einer erhöhten Grundwasserförderung zu berücksichtigen.

Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserversorgung an den beiden Standorten könnten exemplarisch für Gebiete mit ähnlichen Randbedingungen dienen. Hierbei ist auch die Übertragbarkeit dieser Maßnahmen auf diese Gebiete zu überprüfen.

3 Arbeitsgruppe Stoffflüsse: Untersuchungen zu bestehenden dezentralen Behandlungssystemen

Joachim Clemens, Ute Arnold, Institut für Pflanzenernährung, Universität Bonn
Tran Khuu Tien, Le Hoang Viet, College of Technology, Universität Can Tho

3.1 Einleitung

Nährstoffflüsse in bzw. aus Haushalten und Betrieben stellen die Grundlage für die Planung und Dimensionierung dezentraler Abwassersysteme dar. Kenntnisse zu Nährstoffflüssen sind entscheidend, um Ungleichgewichte in der Verteilung von Nährstoffen und Verluste aus dem System zu erkennen und auszugleichen.

Ziel der Untersuchungen der Projektgruppe war die Ermittlung von Stoffflüssen an ausgewählten Standorten, die Beschreibung des Status quo der Wasserver- und Abwasserentsorgung, sowie die Möglichkeiten zur Behandlung von Trinkwasser, Abwasser und Abfall an den Standorten.

3.2 Material und Methoden

In einem ersten Schritt wurde der Status quo von Ver- und Entsorgungseinrichtungen durch Auswertung von Unterlagen und Literatur, Ortsbegehungen und Befragung lokaler Experten erhoben.

Ein einjähriges Monitoring erfolgte ab Mai 2003 in zwei typischen landwirtschaftlichen Betrieben in Long Tuyen (LT) und An Binh (AB), die bereits Anlagen zur Behandlung von Abwasser besitzen.

Das Abwasser aus der Schweinehaltung wird jeweils über eine Biogasanlage (Feste Domanlage in LT, Folien-Fermenter in AB) von 8 m³ einem nachgeschalteten Fischteich zugeführt.

Die Untersuchungen erfolgten abgestimmt, parallel zu denen der Arbeitsgruppe Hygiene.

Die folgenden Untersuchungen dienen zur Ermittlung der Effektivität der Anlagen und der Berechnung von Nährstoffflüssen:

- Monatliche Probennahme von Trink- und Abwasserproben, incl. vor Ort Messung der Feldparameter (Geruch, Farbe, Aussehen, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH, gelöster Sauerstoff, Redoxpotential)
- Analysen von charakteristischen Abwasserparametern (BOD₅, COD, Trübung), Nährstoffen (NH₄, NO₃, Gesamt-N, P, K) und Schwermetallen, z.T. im Labor in Can Tho (nach Verbesserung von Kjeldahl-, Nitrat-, Ammonium-, BSB-Analytikmethoden), z.T. in Bonn.
- Ermittlung der Volumina durch eigene Messungen, Befragung und Auswertung eines Betriebsbuchs

Zusätzlich wurden verschiedene Substrate auf ihre Eignung zur Kompostierung und Vermikompostierung untersucht.

3.3 Ergebnisse und Diskussion

3.3.1 Trinkwasser

Die Befragung und Beobachtungen zeigten, dass als Trinkwasserquellen im Mekong Delta Grund-, Oberflächen- und Regenwasser genutzt wird, das teilweise in Einzel- oder kleineren Gemeinschaftsanlagen aufbereitet wird.

Beide ausgewählten Haushalte besaßen Grundwasserbrunnen mit einer Tiefe von ca. 100 m. Sie nutzen dieses Wasser als Koch- und Brauchwasser. Aufgrund der geschmacklichen Beeinträchtigung wird es im Haushalt An Binh nicht als Trinkwasser genutzt, was angesichts der relativ hohen Leitfähigkeit von 1360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erklärbar ist. Dort wird Oberflächenwasser schrittweise mittels Flockung, Abkochen und Filtration (Keramikfilter) aufbereitet.

Die Zugabe von Aluminiumsulfat als Flockungsmittel verringerte die starke Trübung des Oberflächenwassers in AB von 42 auf 1,6 NTU deutlich. Die Stickstoff-Konzentrationen sind relativ gering ($\text{NO}_3\text{-N} < 2$, $\text{NH}_4\text{N} < 1$ mg/L). BSB_5 , CSB, P, K und Schwermetalle wiesen weitgehend unauffällige Werte auf, die sich im Verlauf der Aufbereitung nur gering verändern.

3.3.2 Abwasser

Die nährstoffreichste Fraktion des häuslichen Abwassers stellt üblicherweise das Schwarzwasser dar. Nährstoffreich sind auch die Ausscheidungen aus der Tierhaltung.

Basierend auf den Informationen des Statistischen Behörde der Provinz (2002), errechneten wir den Stickstoffgehalt in dieser Fraktion. Insgesamt ergeben sich für die Provinz Can Tho 12.500 t N/Jahr, die kapp zur Hälfte aus menschlichen Ausscheidungen (5550 t), daneben aus der Schweine- (3200 t) und Geflügelhaltung (3700 t) stammen. Beim aktuellen Marktpreis von 0,41 € kg^{-1} N (Preis für Harnstoff-Mineraldünger: 3500 VND kg^{-1}) ergäbe sich ein theoretischer Wert des Düngersubstrates von 5 Mio € pro Jahr.

Abwasser aus Küche und Waschplatz (Grauwasser) enthält erfahrungsgemäß weniger Nährstoffe, jedoch häufig höhere Konzentrationen an anorganischen und organischen, schwerer abbaubaren Substanzen.

Abwässer aus den Haushalten und der Tierhaltung bleiben häufig ungenutzt und fließen über folgende Hauptwege ab:

1. Ungeklärt in Kanäle und Flüsse:
Toiletten im oder am Haus direkt über dem Kanal sind verbreitet, in zentralen Innenstadtbereichen leiten Rohrleitungen das Abwasser unbehandelt in offene Kanäle.
2. Ungeklärt in Fischteiche:
Haushalte mit Fischteich - sehr verbreitet im außerstädtischen Bereich (90% der von der AG Soziologie untersuchten Haushalte) - besitzen häufig Toiletten über diesem (58% der untersuchten Haushalte, Wieneke 2005). Auch das Abwasser aus der Schweinehaltung wird oft mit eingeleitet.
3. Absetzgruben/Komposttoiletten:
In der Stadt Can Tho sollen 18% der Haushalte mit Absetzgruben (septic tanks) ausgestattet sein. Im Untersuchungsgebiet besitzen nur einige wenige Haushalte Absetzgruben oder Komposttoiletten. Die vom Health Prevention Center geförderten

Anlagen (self-infiltration tank) stehen mit dem Grundwasser in Kontakt und müssen daher nur selten oder nie geleert werden. Neben diesem Typ sind von der Regierung (Ministry of Health) auch Zwei-Kammer-Gruben sowie trockene Kompost-Toiletten zugelassen.

4. Biogas-Anlagen

Ein kleiner Teil der landwirtschaftlichen Betriebe (< 5%) besitzt kleine Biogasanlagen (1-15 m²) mit Kochgas-Nutzung, in die i.d.R. das Abwasser aus der Schweinehaltung eingeleitet wird, gelegentlich auch menschliche Exkremete (im untersuchten Gebiet ~ 0,5%). Das ablaufende Wasser fließt z.T. dem nachgeschalteten Fischteich, einem Bewässerungskanal oder keiner weiteren Nutzung zu.

Der am meisten verbreitete Typ ist ein schlauchförmiger Fermenter (Durchmesser ca. 1 m) aus einer mehrschichtigen PE-Folie. Neben dem Zu- und Abfluss an den Enden befindet sich oben ein Gasaustritt, der das Gas i.d.R. einem (auch aus Folie bestehendem) Zwischenspeicher zuführt. Teilweise befinden sich Fermenter im Teich schwimmend. Diese Anlagen sind trotz begrenzter Lebenszeit aufgrund ihres Preises von ca. 30 € sehr attraktiv. Nach Angaben von Herrn H.A. Dung vom Agricultural Extension Service der Provinz Can Tho (mündl. Mitteilung, 2004) sind in der Provinz seit 1997 bereits mehr als 10.000 Anlagen verkauft worden.

Weniger verbreitet ist ein fester Domreaktor („fixed-dome“), der mit ca. 300 € nur von wohlhabenden Landwirten erworben werden kann. Aufgrund von Krediten durch Entwicklungshilfeprojekte und der fachlich-technischen Unterstützung durch die Universität Can Tho sind im Umkreis von Can Tho Stadt eine ganze Reihe dieser festen Domanlagen zu finden. Andere Typen, wie z.B. „Floating-dome“-Reaktoren wurden nicht gesichtet.

Monitoring

Die beiden näher untersuchten Betriebe leiten das beim reinigen der Schweineställe anfallende Abwasser (640 bzw. 1200 l/d) über eine Biogasanlage (Feste Domanlage in LT, Folien-Fermenter in AB) in einen Fischteich. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die im Verlauf eines Jahres an einem der beiden Standorte aufgetretenen Messwerte.

Tabelle 6: Analyseergebnisse Standort Long Tuyen

		Abfluss Stall	Ablauf Biogasanlage	Fischteich	Kanal	Grenzwert Oberfl.was
Temperatur	[°C]	26,6 – 30,3	25,8 – 30,0	27,5 – 31,0	26,1 – 29,9	
pH		6,5 – 7,7	6,7 – 7,2	6,5 – 7,0	5,8 – 7,3	
EC	[µS/cm]	940 - 2710	3090 - 4310	112 – 317	133 – 272	
DO	[mg/l]	0,1 – 2,5	0 – 0,3	0,7 – 5,7	1,7 – 3,8	
Trübung	[NTU]	380– 740	140 – 390	19 - 110	39 – 65	
CSB	[mg O ₂ /l]	2400-13900	270 - 5170	8 – 72	4 - 38	
BSB ₅	[mg O ₂ /l]	1020 - 2920	59 – 501	4,6 – 29	1,3 – 17	
NH ₄ -N	[mg/l]	18 – 96	57 – 411	n.n. – 3,2	n.n. – 0,5	
Kj.-N	[mg/l]	97 – 360	233 – 372	1 – 6,3	1 – 3,2	

Beide untersuchten Biogas-Anlagen reduzieren den Biologischen Sauerstoffbedarf (BSB₅) in der gleichen Größenordnung auf ca. 20% des Ausgangswertes, der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) wird nur in der Anlage in Long Tuyen signifikant gesenkt. In An Binh übersteigt in einigen Messungen am Ende des Untersuchungszeitraumes der CSB-Abfluß- sogar den Einfluß-Wert. Die Ursache hierfür dürften temporäre Schwankungen sein sowie die wachsende Sediment-Akkumulation in der Schlauchanlage AB zu nennen, die durch die Verkleinerung des Reaktorvolumens die errechnete kurze hydraulische Retentionszeit (HRT) von 7 Tagen weiter verringerte und durch Austrag des akkumulierten Schlammes am Ende der Untersuchungsperiode zum Netto-Gewinn beitrug.

Organisch gebundener Stickstoff wird während der Vergärung zu Ammonium abgebaut, weshalb die Konzentrationen im Abfluss der Biogasanlagen höher als im Einfluss sind. Dort wurden NH₄-Anteile am Gesamt-Stickstoff zwischen 50 % bis über 90% gemessen, was über den in deutschen Anlagen üblichen Werten liegt. Neben den höheren Temperaturen in Vietnam wird im Unterschied zu deutschen Biogasanlagen das Substrat stärker verdünnt und nicht gemischt.

Die Reinigungsleistung der Biogasanlagen reicht –insbesondere beim derzeitigen Management- nicht aus, um im Ablauf der Anlage die Grenzwerte für Oberflächenwasser zu erreichen. Die Werte waren im „fixed dome“-Reaktor in LT etwas besser als im Folienfermenter in AB, was aufgrund der dort längeren Verweilzeiten nicht zwingend auf die Technologie zurückzuführen ist.

Durch den nachgeschalteten Fischteich verbessert sich die Reinigungsleistung erheblich, so dass teilweise die vietnamesischen Grenzwerte der für nutzbares Oberflächenwasser (TCVN 912-1995) bzw. die „Domestic Wastewater Standards“ (TCVN 6772-2000) erreicht werden.

3.3.3 Feste Abfälle und Substrate

Organischer Abfall aus der Stadt wird zusammen mit dem Restmüll auf der Hausmülldeponie abgelagert. Nach Erhebungen der lokalen Behörde beträgt der organische Anteil im Müll von Can Tho > 60% (Vinh, 2004) und liegt damit in der für Vietnam genannten Größenordnung von 50-60% (MARD, 2002).

Im ländlichen Raum wird organischer Abfall aus dem Haushalt wird -soweit möglich- an Tiere verfüttert. In den befragten Haushalten nutzen ihn 43% für Schweine, 22% für die Aquakultur. In der Landwirtschaft fallen außer den Substraten aus der Tierhaltung periodisch Erntereste, wie z.B. Reisstroh an. Dieses wird in großen Mengen auf den Feldern verbrannt, teilweise auch als Substrat zur Pilzzucht verwendet.

Die Kompostierung oder Festmist-Nutzung ist im Süden Vietnams nicht verbreitet. Vereinzelt konnte eine mehrwöchige Trocknung von Biogasschlamm beobachtet werden. Ein Einsatz von periodisch anfallendem Biogas- und Teichschlamm zu Obstbäumen oder Blumen findet teilweise statt.

Im Rahmen des Projektes wurden zur Behandlung verschiedener Abfälle (Schweine-Rindermist, Biogas- und Teichschlamm) Versuche zur Kompostierung (Hedel, 2005) und der Vermikompostierung, d.h. Behandlung mittels Würmern (Fuchs, 2005) durchgeführt. Es zeigte sich, dass Rinder- und Schweineexkremate direkt gut von den Würmern verwertet werden, bei Biogasschlamm ist aufgrund seiner Konsistenz Behandlung bzw. Kosubstrat zu empfehlen.

Die Keimbelastung der entstehenden angenehm erdig, krümeligen Produkte ist erheblich reduziert, bei der Kompostierung betrug diese vier Log-, bei der Vermikompostierung mit zwei log-Stufen. Im Vergleich zur Kompostierung sind bei der Vermikompostierung die N-Verluste geringer, so dass eine bessere Ausnutzung der Nährstoffe erfolgt. Die zudem entstehenden Würmer stellen eiweißreiches Tierfutter dar, für das derzeit Preise bis zu 150.000 VND/kg erzielt werden. Der Verkaufspreis von Düngersubstrat liegt in der Größenordnung von 1000-2000 VND/kg.

3.4 Schlussfolgerungen

Generell lässt sich feststellen, dass die Nutzung von Nährstoffen aus organischen Abfällen und Abwasser im Mekong Delta nur teilweise und unkontrolliert erfolgt.

Die Reinigung von Abwasser ist nicht verbreitet, wodurch lokal stark erhöhte Nährstoff- und Keimbelastungen in Oberflächengewässern auftreten. Eutrophierung und Fischsterben können die Folge sein. Es bestehen jedoch vor allem gesundheitliche Gefahren, da Oberflächenwasser zu Trink-, Brauch- und Bewässerungszwecken genutzt wird.

Vorhandene Anlagen sind hinsichtlich ihrer Klärleistung meist nicht optimiert, da diese häufig aus anderen Zwecken (Gasnutzung, Geruchsreduzierung oder Fischzucht) betrieben werden und die Abwasserreinigung i.d.R. einen Nebeneffekt darstellt.

Die Untersuchungen zeigen, dass Optimierungsbedarf besteht. Bei den untersuchten Biogasanlagen sollte durch eine Erhöhung der Raumbelastung die Umsetzung und damit die Gausausbeute und Abbauleistung verbessert werden. Dies lässt sich häufig schon durch eine Reduzierung der Waschwassermenge erreichen. Außerdem sollte überschüssiger, sedimentierter Schlamm regelmäßig aus dem Reaktor entfernt werden um das Reaktorvolumen groß zu halten und einen Austrag unzersetzter organischer Substanz zu verhindern.

Bei Fischteichen, besteht bei direkter, unkontrollierter Einleitung von sanitärem Abwasser (mit hohem BSB) neben der Übertragung von Erregern die Gefahr von Sauerstoffzehrung und Fischsterben. Eine Vorbehandlung im Sedimentationsteich oder die Kombination mit Biogasanlagen erscheint sinnvoll.

Als interessante neue Methode zur Verwertung der Nährstoffe im Abwasser wird die Urin-Separierung erachtet, die z.B. in China und im Norden Vietnams praktiziert, im Süden Vietnams aber bisher weitgehend unbekannt ist. Aus der Gelbwasserfraktion erhält man aufgrund der im Urin konzentriert ausgeschiedenen Nährstoffe einen sehr nährstoffreichen, schnell wirksamen Dünger. Die humusreiche Braunwasser-Fraktion kann durch organische Substanz Bodeneigenschaften verbessern.

Eine Behandlung der anfallenden Substrate ist zur Reduzierung der hygienischen Belastung zu empfehlen. Dabei kann zudem die Struktur sowie Transport- und Vermarktungsfähigkeit erhöht werden. Versuche zur Vermikompostierung lassen dieses Verfahren als aussichtsreich erscheinen. Zur Verwertung von Biogasschlamm sollten geeignete Ko-substrate zugesetzt werden. Die herkömmliche Kompostierung stellt für bestimmte Substrate und entsprechende Verwertungen eine geeignete Behandlungsmethode dar. Eine Kobehandlung von tierischen und menschlichen Exkrementen wird – wo möglich – angeregt.

Zur Verbreitung erfolgreicher Methoden empfehlen sich Demonstrationsanlagen.

4 Arbeitsgruppe Hygiene: Mikrobiologische Belastung dezentraler Wasserwirtschaftssysteme und deren Auswirkungen auf die Öffentliche Gesundheit

Andrea Rechenburg, Friederike. Dangendorf †, Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit, Universität Bonn

Vo Thi Yen Phi, Nguyen Thi Thu Van, Nguyen Vo Chau Ngan, College of Technology, Universität Can Tho

4.1 Einleitung

Durch den internationalen Handel mit landwirtschaftlichen Produkten, Tierfutter und Düngemitteln entstehen Nährstoffflüsse innerhalb und zwischen den Nationen. Der Überschuss von Nährstoffen stellt vor allem in den industrialisierten Ländern Europas und den USA ein ernstes Problem dar. In nicht industrialisierten und Transformationsländern hingegen stellt die Entsorgung von Abwasser und Müll eine Gefahr für die öffentliche Gesundheit dar. Daher sind Erkenntnisse über die Verwertung von dezentralen Abwässern zur Bewässerung in der Landwirtschaft, als Dünger sowie deren Auswirkung auf die öffentliche Gesundheit sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene wichtig. Auf diesen Ergebnissen basierend können Konzepte entwickelt werden, die zum Ausgleich globaler Nährstoffflüsse beitragen.

Ziel des Hygiene-Moduls, welches vom Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit der Universität Bonn durchgeführt wurde, war die Einführung eines Monitoring-Programms für verschiedene Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsstrukturen, um Risiken abschätzen und die derzeitige Wasserqualität beurteilen zu können. Auch die Nutzung des Wassers zu Bewässerungszwecken wurde hygienisch überwacht. Daneben sollte das Infektionsrisiko der Bevölkerung und das Auftreten wasserbürtiger Erkrankungen im Untersuchungsgebiet analysiert werden.

4.2 Material und Methoden

Im Frühjahr 2003 wurden im Rahmen des Kick-Off-Workshops Untersuchungsstandorte begangen und Probenahmepunkte ausgewählt. Für das Monitoring wurde ein Haushalt mit einer gemauerten Biogasanlage in Long Tuyen und ein Haushalt mit einer Plastik-Biogasanlage in An Binh ausgewählt. Diese Haushalte liegen in Gebieten, zu denen bereits zahlreiche Untersuchungsergebnisse anderer Studien vorliegen. Für beide Haushalte erfolgte eine „sanitary-inspection“ nach den Vorgaben der WHO, um Infektionsrisiken resultierend aus Wasseversorgung und -entsorgung zu ergründen.

Die an der Universität Can Tho arbeitenden vietnamesischen wissenschaftlichen Mitarbeiter wurden im Frühjahr 2003 auf die bakteriologische Untersuchung von Wasser, Kompost und Sedimenten auf Indikatorbakterien und Salmonellen geschult und führten die monatliche Beprobung der Standorte durch. Seit Oktober 2003 wurden ausgewählte Proben auch auf Wurmeier untersucht. Neben dem hygienisch-mikrobiologischen Monitoring wurden die verfügbaren, vietnamesischen Statistiken und Berichte zu Themen der Öffentlichen Gesundheit gesammelt und ausgewertet. In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Soziologie wurden im Herbst 2003 in 218 zufällig ausgewählten Haushalten Daten zum Auftreten von Durchfallerkrankungen sowie zur Aufbereitung und zum Verzehr von Trinkwasser erhoben.

4.3 Ergebnisse und Diskussion

Trinkwasserquellen

Grundwasser wird vor allem in den periurbanen Gemeinden verwendet. Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass im Grundwasser immer wieder Kontaminationen mit Fäkalien auftreten (8 von 13 Proben).

In den ländlichen Gebieten wird hingegen häufig Oberflächenwasser als Trinkwasserquelle genutzt. Das Oberflächenwasser stammt aus Kanälen, Flüssen und Teichen, die mikrobiell und chemisch stark belastet sind (1.000 - 10.000 E.coli/100mL). Diese Wasserquellen dienen als Wasserweg für Schiffe, Müllkippen, Toiletten, Spülküchen, Waschsalon, Tierzuchtort und Badewannen.

In der Regenzeit wird gerne auf Regenwasser zu Trinkwasserzwecken zurückgegriffen. In vielen Orten finden sich Dachrinnen, die direkt in Lagerbehälter führen. Das Regenwasser hat unmittelbar nach der Sammlung eine gute chemische und mikrobiologische Qualität. Nach längerer Lagerzeit sollte es nur nach vorherigem Abkochen als Trinkwasser verwendet werden, da sekundäre Kontaminationen der Lagerbehälter zu erwarten sind.

Trinkwasseraufbereitung

In den befragten Haushalten im Untersuchungsgebiet verwenden nur 1 % ihr Trinkwasser ohne jegliche Aufbereitung. Sowohl Kombinationen verschiedener Aufbereitungsmethoden als auch Einsatz unterschiedlicher Aufbereitungsmethoden je nach Rohwasserart sind verbreitet. Die meisten Haushalte (38%) verwenden Aluminiumsulfat und Abkochen als Aufbereitungsmethoden. Dies umfasst alle Haushalte, die beide Methoden miteinander kombinieren, eine Wasserart mit einer Kombination und eine andere und mit nur einer Aufbereitungsmethode, oder je eine Methode auf eine bestimmte Rohwasserart anwenden. Andere Aufbereitungsmethoden umfassen Filtern und Abkochen (22%), ausschließliche Fällung mit Aluminiumsulfat und Verwendung von Chlor in Verbindung mit anderen Methoden (2,75 % aller Haushalte).



Abbildung 2: Übersicht über die Anzahl und Art der in den befragten Haushalten verwendeten Aufbereitungsmethoden

Die Lagerung und Aufbereitung erfolgt in großen Tonkrügen (150-200 L), die gegen Kontaminationen i.d.R. nicht oder nur unzureichend geschützt werden.

In beiden überwachten Haushalten wurden in jeder Probe gelagerten Wassers fäkale Kontaminationen mit Konzentration von 10-100 E.coli/100ml nachgewiesen. Bei diesen Wasserproben handelt es sich um gefälltes Oberflächen- bzw. Grundwasser, das aus den Lagerungsbehältern entnommen wurde. Auch wenn das Grundwasser vor der Lagerung hygienisch-mikrobiologisch einwandfrei war, fanden sich im gelagerten Wasser fäkale Verunreinigungen. Die Gründe für diese Kontaminationen liegen wahrscheinlich in der Lagerungszeit, der inadäquaten Reinigung der Gefäße, der Rekontamination durch Haustiere u.ä. Das gelagerte und aufbereitete Wasser ist nach den Guidelines for Drinking Water Quality (GDWQ) nicht zum Verzehr geeignet.

Abwasserentsorgung

Zur Zeit werden menschliche Abwässer i.d.R. ohne weitere Behandlung direkt in die Umwelt entsorgt. Dazu werden auch die offiziell verbotenen "Fish-toilets" genutzt.

In den untersuchten Haushalten wurden die Reinigungsleistungen der Biogasanlagen überprüft, da in diesen Anlagen in Zukunft auch menschliche Fäkalien verarbeitet werden sollen. Es ließen sich keine signifikanten Unterschiede in der Zusammensetzung des Zuflusses der beiden Biogasanlagen feststellen. Der Abfluss der Biogasanlagen unterscheidet sich jedoch. So ist die Reduktionsleistung bezogen auf den Fäkalindikator E. coli der Festen Domanlage (98,7%) deutlich besser als die der Plastikanlage (80%). Von den eingetragenen Wurmeiern werden in beiden Anlagen mehr als 50% reduziert. Ein Vorteil der Biogasanlagen liegt in der Verweildauer der Fäkalien, die in der Domanlage länger als in der Plastikanlage war (s. Stoffflüsse) Während dieser Zeit sedimentieren die Wurmeier auf den Grund und stellen im ablaufenden Wasser, welches zur Aquakultur oder Bewässerung verwendet wird, keine Gefährdung dar.

Nutzung des Wassers in der Landwirtschaft

Zur Zeit wird in der Landwirtschaft zum größten Teil Kanalwasser zur Bewässerung verwendet. Die von uns untersuchten Proben genügten nicht den mikrobiologischen Anforderungen der WHO für Bewässerungswasser.

Auch die Nutzung der Fäkalien in der Aquakultur stellt ein Infektionsrisiko dar. In den Teichen sedimentieren zwar die Helmintheneier, so dass eine Verwendung des Teichwassers zu Bewässerungszwecken risikoarm ist. Hingegen können bakterielle oder virale Krankheitserreger, die über die Fäkalien in das Wasser gelangen, dort bei warmen Temperaturen (ca. 25°C) Monate überleben.

Durchfallerkrankungen der Bevölkerung

Die durchschnittliche Anzahl an Durchfallerkrankungen pro Familie im Jahr beträgt 1,0 im Untersuchungsgebiet; für das Individuum liegt sie bei 0,19. Da in diesem Projekt eine einmalige Befragung durchgeführt wurde, die den Zeitraum von 12 Monaten abdeckte, kann davon ausgegangen werden, dass ein „Underreporting“ stattgefunden hat. Trotzdem wurde auch in diesem Projekt die höchste Erkrankungsrate bei Kindern unter 5 Jahren gefunden. Sie liegt bei 0,81 Durchfallerkrankungen pro Jahr und Kind und ist damit deutlich niedriger, als die von Tanh 1996 erhobenen Zahlen (1,6 pro Jahr und Kind).

In der Gemeinde Hoa An wurden die meisten Durchfälle pro Haushalt festgestellt (34 %). In dieser Gemeinde wird als Wasserquelle häufig Oberflächenwasser genutzt und die Bevölkerung hat nur ein geringes Bildungsniveau. Im Gegensatz dazu finden sich in Long Tuyen fast keine Durchfallerkrankungen, in An Binh aber in 19% der Haushalte. Dies ist erstaunlich, da zwischen An Binh und Long Tuyen deutliche Übereinstimmungen der Wassernutzung und Siedlungsstruktur bestehen. Mögliche Ursache könnten Bildungsunterschiede oder die zunehmende Verstädterung in An Binh sein.

4.4 Schlussfolgerungen

Aus den gewonnenen Daten lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

Bau von kleinen Grundwasserwerken

Zur Zeit sind sehr viele Handpumpen im Mekong-Delta in Gebrauch (s. Arbeitsgruppe Hydrogeologie). Dies ist auch aus hygienischer Sicht bedenklich, da die Pumpen nicht überwacht und gewartet werden. Die nachgewiesenen Kontaminationen des Grundwassers können über defekte Dichtungen oder retrograde Kontaminationen erfolgt sein und müssen nicht im Untergrund vorhanden sein. Durch den Bau von kleinen Grundwasserwerken kann eine Verringerung der Handpumpen erreicht werden. Die Wasseraufbereitung erfolgt dort nach erprobten Konzepten und kann von geschulten Mitarbeitern überwacht werden. Ein hygienisches Monitoring ist im Gegensatz zu den einzelnen Handpumpen möglich.

Regenwassernutzung

Die Bevölkerung im Mekong-Delta, ebenso wie die Bevölkerung weiter Teile Asiens, nutzt traditionell Regenwasser. In ruralen Gebieten stellt die Nutzung von Regenwasser eine Alternative zur Grundwassernutzung dar, die kostengünstig erfolgen kann. Derzeit ist jedoch nicht bekannt, wie sich Lagerungsbedingungen auf die Wasserqualität auswirken und welche Infektionsrisiken für den Menschen bestehen. Erste in diesem Projekt gewonnene Daten belegen aber die gute mikrobiologische Qualität des Wassers nach kurzer Lagerungsdauer.

Aufbereitungstechniken für den Haushalt

Durch dieses Projekt wurde festgestellt, dass zur Zeit zu viele verschiedene und nicht abgestimmte Aufbereitungsmethoden in den Haushalten eingesetzt werden. Die Bevölkerung weiß, dass Wasser aufbereitet werden kann und z.T. auch muss. Die Wirksamkeit der verbreiteten Methoden muss überprüft und neue technische Verbesserungen integriert werden. Diese müssen vor allem geeignete Desinfektionsmaßnahmen während der Lagerung und nach der Wasserentnahme aus dem Behälter berücksichtigen. Es müssen Konzepte erarbeitet werden, wie die Bevölkerung Zugang zu Aufbereitungsmethoden, Information zu anderen Methoden und Hilfe bei der Anwendung erhält.

Weiterbildung in Hygiene

Um eine Verbesserung der Trinkwasserhygiene zu erreichen, ist es neben technischen Verbesserungen notwendig, traditionelle Denkweisen aufzubrechen, oder neue Ideen zu integrieren. Durch eine Weiterbildung in allen Gebieten der Hygiene wird auch das Bewusstsein für den hygienischen Umgang mit Trinkwasser geschärft und somit eine Verringerung wasserbedingter Erkrankungen erreicht. Dies kann u.a. durch den Einsatz von Massenmedien erfolgen, aber auch durch Zusammenarbeit der Universität mit verschiedenen staatlichen und nicht-staatlichen Einrichtungen (People´s Committee, Women´s Union, etc).

5 Konzeption angepasster technischer Systeme zur Trinkwasserversorgung und Abwasserbewirtschaftung

Thilo Herrmann, ith Ingenieurbüro für technische Hydrologie, Bayreuth (Teilprojekt 3)

5.1 Einleitung

Aufgabe des Teilprojekts 3 ist die Erfassung der bestehenden Systeme zur Ver- und Entsorgung mit Wasser und die Identifikation der technischen Kernprobleme in diesem Bereich. Darauf aufbauend soll eine Konzeption angepasster technischer Systeme zur sicheren Versorgung mit Trinkwasser und zur Bewirtschaftung des Abwassers abgeleitet werden.

5.2 Material und Methoden

Die Ist-Situation wurde durch Ortsbegehungen, Materialbeprobungen, Preisrecherchen, Befragungen, Literaturlauswertung und Wissensaustausch mit den Projektpartnern erfasst.

5.3 Ergebnisse und Diskussion

Folgende Kernprobleme im Bereich der Wasserwirtschaft wurden im Projektgebiet identifiziert:

- Entnahme von Oberflächenwasser aus Flüssen und Kanälen für Trink- und Brauchwasserzwecke ohne ausreichende Aufbereitung und Desinfektion
- Fehlende Abwassererfassung und –behandlung, direkte Verbringung von Fäkalien in die Oberflächengewässer
- Kurzschlussstrom zwischen Abwasserentsorgung (Toiletten) und Trinkwasserentnahme aus Oberflächengewässern
- Unzureichendes Wissen und Bewusstsein der Bevölkerung über hygienisch-medizinische Zusammenhänge. (Waschen von Gemüse im Fluss ohne Beachtung der Gefahr der Keim- und Parasitenverschleppung in die Küche; Zahn- und Körperpflege mit nicht aufbereitetem Flusswasser)

Im städtischen Umfeld und im Zentrum von Can Tho kommen folgende Probleme hinzu:

- Deutlich sichtbare Verschmutzung der größeren Kanäle durch Abwasser bis hin zu Kanälen, die ständig schwarz faulendes Wasser führen, mit deutlich wahrnehmbarer Bildung von Schwefelwasserstoff
- Entnahme von Kanal- oder Flusswasser zu Trinkwasserzwecken trotz deutlichen Geruchs nach Abwasser durch einzelne Haushalte
- Waschen von Blattgemüse vor der Vermarktung in deutlich abwasserkontaminierten Oberflächengewässern
- Beträchtlicher Eintrag fester Abfallstoffe über die Straßeneinläufe ins Kanalnetz und von da aus ins Gewässer, vor allem in der Regenzeit
- Mangelhafte Konstruktion der Straßeneinläufe ohne Feststoffrückhalt
- Verlegung von sehr dünnwandigen Trinkwasserleitungen aus PVC innerhalb oder oberhalb der offenen, stark abwasserbelasteten Kanäle mit zahlreichen Leckagen
- Verlegung der Abwasserrohre innerhalb des Grundwassers. Wegen zahlreicher Leckagen und Brüche führt dies zu einem stagnierenden Wasserstand im Kanalnetz auf

Höhe des Grundwasserspiegels; das Abwasser steht in den Haltungen und oft auch in den Hauptsammlern faulend ohne sichtliche Fließbewegung

Offenkundigstes hygienisches Problem ist die Kurzschlussverbindung zwischen den direkt in die Wasserläufe verbrachten menschlichen Ausscheidungen und der Nutzung derselben Gewässer für hygienisch sensible Anwendungen, wie Körperhygiene, Geschirrwäsche und Lebensmittelreinigung in unmittelbarer Nachbarschaft. Durch den intensiven Kontakt mit dem Oberflächenwasser ist eine Verschleppung von pathogenen Keimen und Parasiten in die Haushalte und in die Küchen nahe liegend.

Keimarmes und hygienisch unbedenkliches Grundwasser wird vermutlich bei der Entnahme aus den häuslichen Vorratsbehältern mit Handschöpfern kontaminiert.

Die aus Sicht der Nährstoffnutzung zu begrüßende Einleitung der Fäkalien in Fischteiche ist aus seuchenhygienischer Sicht sehr bedenklich. Eine Kontamination der Fische mit Keimen und Parasiten ist unvermeidlich. Die Übertragung tierischer und menschlicher Parasiten und deren Zwischenformen durch Fische, Haustiere und Wasservögel ist deshalb anzunehmen. Der Eintrag von Abfällen und Kadavern in die Wasserläufe verschärft diese Problematik. Humanparasiten sind weit verbreitet unter der Bevölkerung. Vorbeugende Wurmkuren werden aus diesem Grund prophylaktisch angewendet. In der lokalen ländlichen Bevölkerung ist das Wissen um hygienisch-biologische Zusammenhänge gering.

Die Aufbereitung des ggf. vorbehandelten Rohwassers zu Trinkwassers mittels Kerzenfilter zur Hygienisierung ist grundsätzlich eine wirksame und sehr kostengünstige Methode zur Desinfektion. Das Wasser wird geschmacklich nicht beeinträchtigt und es werden dem Trinkwasser keine Fremdstoffe zugesetzt. Die Methode ist anwendbar bei allen klaren Wässern. Durch Vorbehandlung mittels Flockungsmittel kann trübes Oberflächenwasser kostengünstig geklärt werden.

Der Fachliteratur vom Ende des 19. Jahrhunderts ist zu entnehmen, dass bei den vor etwa 100 Jahren in Deutschland gebräuchlichen Kerzenfiltern eine regelmäßige Desinfektion vorzunehmen war (xy). Die Wartungsempfehlungen sahen die Behandlung der Filterkerzen mit heißer Sodalösung im Abstand von etwa einer Woche vor, um dauerhaft steriles oder sehr keimarmes Filtrat zu erhalten. Ohne diese Behandlung kann es innerhalb von wenigen Tagen zu einem Durchwachsen der Keime durch die Kerzen kommen. Ein einmal verkeimter Filter führt gelegentlich auch zu deutlich höheren Keimzahlen im Filtrat im Vergleich zum Rohwasser. Die heute in Deutschland erhältlichen Kerzenfilter bedürfen nach Herstellerangabe keiner regelmäßigen Desinfektion. Die Nutzungsdauer dieser Filterkerzen wird mit 6 Monaten angegeben; danach ist die Kerze zu ersetzen und kann nicht regeneriert werden. Der Werkstoff dieser Kerzen ist gesilbert, d.h. es wird bei der Herstellung Silber in das poröse Filtermaterial eingebracht. Silber wirkt bereits in Spuren biozid auf Mikroorganismen. Der Zusatz von Silber, einem Schwermetall zur Trinkwasserbehandlung ist weder durch die deutsche Trinkwasserverordnung, noch durch die WHO zugelassen.

Es ist nicht bekannt, ob die vietnamesischen Filterkerzen gesilbert sind. Die Filterkerzen werden jedenfalls ohne jede Wartung oder Desinfektion jahrelang betrieben. Lässt der Durchfluss wegen Zusetzen der Oberfläche nach, so kann die Kerze äußerlich durch Abbürsten wieder durchlässig gemacht werden. Es ist bisher nicht bekannt, ob bei der geschilderten

Betriebsweise der Filter in Vietnam eine ausreichende Desinfektion des Trinkwassers bewirkt wird. Hier besteht Forschungsbedarf.

5.4 Schlussfolgerungen

Trinkwasser

Bei der Planung von technischen Maßnahmen, die auf eine zentrale Desinfektion des Trinkwassers vor der Einspeisung in ein Verteilnetz abzielen, ist zu bedenken, dass bereits die Temperatur des Grundwassers um 28° C beträgt. Dies entspricht der mittleren physikalischen Jahrestemperatur im Mekongdelta . Die Rohrnetze werden oberflächennah verlegt und werden aus dünnwandigen PVC Rohren in Klebtechnik hergestellt. Leckagen treten deshalb häufig auf. Die Temperaturverhältnisse und das Verwenden von kohlenstoffhaltigen Polymeren (PVC) als Rohrwerkstoff oder Speicherbehältnis (im Haushalt) begünstigen grundsätzlich das Wachstum von Mikroorganismen im Rohrnetz.

Die Verbringung unbehandelter Fäkalien in die Wasserläufe führt zu einem hohen Nährstoffangebot und zur Gewässereutrophierung. Durch die tidenbedingte Naturspülung kommt es im ländlichen Raum im Gegensatz zu den Städten fast nie zur Fäulnis in den Gewässern. Der Nährstoffeintrag steigert die Primärproduktion in den Wasserläufen. Die Gewässer sind offenkundig reich an Fischen und Süßwassergarnelen. Es ist nicht bekannt, welcher Nährstoffbeitrag aus dem Mekongdelta selbst stammt, und welcher Anteil von den Oberliegern in Kambodscha und China herrührt. Es ist deshalb nicht ausgeschlossen, dass einer Beendigung des Fäkalieneintrags in die Oberflächengewässer ein langfristiges Absinken des Fischertrags zur Folge hat.

Aufgrund der geringen wirtschaftlichen Stärke und der sehr begrenzten Kaufkraft im ländlichen Raum kommen zur technischen Lösung der Probleme bei Wasserversorgung und Abwasserbehandlung nur Technologien in Betracht, die im wesentlichen in Vietnam und vor Ort herstellbar sind. Importierte westliche Anlagentechnik kann nach Meinung des Autors in den kommenden 10 Jahren lediglich in städtischen Ballungsgebieten bei zentralen Einrichtungen zur Wasserversorgung und Abwasserbehandlung eine Rolle spielen, und hier vor allem durch Zulieferung von technisch anspruchsvollen Komponenten und Know-How.

Aufgrund der Übernutzung des Grundwassers ist davon auszugehen, dass in naher Zukunft (3 bis 10 Jahre) vermehrt Oberflächenwasser zur Trinkwassergewinnung genutzt werden muss. Die Trinkwasserbereitstellung kann ökonomisch sinnvoll nur in semizentralen Anlagen geleistet werden, die wenigstens etwa 50 Haushalte versorgen. Der Untergrund eignet sich im Mekongdelta wegen der schlammigen Konsistenz und des hohen Ton- und Schluffgehalts nicht für eine Grundwasseranreicherung durch Versickerung oder zur Gewinnung von Uferfiltrat. Die Einführung von Langsandsandfiltern erscheint viel versprechend zur Behandlung des Oberflächenwassers. Aufgrund der höheren Außentemperaturen ist im Vergleich zu Mitteleuropa mit einer erhöhten biologischen Abbauleistung in Langsandsandfiltern zu rechnen. Durch eine anschließende UV-Bestrahlung des in Langsandsandfiltern vorbehandelten Wassers ist es möglich, hygienisch einwandfreies Trinkwasser herzustellen. Die potentielle Wiederverkeimung im Leitungsnetz macht eine zusätzliche Chlorung aber vermutlich unverzichtbar.

Abwasser

Zur Zeit sind Toiletten mit Wasserspülung im ländlichen Raum nicht anzutreffen. Im urbanen Raum und in der von Touristen frequentierten Gastronomie entsprechen die Toiletten jedoch schon oft europäischem Standard. Die Ausstrahlung der Stadt mit ihren „modernen Toiletten“ in den ländlichen Raum ist unverkennbar. Es ist eine Frage der Zeit, wann das bodenstehende WC mit Spülkasten auch im ländlichen Haushalt Einzug erhält.

Ziel muss es sein, menschliche Fäkalien völlig vom Wasserkreislauf zu trennen. Die Einführung von Trocken- oder Komposttoiletten ist aus hygienischer Sicht geboten. Das Klima begünstigt die Anwendung von Komposttoiletten, da hohe biologische Umsatzraten zu erwarten sind.

Dort, wo bereits Spültoiletten vorhanden sind und leitungsgebundenes Abwasser aus Haushalten anfällt, empfiehlt sich die Behandlung der Abwässer mittels bepflanzter Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen) in Verbindung mit einer vorgeschalteten Schlammabtrennung. Fäkalschlamm aus der Vorreinigungsstufe kann nach bereits vorliegenden Erfahrungen aus Thailand mit gutem Erfolg in Schlammbeeten vererdet und danach als Dünger genutzt werden. Da bepflanzte Bodenfilter im Vergleich zu Belebungsanlagen wenige technische Komponenten enthalten und überwiegend in Ortbauweise hergestellt werden, bietet sich dieses System insbesondere in Ländern wie Vietnam an, da hier die Lohnkosten gering und die Kosten der Maschinenteknik vergleichsweise hoch sind.

Die hohe Bevölkerungsdichte im Mekongdelta führt zu einer vollständigen Nutzung der bebaubaren Landflächen. Brachflächen oder naturnahe Vegetationsformen kommen in besiedelten Gebieten des Mekongdeltas so gut wie nicht vor. Aus diesem Grund sollte ein Bodenfilter möglichst mit Nutzpflanzen bestockt werden. Durch die Entnahme von Pflanzenbestandteilen und Ernteprodukten ergibt sich zwangsläufig eine (Teil-)Nutzung der abwasserbürtigen Nährstoffe.

Der Grad der Nährstoffnutzung¹ hängt wesentlich von der einwohnerspezifischen Flächenbemessung eines Bodenfilters ab. Während in Deutschland eine möglichst geringe spezifische Filterfläche angestrebt wird (Empfehlung 4 m²/Einwohner bei Vertikalfiltern), sollte die einwohnerspezifische Filterfläche im Mekongdelta unter dem Aspekt einer hohen Nährstoffausnutzung wesentlich größer sein. Legt man als Bemessungsgrundlage die menschliche Stickstoffausscheidung zu Grunde und geht von einer Ausscheidung von 8 g Stickstoff je Person und Tag aus, so errechnet sich bei einer Pflanzenaufnahme von 100 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr und einem Nutzungsgrad von 50 % eine einwohnerspezifische Flächenbemessung von rund 150 m² je Einwohner. Es ist klar, dass eine wirtschaftlich sinnvolle Bemessung erheblich unter diesem Wert liegen muss: Bei konventionellem häuslichen Abwasser und einer Flächenbemessung von 20 m²/EW beträgt der Stickstoffnutzungsgrad durch den Bodenfilter weniger als 7 %. Die Nutzungsgrade für Phosphor und Kalium liegen in der gleichen Größenordnung. Dies hat folgende Konsequenzen:

- i) Der Bodenfilter selbst kann keinen wesentlichen Beitrag zur Nutzung der abwasserbürtigen Nährstoffe leisten.

¹ Der Nutzungsgrad wird hier definiert als Quotient aus Nährstoffaufnahme durch die Filterbestockung und Nährstofffracht im Zulauf

- ii) Aufgrund des Flächenverbrauchs und zur Steigerung der Akzeptanz bei der Bevölkerung sollte der Bodenfilter trotzdem mit Nutzpflanzen bestockt werden.
- iii) Die Nährstoffnutzung muss entweder *v o r* oder *n a c h* dem Bodenfilter stattfinden.

Hieraus leiten sich zwei Systemvarianten ab:

- Eine Nährstoffseparation vor dem Bodenfilter innerhalb des Sanitärsystems im Gebäude
- Eine Verwertung des hygienisierten nährstoffreichen Abwassers zur Bewässerung

Die Nährstoffseparation *v o r* dem Bodenfilter kann effektiv durch eine Abtrennung des Urinstroms innerhalb des Sanitärsystems erfolgen. Mit der getrennten Sammlung des Urins wird der überwiegende Teil der Hauptnährstoffe N, P, K aus dem häuslichen Abwasser abgetrennt. Der Bodenfilter für das Restabwasser hat dann vorwiegend die Aufgabe, den BSB/CSB des Abwassers zu reduzieren und eine Keimreduktion zu bewirken.

Eine Nährstoffnutzung *n a c h* dem Bodenfilter ist gegeben, wenn der gereinigte Ablauf zur Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen Verwendung findet. Das Einhalten eines vorgegebener hygienischen Standards ist dann unverzichtbar. Es ist bekannt, dass einstufige Bodenfilter in Europa eine Keimreduktion im Abwasser um zwei bis drei Zehnerpotenzen bewirken. Mit zweistufigen Anlagen kann eine Keimreduktion bis zu vier Zehnerpotenzen erzielt werden. Es ist bisher nicht bekannt, ob diese Ergebnisse ohne weiteres auf tropische Standorte übertragbar sind. U.U. ist eine zusätzliche Desinfektion z.B. mittels UV-Bestrahlung notwendig, um eine ausreichende hygienische Sicherheit zu gewährleisten.

6 Arbeitsgruppe Agrarökologie: Bewertung und Management von Sekundärrohstoffen in Reisanbausystemen des Mekong Delta

Mathias Becker, Folkard Asch, Esam Saleh, Institut für Pflanzenernährung, Universität Bonn
Nguyen Huu Chiem, Duong Van Ni, K.T. Tinh, College of Agriculture, Universität Can Tho

6.1 Einleitung

Die Landnutzung im Mekong Delta ist durch intensiven Anbau von Nassreis auf den dort vorherrschenden alluvialen und sulfatsauren Böden gekennzeichnet. Die verbreitet beobachtete Abnahme der Produktivität der Nutzungssysteme scheint im Bereich der alluvialen Böden primär auf einen abnehmenden Gehalt an organischer Substanz und eine reduzierte Nachlieferung von Bodenstickstoff zurückzuführen zu sein, während sie im Bereich der sulfatsauren Böden mit Nährstoffimbalancen wie P- und Zn-Mangel und Al-Toxizität in Verbindung gebracht wird. Der kontinuierliche Anbau von bewässertem Nassreis scheint diese Probleme noch zu verschärfen. Eine viel versprechende Alternative zur Reis-Monokultur dürfte eine Rotation von Reis mit Kulturen im Trockenanbau sein. Solche Rotationsglieder können häufig einen höheren Marktwert als Reis erzielen, sind hinsichtlich ihres Nährstoffbedarfs in der Regel aber anspruchsvoller als Reis.

Organische Substrate aus der dezentralen Abfall- und Abwasserwirtschaft sind potenziell verfügbar, können aber kaum im überstauten Reisfeld eingesetzt werden. Dies verhält sich anders bei hochwertigen Trockenlandkulturen, bei denen organische Substrate durchaus zur Anwendung kommen. In diesem Fall können neben einer Rückführung von Nährstoffen aus Haus und Hof vermutlich auch die vorherrschenden Nährstoffmängel und -imbalancen angesprochen werden. So ist es vorstellbar, dass diese sekundären Rohstoffdünger einerseits zur Anreicherung der alluvialen Böden mit organischer Substanz und einer erhöhten N-Nachlieferungskapazität beitragen können und andererseits die P-Zufuhr auf sulfatsauren Böden verbessern und gleichzeitig toxisch wirkendes Al^{3+} abpuffern.

Zwischen Januar 2003 und September 2004 wurden Untersuchungen in Klimakammer, Gewächshaus und im Feld an zwei repräsentativen Standorten (An Binh – Alluvialboden; und Hoa An - sulfatsaurer Boden) im Mekong Delta mit folgender Zielsetzung durchgeführt:

- (1) Bestimmung der Kenngrößen, die für die abnehmende Produktivität der Reis-Monokultursysteme (mit) verantwortlich sind;
- (2) Möglichkeit und Grenzen des Einsatzes diverser Sekundär-Rohstoffe im Trockenfeldbau;
- (3) vergleichende Bewertung der verfügbaren Trockenlandkulturen in Rotation mit bewässertem Reis;
- (4) Entwicklung viel versprechender Systemoptionen, die auf Substrat - Kulturpflanze Wechselbeziehungen basieren.

6.2 Problemanalyse

Diagnostische Felduntersuchungen wurden während der Regenzeit 2003 und der Trockenzeit 2004 auf acht repräsentativen landwirtschaftlichen Betrieben in An Binh (Alluvialboden) und Hoa An (Sulfatsaurer Boden) in der Provinz Can Tho im Mekongdelta durchgeführt. Niedrige Reiserträge von durchschnittlich $1,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ auf alluvialen Standorten waren in erheblichem

Maße auf N Mangel zurückzuführen, obwohl über 100 kg ha^{-1} Harnstoff-N gedüngt wurden. Die Boden-N Nachlieferungskapazität war mit etwa 35 kg N ha^{-1} und Anbauperiode als sehr gering einzustufen und dürfte mit dem niedrigen Gehalt der Böden an organischer Substanz ($< 1,5\%$) zusammenhängen. Darüber hinaus lag die Nutzungseffizienz von zugeführtem Harnstoff-N mit $5 \text{ kg Korn pro kg N}$ weit unter dem für den Bewässerungsanbau Asiens berichteten Durchschnittswert von 18 kg kg^{-1} . Diese geringe Nutzungseffizienz lässt sich einerseits auf einem Anstieg der pH-Werte im Überstauwasser von 1-1,5 Einheiten (N-Verluste durch Ammoniak-Verflüchtigung) und andererseits auf ein asynchrones N-Angebote (hohe Grunddüngung bei geringer Schossergabe) zurückführen. Eine Sicherstellung der N-Ernährung über langsam wirkende organische Dünger dürfte neben einer Zufuhr von organischer Substanz auch N-Verluste reduzieren und eine teilweise Synchronisation von N-Angebot und N-Nachfrage sicherstellen.

Am sulfatsauren Standort waren geringe Reiskornerträge im wesentlichen auf P und Zn Mangel sowie vermutlich auf Säureschäden zurückzuführen. Durchschnittserträge von $0,9$ (Regenzeit) bis $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Trockenzeit) wurden bei Zugabe von P und Zn um jeweils 35 and 15% erhöht. Auch hier ist anzunehmen, daß organische Dünger mit hohen P Gehalten und der Fähigkeit zur Abpufferung von Säuren bzw. von phytotoxischem Aluminium, die diagnostizierten Probleme ansprechen und den Anbau von Trockenkulturen mit höherem Markwert ermöglichen könnten.

6.3 Zielsetzung

Basierend auf den oben beschriebenen Produktionshemmnissen und Arbeitshypothesen, lag der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten auf dem Einsatz von Sekundären Rohstoffdüngern zu Trockenkulturen, die als Zwischenfrüchte im Nassreisanbau eingesetzt werden. Dem Ansatz lag die Prämisse zugrunde, dass eine aerobe Bodenphase sich positiv auf das Anbausystem auswirken wird und, dass die o.g. Effekte von organischen Substraten in besonderem Masse bei hochwertigen Trockenlandkulturen zum Tragen kommen. Ziele des Substrateinsatzes im Trockenfeld- und Zwischenfruchtbau waren somit (1) eine Erhöhung der organischen Substanz und der N-Nachlieferungskapazität der Alluvialböden und (2) die Zufuhr von P und Zn sowie die Abpufferung von toxischem Aluminium in sulfatsauren Böden. Dabei wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- (1) Charakterisierung der verfügbaren Substrate (physiko-chemische Parameter, Mineralisierungskinetik);
- (2) Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Substrate hinsichtlich Wachstum und Ertrag einer Testkultur (*Vigna radiata*);
- (3) Einfluss der Applikationsmenge von zwei Substraten auf die Testkultur;
- (4) Vergleichende Bewertung der Ertragswirksamkeit eines Testsubstrats (Biogasschlamm) an unterschiedlichen Trockenlandkulturen;
- (5) Residuelle Effekte von Substratapplikation auf die Folgefrucht (Nassreis).

6.4 Ergebnisse

6.4.1 Charakterisierung der Substrate

Organische Sekundär-Rohstoffe aus der dezentralen Abfall- und Abwasserwirtschaft wurden aufgrund ihrer lokalen Verfügbarkeit sowie ihrer Diversität hinsichtlich Nährstoffgehalt ($1,5 -$

2,8 %N), C/N-Verhältnis (11–25) und Reifebedingungen (Dauer, Aerobie) ausgewählt. Anaerobe Substrate beinhalteten Schlämme aus Biogasreaktoren mit unterschiedlicher Substrat-Verweilzeit (<3 bis >12 Monate) und Sediment aus einem Fischteich. Unter den aeroben Substraten fanden sich Komposte und Wurmkomposte aus Reisstroh, Stallmist und Biogasschlamm, sowie Champost. Die Mineralisierungs- und Umsetzungskinetiken wurden sowohl über anaerobe (nach Zufuhr von 100 mg Substrat-N kg⁻¹ Boden) als auch über den Gewichtsverlust über aerobe Bebrütung (3 g Substrat kg⁻¹ Boden in „litter bags“) ermittelt. Im Alluvialboden schwankte die Netto-N-Mineralisierung von –1 (N-Immobilisierung) bis +4 mg kg⁻¹ Boden. Höchste Mineralisierungsraten wurden im Fall von jungen Schlämmen mit engem C/N-Verhältnis nachgewiesen. Im sulfatsauren Boden war die durchschnittliche Gesamt-N-Mineralisierung nur etwa ein Fünftel der im Alluvialboden ermittelten Werte, und höchste Raten wurden im Fall von aeroben Substraten mit hohem P-Gehalt ermittelt (z.B. Vermikompost aus Schweinemist und Schweinemist-Reisstroh-Kompost). Analoge Trends ergaben sich im Fall der Gewichtsverluste unter aeroben Bedingungen. Auch hier konnte ein maximale Kohlenstoffumsatz bei anaeroben Schlämmen mit engem C/N-Verhältnis (alluvialer Boden) bzw. bei aeroben Komposten mit hohem P-Gehalt (sulfatsaurer Boden) nachgewiesen werden.

6.4.2 Einfluß der Substratapplikation am alluvialen Standort (An Binh)

Acht aerobe und drei anaerobe Substrate wurden bei Applikationsraten von 1,5 - 7,5 ha⁻¹ zu Hochbeetkulturen vergleichend bewertet. In einem ersten Versuchsansatz wurde die Wirkung der Substrate auf einen Mungbohnen- (*Vigna radiata*) Bestand bei einer Applikationsrate von 3 Mg ha⁻¹ ermittelt. In der ungedüngten Kontrollvariante war die Trockenmassebildung <1 Mg ha⁻¹ und der Kornertrag etwa 400 kg ha⁻¹. Mit relativ jungem Schlamm aus einem Biogasreaktor konnte die Biomassebildung bis auf 6,2 Mg ha⁻¹ (3 Mg ha⁻¹ Kornertrag) erhöht werden. Auch mit aeroben Substraten wurden signifikante Ertragsanstiege beobachtet, allerdings waren diese deutlich geringer und beliefen sich auf 1,2 bis 2,1 Mg ha⁻¹. Mit Substraten von geringer Qualität (weitem C/N-Verhältnis) wie Reisstrohkompost und Champost, wurden nur geringe Ertragssteigerungen verzeichnet (Kornerträge von durchschnittlich 1 Mg ha⁻¹). Eine Erhöhung der Applikationsraten von Biogasschlamm von 0, 1,5, 3,0, 4,5, 6,0 und 7,5 Mg ha⁻¹ (entsprechend 0, 35, 70, 105, 140 and 175 kg N ha⁻¹) führte zu einem nahezu linearen Anstieg der gebildeten Trockenmasse, während der Kornertrag der Mungbohne bei einer Substratmenge von 3 Mg ha⁻¹ kulminierte.

In einem weiteren Feldversuch wurden die Ertrags- und Biomassebildung unterschiedlicher Kulturen bei Applikation von 3 Mg ha⁻¹ Biogas-Schlamm und im Vergleich zu ungedüngten Kontrollparzellen vergleichend untersucht. Untersuchte Pflanzenarten beinhalteten Knollenfrüchte (Maniok, Süßkartoffel, Jam), Körnerleguminosem (Mungbohne, Augenbohne, Sojabohne) und Feldgemüse (Tomaten, Zuckermais). Bei allen Kulturarten resultierte eine Substratapplikation in einer signifikanten Erhöhung der Trockenmasse in einer Größenordnung von 25-95%. Diese Steigerung war am deutlichsten bei Körnerleguminosen und am wenigsten bei Feldgemüse ausgeprägt.

Eine Folgefrucht von Nassreis während der darauf folgenden Regenzeit profitierte einerseits generell von der aeroben Bodenphase (0,5-1,2 Mg ha⁻¹ Mehrertrag im Vergleich zum Kontrollsystem mit Reis-Monokultur) und wies andererseits beim Einsatz von jungen Schlämmen (<3

Monate Verweilzeit) und Komposten (<2 Monate) einen signifikanten residuellen Ertragseffekt auf.

Zusammenfassend lässt sich aus dem Dargestellten folgern, dass im Bereich der Alluvialböden, eine Unterbrechung der kontinuierlichen Bewässerungsanbaus nutzbringend für die Reiserträge und die Produktivität des Anbausystems sein kann. Bei Aufwandsmengen von 1,5-3 Mg ha⁻¹, steigern anaerobe Substrate mit hohem N-Gehalt nicht nur den Ertrag von Körnerleguminosen und Knollenfrüchten maßgeblich, sondern können auch positive residuelle Effekte auf den Ertrag einer folgenden Reiskultur aufweisen.

6.4.3 Einfluß der Substratapplikation am sulfatsauren Standort (An Binh)

Der Standort in Hoa An erfolgte bei Bodenbelüftung ein rasches Absinken des pH Wertes sowie ein Anstieg von austauschbarem (toxischem) Aluminium. Dabei wurde eine starke kleinräumige Heterogenität der Böden hinsichtlich pH Wert (2,8 – 4,3), Gesamtsäure (3– 23 meq 100 g⁻¹) und austauschbarem Al³⁺ (7–18 meq 100 g⁻¹) festgestellt. Das Pflanzenwachstum war in hohem Maße mit der Konzentration von Al³⁺ in der Bodenlösung korreliert. Infolgedessen werden die Ergebnisse vom sulfatsauren Standort als Trockenmasse pro Einzelpflanze und in Abhängigkeit des austauschbaren Al³⁺ im Rhizosphärenboden dargestellt.

Wie schon bei den Untersuchungen auf dem alluvialen Boden wurden acht aerobe und drei anaerobe Substrate bei Applikationsraten von 1,5 – 7,5 Mg ha⁻¹ zu unterschiedlichen Trockenlandkulturen (Knollenfrüchte, Körnerleguminosen und Feldgemüse) verglichen.

Im ungedüngten Boden wies die Testkultur Mungbohne bei Al³⁺-Konzentrationen von >12 meq 100 g⁻¹ kein Wachstum auf, während die höchste Trockenmassebildung von 730 mg Pflanze⁻¹ erst bei Al Konzentrationen von <10 meq 100 g⁻¹ erreicht wurden. Mit Substratapplikation, und je nach Art des Substrates, verschob sich der kritische Al-Wert für das Wachstum von Mungbohne auf 12 - 15 meq 100 g⁻¹. Höchstwerte der Trockenmassebildung von >1,100 mg Pflanze⁻¹ wurden bei Konzentrationen von <11 meq Al³⁺ beobachtet. Die höchste Al-Toleranz konnte dabei mit gut verrotteten aeroben Substraten mit weitem C/N-Verhältnis und gleichzeitig hohem P-Gehalt festgestellt werden (z.B. Wurmkompost aus Schweinemist und Schweinemist-Reisstroh-Kompost).

Eine Steigerung der Applikationsraten von Biogasschlamm von 0 auf 7,5 Mg ha⁻¹ verschob die für das Wachstum von Mungbohne kritische Al³⁺-Konzentration kontinuierlich von 11 (Kontrolle) über 12 (bei 3 Mg Substrat ha⁻¹) bis auf 15 meq Al³⁺ 100 g⁻¹ (bei 7,5 Mg Substrat ha⁻¹), während bei einer geringen Al Konzentration in der Bodenlösung (10 meq Al³⁺ 100 g⁻¹) die maximale Trockenmasse anstieg, und zwar von 2 g (Kontrolle) über 8 g (bei 3 Mg ha⁻¹) bis auf 14 g Pflanze⁻¹ (bei 7,5 Mg ha⁻¹). Dabei war die Steigerung der Trockenmassebildung bzw. der Al³⁺-Toleranzgrenze deutlicher bei Gemüsekulturen (Zuckermais > Tomate) als bei Knollenfrüchten (Maniok > Süßkartoffel > Jam) oder Körnerleguminosen (Augenbohne > Mungbohne > Sojabohne). Derzeit liegen noch keine Ergebnisse zur Bewertung residueller Effekte vor, die erst Ende 2004 erwartet werden.

Es kann abschließend gefolgert werden, dass aerobe Komposte mit hohem P-Gehalt, und bei Applikationsmengen von >3 Mg ha⁻¹ besonders dem Anbau von Feldgemüsen und Knollenfrüchten zugute kommen, zumal solche Substrate nicht nur die P-Versorgung der Kulturen sicherstellen, sondern gleichzeitig die Aluminiumtoleranz zu erhöhen scheinen.

6.5 Schlussfolgerungen

Der Anbau von (hochwertigen) Trockenlandkulturen während der Trockenzeit führt zu einer Unterbrechung der derzeit vorherrschenden kontinuierlichen Landnutzung unter wasserüberstauten Bedingungen, was sich nachweislich positiv auf das Ertragsniveau von Reis und die Produktivität des Anbausystems auswirken kann. In Kombination mit der Applikation von Substraten aus der Abfall- und Abwasserwirtschaft können beachtliche Ertragszuwächse bei diesen aeroben Rotationsgliedern erzielt werden, wobei gleichzeitig einige der wesentlichen ertragslimitierenden Ernährungsfaktoren korrigiert werden können (z.B. Erhöhung der N-Nachlieferung auf alluvialen Böden, sowie Zufuhr von P und Verminderung der Al-Toxizität auf sulfatsauren Böden). Die Zufuhr und oberflächliche Einarbeitung von etwa $1,5\text{-}3\text{ Mg ha}^{-1}$ (Trockenmasse) eines anaerob vergorenen Schlammes mit relativ engem C/N-Verhältnis kam auf alluvialen Böden besonders dem Ertrag von Körnerleguminosen sowie der darauf folgenden Nassreiskultur zugute. Auf sulfatsauren Böden konnte mit aeroben Komposten, besonders solche mit hohem P Gehalt und bei höheren Applikationsraten ($>3\text{ Mg ha}^{-1}$), die Erzeugung von Gemüse und Knollenfrüchten verbessert bzw. erst ermöglicht werden. Wo der Trockenanbau von Zwischenfrüchten mit (hohem) Marktwert gewünscht und möglich ist, müssen derartige Umstellungen im Anbausystem mit Maßnahmen verbunden werden, die die standortspezifischen Pflanzenernährungsprobleme gezielt ansprechen. Der Einsatz von Sekundär-Rohstoffdüngern ist dabei der wohl viel versprechendste Ansatz. Allerdings müssen Art und Menge der zu verabreichenden Substrate kulturarten- und bodenspezifisch erfolgen. Die Biogasanlagen sollten im Bereich der alluvialen Böden so ausgelegt sein, dass zu Beginn der Trockenzeit etwa 3 Mg Trockenmasse pro Hektar anvisierter Anbaufläche von Körnerleguminosen anfallen. Im Bereich der sulfatsauren Böden, sollten organische Reststoffe aerob kompostiert und notfalls mit P angereichert werden. Derzeit wird ein einfaches Entscheidungsmodell entwickelt, das den Substratbedarf in Abhängigkeit von Boden und Kulturart ermittelt, bzw. Empfehlungen hinsichtlich Applikationsmengen in Abhängigkeit des verfügbaren Substrat-Typs vorgibt.

7 Arbeitsgruppe Landwirtschaftlicher Wasserbau

Armin Rieser, Christiane Vizthum von Eckstädt, Institut für landwirtschaftlichen Wasserbau, Universität Bonn

7.1 Einleitung

In Absprache mit der Agrarökologie-Gruppe wurden für die Feldversuche die geeigneten Be- und Entwässerungsverfahren für die Hügelbeete sowie für die Reisfelder ausgewählt und angelegt, überwacht und ausgewertet. Modifikationen ergaben sich durch die jeweiligen Geländesituationen und die erforderlichen Kosten. Hauptaufgabe war die Berechnung der Bodenwasserbilanz.

Für eine entsprechende Klimaanalyse mit Sicht auf die Be- und Entwässerungsverhältnisse, vor allem in der Trockenzeit, wurden meteorologische Daten vorwiegend mittels eigener Klimastationen aufgezeichnet und ausgewertet.

Ein computergestütztes Simulationsmodell wurde auf seine Anwendbarkeit getestet und zur Überprüfung herangezogen.

7.2 Material und Methoden

Im Rahmen des Projektes wurden an zwei ausgewählten Versuchsstandorten (An Binh und Hoa An) durch die Arbeitsgruppe Agrarökologie jeweils drei Parallelversuche mit Reisfeldern und mit Hügelbeeten angelegt und durchgeführt. Die Hügelbeete wurden für die Untersuchungen neu errichtet. Dazu wurde Bodenmaterial seitlich entnommen und 0,3 bis 0,6 m höher als die ursprüngliche Oberfläche aufgeschichtet. Die Art und Weise beruhte zum einen auf den Erfahrungen der Farmer und zum anderen auf Kenntnissen über die Bodenbeschaffenheit und den hydrologischen Gegebenheiten.

Hauptaufgabe der Arbeitsgruppe war die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration, der Pflanzenwasserverdunstung, des kapillaren Aufstiegs, der Versickerungsverluste und somit die Berechnung der Bodenwasserbilanz.

Dazu war die Erfassung der meteorologischen Daten in den Untersuchungsräumen nötig. Es wurden Klimastationen an zwei Standorten, Universitätsgelände Can Tho und Hoa An, installiert. Can Tho repräsentiert die klimatischen Verhältnisse der umliegenden Versuchsgebiete des Projektes in An Binh und Long Tuyen.

Die Einheiten (Sensoren, Übertragungsgerät und Basisstation) wurde von der Firma adcon telemetry (Österreich; www.adcon.at) zusammengestellt bzw. hergestellt. Die Daten wurden mit den Programmen addVANTAGE Lite und Microsoft Excel verarbeitet. Es wurden die Parameter Niederschlag, Temperatur, Relative Luftfeuchtigkeit, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und -richtung sowie an einem Standort die Bodentemperatur täglich digital aufgezeichnet.

Für die Berechnung des Be- und Entwässerungsbedarfs der ausgewählten Standorte wurden die jeweiligen boden-physikalischen Kennwerte und typischen Kulturarten berücksichtigt. Die dafür entnommenen Bodenproben wurden im Labor des College of Technology der Universität Can Tho analysiert. Zur Charakterisierung der Versuchsflächen dienten je Standort drei Bodenproben aus den Tiefen 10 – 20 cm, 40 – 50 cm und 80 – 90 cm.

Das computergestützte Simulationsmodell CROPWAT nach FAO (1993) wurde zur Überprüfung herangezogen bzw. auf seine Anwendbarkeit zur Optimierung des Bewässerungsmanagements getestet.

Folgende Berechnungen wurden angestellt:

1. Evapotranspiration - ET₀:

Es wurden folgende Formelansätze verwendet und miteinander verglichen:

- PENMAN-MONTEITH (1976)
- BLANEY-CRIDDLE (erweitert nach DOORENBOS und PRUITT 1977)
- THORNTHWAITE und MATHER (erweitert nach SIEGERT und SCHRÖDTER 1975)
- TURC (1961)

Die ursprünglich vorgesehene Installation eines CLASS-A-PAN zur Messung der aktuellen Verdunstung konnte nicht realisiert werden.

Die Gleichung nach PENMAN-MONTEITH gilt allgemein als die repräsentativste, da sie alle relevanten Komponenten in die Berechnung mit einbezieht. Sie liefert gut interpretierbare Werte der täglichen, dekadischen und monatlichen Rate der potentiellen Evapotranspiration. Aufgrund dieser Aussagen wurden die Ergebnisse der Formel PENMAN-MONTEITH für weiterführende Berechnungen verwendet.

2. Evapotranspiration verschiedener Pflanzenarten - ETC (Pflanzenwasserverdunstung)

Den ETC-Wert erhält man aus der Multiplikation des Pflanzenkoeffizienten (k_c) für die jeweilige Wachstumsperiode mit dem entsprechenden ET₀-Wert.

$$ET_c = k_c \times ET_0$$

Aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den verschiedenen k_c -Werten der Pflanzen (Mais, Mung- und Sojabohne, Tomate, Knollenfrüchte) und dem Überwiegen der Mungbohne wurde für weiterführende Berechnungen dieser ETC – Wert verwendet.

Effektiver Niederschlag

Die Berechnung des effektiven Niederschlags erfolgte durch das Programm CropWat nach FAO (1993). Diesem Programm liegt die Methode des USDA SOIL CONSERVATION SERVICE zu Grunde.

Kapillarer Aufstieg

Diese Größe wurde mit dem Programm UpFlow (K.U. Leuven Universität, Belgien, 2001) berechnet. Die dafür benötigten Parameter wurden durch Bodenanalysen oder Messungen ermittelt.

Wasserbilanz zu den Versuchsfeldern der Agrarökologie-Gruppe

Die Detailanalysen des quantitativen Ge- und Verbrauchs des Wassers auf den Versuchsfeldern wurde mit Hilfe folgende Formeln berechnet:

$$\text{Hügelbeet: } W_{i+1} = W_i + R + I + Ge - ET_c - RO - P$$

$$\text{Reisfeld: } a = (I + R) - (ET_c + P + S + D + RO)$$

(W_{i+1} = Wassergehalt in der Wurzelzone zum Zeitpunkt $i+1$; R = Niederschlag; I = Bewässerungshöhe; Ge = kapillare Aufstiegshöhe; RO = Oberflächenabfluss; P = Perkolation; S = Versickerung; D = Entwässerungshöhe; ET_c = Pflanzenverdunstungshöhe; a = stehendes Wasser; alle Parameter sind in der Einheit mm ausgewiesen)

Die dafür notwendigen Be- und Entwässerungshöhen wurden in bestimmten regelmäßigen Zeitabständen abgelesen. Dazu wurden, wie in nachfolgender Abbildung dargestellt, in jedem Versuchsfeld drei Grundwasser-Pegel angelegt. Diese Messstände wurden ein bis zwei Mal pro Tag abgelesen.

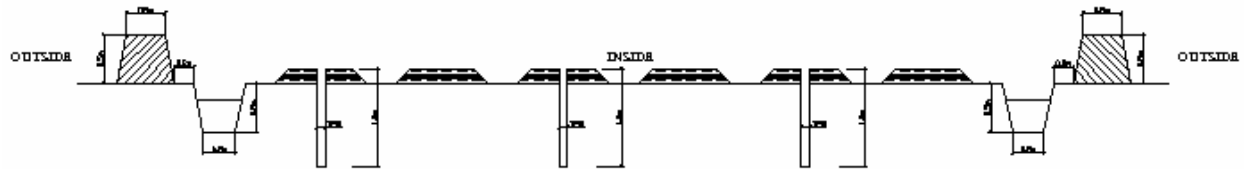


Abbildung 3 Grundwasserpegel in den Hügelbeeten

Der im Projektantrag in Aussicht gestellte Vergleich von Dauerkulturen und Kulturpflanzen hinsichtlich des Einflusses auf die hydrologischen Verhältnisse konnte nicht vorgenommen werden, da keine Dauerkulturen angebaut wurden.

Die Qualität des zu- und abfließenden Wassers wurde von der Arbeitsgruppe Hydrogeologie untersucht.

Die Befragung der Landwirte übernahm die Arbeitsgruppe Soziologie.

7.3 Ergebnisse und Diskussion

ET_0 – Berechnung:

Tabelle 7: Basisverdunstungshöhen in Can Tho

Jahr	Monat	Penman-M. [mm]	Blaney-Criddle [mm]	Thornthwaite [mm]	Turc [mm]	CropWat [mm]
2003	Dezember	108	146	112	102	112
2004	Januar	155	200	125	131	149
2004	Februar	110	153	101	125	110
2004	März	122	162	144	122	121
2004	April	134	203	201	144	135
2004	Mai	120	161	201	122	124
2004	Juni	98	140	158	101	99
2004	Juli	101	140	159	96	102

Tabelle 8: monatliche Basisverdunstungshöhen in Hoa An

Jahr	Monat	Penman-M. [mm]	Blaney-Criddle [mm]	Thornthwaite [mm]	Turc [mm]	CropWat [mm]
2003	Dezember	102	142	133	107	105
2004	Januar	103	140	119	113	99
2004	Februar	99	139	102	127	102
2004	März	114	156	150	125	118
2004	April	122	167	169	138	123
2004	Mai	124	145	178	131	127
2004	Juni	99	114	151	107	96
2004	Juli	96	109	153	99	96

Tabelle 9: benötigte Parameter bei den jeweiligen Formelansätzen

Methode	Temp.	relative Luftfeucht.	Wind- geschwind.	Sonnen- scheindauer	Global- strahlung
PM	*	*	*	/	*
Blaney-Criddle	*	○	○	○	/
Thornthwaite	*	/	/	/	/
Turc	*	○	/	*	/
CropWat	*	*	*	*	(*)

* gemessene Daten ○ Richtwert (*) wenn möglich (nicht erforderlich)

Da aus verschiedenen Untersuchungen (beschrieben von SCHRÖDTER, 1985) hervorgegangen ist, dass die PENMAN-MONTEITH (PM) Formel für die Berechnung der Basis-Verdunstung außerordentlich gut geeignet ist, um interpretierbare Werte zu liefern und keine Messungen vorgenommen wurden, werden die PM - Werte als maßgeblich angesehen. Auf dieser Grundlage kann man sagen, dass die größten Abweichungen bei der BLANEY-CRIDDLE sowie der THORNTHWAITE Formel zu verzeichnen sind. Hingegen nach dem Ansatz von TURC vergleichbarere Werte berechnet werden können. Dem Programm CropWat liegt ebenfalls die PM – Formel zu Grunde. Hier wird lediglich die Sonnenscheindauer statt der Globalstrahlung verwendet.

Vollständige Datensätze der einzelnen Meteo-Sensoren zur Berechnung der ET_0 – Werte liegen infolge anfänglicher technischer Schwierigkeiten und auf Grund von Gerätefehlern und Ablesemängel größtenteils erst ab Dezember 2003 vor. Bei kürzeren Datendefiziten wurde interpoliert, bei größeren wurden langjährige Monatsmittelwerte von der amtlichen Klimastation in Can Tho eingesetzt oder von der FAO Station in Ho Chi Minh City übernommen.

Wasserbilanz:

Die detaillierten Berechnungen der Wasserbilanz zeigen, dass insbesondere im Anfangsstadium eine tägliche Bewässerung notwendig ist. Der kapillare Aufstieg deckt die Verdunstungsverluste nicht. Das Defizit setzt sich in der weiteren Vegetationsperiode fort.

7.4 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen ergaben eine durchschnittliche Evapotranspiration von 4 mm/d für Mungbohne, die als repräsentatives Beispiel gewählt wurde.

Sie zeigen ferner, dass den Kulturen während der Anbauperiode zwischen November und Mai Wasser zugeführt werden muss.

Die Verdunstungsberechnung sollte weiterhin nach dem Penman-Monteith-Ansatz erfolgen. Für den Fall, dass Parameter nicht aufgezeichnet werden können, zeigte der Vergleich mit anderen Formeln, dass auch die Berechnung nach TURC, der ohne Berücksichtigung von Windgeschwindigkeit und Luftfeuchte auskommt, vergleichbare Werte liefern kann. Dies gilt allerdings nur bei den vorhandenen klimatologischen Gegebenheiten.

Der Datenempfänger der Adcon-telemetrie- Anlage (Basis-Station) sollte innerhalb der Universität fest eingerichtet werden, damit eine ständige Überwachung der Klimastationen erfolgen kann und die Verluste an Messwerten begrenzt hält.

Die Installation einer Klasse-A-Verdunstungspfanne in der Nähe der Versuchsfelder wird ebenfalls empfohlen. Dadurch wird eine Kontrollmöglichkeit zu den klimatologisch ermittelten Berechnungswerten geschaffen. Der gemessene tagesspezifische ET_0 -Wert erlaubt bei technisch bedingtem Ausfall eines Sensors der Klimastation die Datensicherung der Verdunstungshöhe.

8 Arbeitsgruppe Wirtschaftssoziologie: Akzeptanzanalyse neuer Technologien im dezentralen Wassermanagement

Thomas Kutsch, Florian Wieneke, Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie, Universität Bonn

M.Sc. Huynh Thi Ngoc Luu, College of Technology, M.Sc. Le Canh Dung, Farming System Institute, University of Can Tho

8.1 Einleitung

Im Rahmen des SANSED-Projektes, widmete die Arbeitsgruppe "Wirtschaftssoziologie" ihre Forschungstätigkeiten dem komplexen Aufgabe, eine nachhaltige Akzeptanz der einzuführenden Innovationen für ein dezentralisiertes Abwassermanagement durch die Zielgruppe zu erzielen. Das Akzeptanzverhalten der landwirtschaftlichen Haushalte stellt eine Schlüsselrolle für die nachhaltige Entwicklung dar. Folglich ist die Zielsetzung dieser Studie eine Analyse zur Einstellung und Akzeptanzverhalten einiger miteinander verbundener Innovationen, wie Biogasanlagen (BGA), moderne Latrine (ML) und Biogasschlamm (BGS). Diesbezüglich ist besonders der Gebrauch menschlicher Exkremete in der Biogastechnologie ein Forschungsschwerpunkt. Die Untersuchung soll bestimmende Faktoren für die Annahme dieser Innovationen bestimmen und auswerten. Resultate sind eine Beschreibung der gegenwärtigen sozioökonomischen Bedingungen und ihrer Bedeutung für den Gebrauch und das Verhalten hinsichtlich Abfall und Abwasser. Weiter stellt diese Analyse ausführliche Informationen über Schlüsselfaktoren für die Akzeptanz der jeweiligen Innovation sowie das Gesamtsystem dar. Daraus ergeben sich konkrete Empfehlungen für die Entwicklung einer soziologisch-kulturell angepassten Lösung im ökologischen Sanitätswesen eines integrierten Farmmanagements. Folglich trägt die Untersuchung dazu bei, Wasserverschmutzung sowie auf verunreinigtem Wasser basierende Krankheiten im Mekong Delta Vietnams zu verhindern.

8.2 Konzept und Methodik

Im Zeitrahmen des SANSED-Projektes war es notwendig, die Ansätze einiger Akzeptanztheorien in einer praktischen Weise zu kombinieren. Infolgedessen wurde für die Evaluierung der Faktoren, die die Einstellung und Akzeptanz beeinflussen, ein holistischer Ansatz gewählt, der im wesentlichen auf Langenheders Entscheidungstheorie (1975:66), Kollmanns Nutzen-Akzeptanz-Modell (1998:106) und der Definition des landwirtschaftlichen Betriebshaushaltes als sozioökonomisches System nach Doppler (1991:15ff) basiert. Die durchgeführte Erhebung beinhaltet somit die sechs Dimensionen des persönlichen Umfeldes (sozial, ökonomisch, politisch, kulturell, medizinisch und ökologisch) sowie die Einschätzung der wahrgenommenen Attribute der Innovationen.

Biogasanlage (BGA) und verbundene moderne Latrine (ML) sind die technologischen Innovationen. Sie produzieren Biogasschlamm (BGS), der als dritte Innovation im Forschungsansatz dieses Substratkreislaufes betrachtet wird. Die Nutzung von BGA wurde als Hauptkriterium für die Auswahl der Stichprobe genommen. Die Befragung fand in insgesamt 218 landwirtschaftlichen Betriebshaushalten statt, die in Nutzer und Nicht-Nutzer dieser Innovationen kategorisiert wurden.

Die Betriebshaushalte wurden demnach mittels einer disproportional geschichteten Stichprobe

in den drei Dorfgemeinschaften von Hoa, Long Tuyen und An Binh ausgewählt (Friedrichs 1990:140). Entsprechend dem klassischen Verfahren eines empirischen Forschungsplanes werden die Hauptschritte der methodischen Vorgehensweise in der folgenden Abbildung 1 veranschaulicht (Diekmann 1996: 162ff).

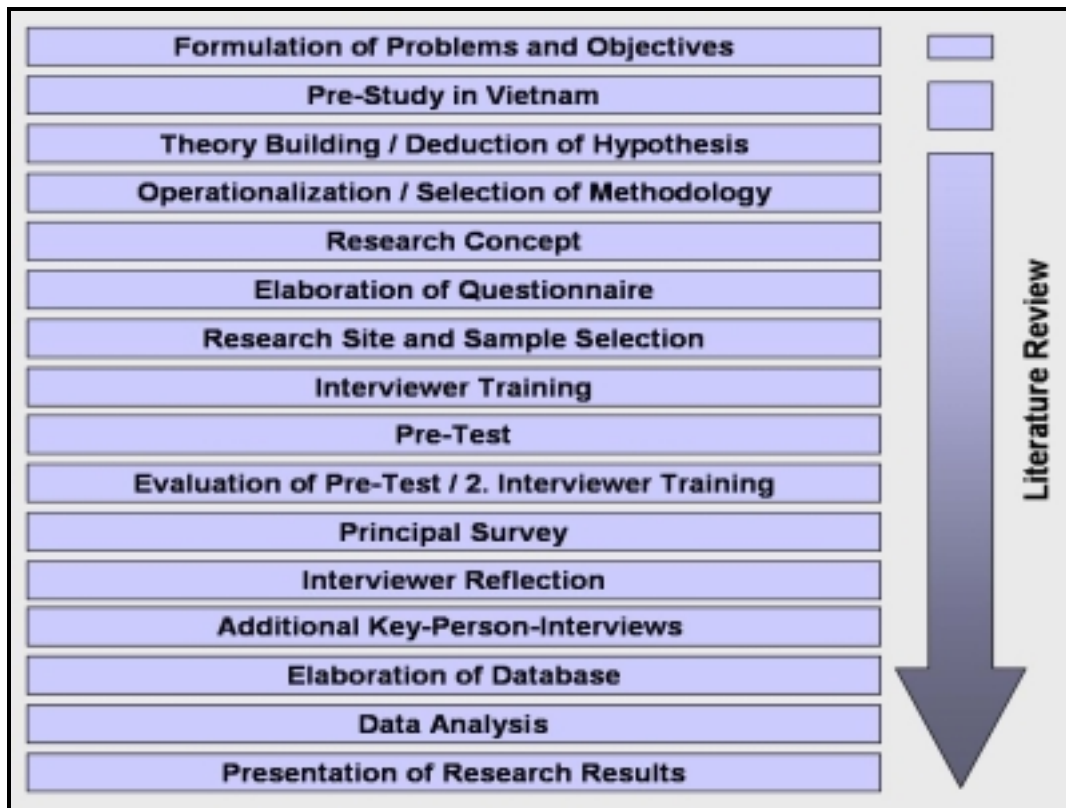


Abbildung 4: Hauptschritte des Forschungsprozess

Datenerhebung und -Verarbeitung

Der Pilotworkshop im März 2003 und die nachfolgende Pilotstudie machte die Ausarbeitung des Fragebogens in Deutschland möglich. Die eigentliche Erhebung wurde von Oktober 2003 bis Februar 2004 durch ein Team von vier vietnamesischen Diplomanden mit landwirtschaftlichen Hintergrund und grundlegenden Englischkenntnissen realisiert. Nach einer Einweisung in den Fragebogen und einem erfolgreichen Pretest wurden jeden Tag zwei Befragungsrunden a vier Interviews mit Pausen zur Reflektion durchgeführt. Gute Forschungskontakte zwischen der Universität Can Tho und der Gemeinde Long Tuyen sowie Kontakte zu lokalen Begleitern waren bereits hergestellt worden, die einen guten Ausgangspunkt bildeten. Insgesamt wurden mit Hilfe der lokalen Regierung und dem ortskundigen Begleiter 218 Haushalte befragt. Die Interviews fanden im Betriebshaushalt mit dem Familienoberhaupt statt und hatten eine durchschnittliche Dauer von 1,5 Stunden. In der gleichen Weise wurden die landwirtschaftlichen Betriebshaushalte in An Binh und Hoa An untersucht.

Während der Feldarbeit in Vietnam wurde jeder Fragebogen der jeweiligen Interviewrunde überprüft, um Fehler und Mängel an Daten zu vermeiden. Entsprechend einem Codeplan wurden alle Daten der Fragebögen in das Programmsystem SPSS für statistische Datenanalyse eingegeben und verarbeitet.

8.3 Ergebnisse

Die Erhebung konnte sehr detaillierte Daten bezüglich des Haushalt Niveaus zu jeder Dimension und Innovation erfassen, die im Folgenden kurz dargestellt werden und ausführlich bei Wieneke (2005) beschrieben sind:

Im Durchschnitt beträgt das Alter des Familienoberhauptes 47,5 Jahre, die durchschnittliche Familiengröße 3,3 Pers./Haushalt. Das Bildungsniveau liegt zumeist bei Primarschulabschluss. Die durchschnittliche Betriebsgröße beträgt 0,8 ha (Nutzer) bzw. 1,0 ha (Nicht-Nutzer). Insgesamt sind der Lebensstandard und die ökonomischen Ressourcen der Nutzer-Haushalte höher als die der Nicht-Nutzer-Haushalte.

Bezüglich der Wassernutzung ist festzustellen, dass doppelt so viele Nicht-Nutzer Haushalte als Nutzer-Haushalte Oberflächenwasser benutzen. Umgekehrt besteht das gleiche Verhältnis bzgl. des Verbrauchs von Grundwasser. Die meist gebräuchliche Wasseraufbereitung erfolgt durch Abkochen und eine zusätzliche Behandlung mit Aluminiumsulfat, einem Filter (Keramik oder Tuch) oder Chlor. Nur Regenwasser wird in vielen Fällen nicht behandelt.

Abfall ist ein Problem mit zunehmender Tendenz vom ländlichen zum suburbanen Raum (Bevölkerungsdichte, Änderung /Verwestlichung des Konsumverhaltens) und die Anzahl wilder Müllhalden nimmt zu. Die Bevölkerung entsorgt anorganische Abfälle wie z.B. Verpackung durch Verbrennung, benutzt sie zur Landgewinnung (Auffüllen von Teichen) oder deponiert sie einfach im öffentlichen Kanal. Dennoch zeigten die Befragten Bewusstsein bzgl.

Umweltverschmutzung, besonders des Wassers, wenn auch kaum eigene Initiative besteht diese Probleme anzugehen. Die Bevölkerung verlangt Regierungslösungen für Abfallbeseitigung und Wasserversorgung aufgrund des niedrigen Lebensstandards und geringer finanzieller Möglichkeiten.

Die Zielsetzungen für die Entwicklung des eigenen Betriebshaushaltes konzentrieren sich auf Entwicklung der Tier- und Obstproduktion, die zu einer Diversifikation der landwirtschaftlichen Produktion führt, um Einkommensrisiken zu verringern.

Die wahrgenommenen, größten Probleme der Haushalte sind Mangel an Kapital für weitere Investition, Mangel an Ausbildungsmöglichkeiten und die als problematisch bezeichnete Marktlage. Letzteres bezieht sich sowohl auf die Preisfluktuation der Agrarerzeugnisse im Allgemeinen und besonders auf das ungünstige Kosten-Nutzen Verhältnis für die Schweinezucht. Die unsicheren Produktionsbedingungen sind einer der Hauptgründe, der die Akzeptanz von BGA verhindert, da BGA auf der Grundlage der Schweinezucht eingeführt worden sind. Als weiteres Hemmnis wird der Personalmangel zur Beratung und technischen Assistenz sowie geringe Ausbildung und Informationszugang genannt.

Hinsichtlich des Anschlusses von ML an BGA sowie dem Gebrauch von BGS und Förderung von Vermikultur werden fehlender Informationszugang, Anschauungsobjekte und einem angepassten Kreditsystem für die Investition als Hemmnisse genannt.

Außerdem führt Plagiatentum zu ernstzunehmenden Problemen bei Produktionsmitteln (z.B. Verdünnung des Düngemittels) und Installationen (z.B. preiswerteres Plastik für BGA). Einzelne preiswerte Lösungen (z.B. Reduzierung der Folienschichten) und unprofessionelle Modelle führten zu schlechter Reputation und Ablehnung von BGA und ML. Die Tradition, "Fisch-Toiletten" zu benutzen, ist hauptsächlich in ökonomischen Aspekten für die Fischzucht begründet. Dennoch kennen ungefähr 70% der Antwortenden die Regierungsabsichten, Fisch-

Latrinen zu ersetzen und den Gebrauch des organischen Düngemittel zu fördern.

Die Hauptkommunikationskanäle, sind - gemäß ihrer Priorität- TV, Massenorganisationen und informelle Sozialkontakte.

Für die Implementierung von Innovationen sind politische Regelungen kombiniert mit einem bottom-up Ansatz bzgl. Informationsverbreitung und Finanzierungsmöglichkeiten sowie Zeit für einen sozialen Wandel notwendig, auch wenn die Nachfrage der Leute nach Verbesserung der Gesundheits- und Sanitätswesen hoch ist.

8.4 Fazit

Die Untersuchungen ergaben, dass mangelnde Information und Finanzierung die Haupthemmnisse für die Einführung von Innovationen darstellen. Um ein nachhaltiges, dezentrales Wassermanagementsystem zu gestalten und einzuführen ist es daher entscheidend, einen gemeinschaftlichen Weg zu bestreiten.

Auf Basis der gewonnen Erkenntnisse können folgende Empfehlungen gemacht werden:

↪ **Information und Custom-to-fit-systeme:**

Die Haushalte benötigen Informationen über die Möglichkeiten in BGA und ML zu investieren, insbesondere über Kosten, Kredite, Tilgungsraten, die anhand von Best- und -worst-case Beispielen unter Berücksichtigung der Tierproduktion und Familiengröße verdeutlicht werden sollten. Vorstellbar ist eine Art Schiebellehre/Rad, um die wesentlichen Rahmenbedingungen des Haushaltes einstellen zu können, die das passende Modell, die Größe, etc. anzeigt. Mit Hilfe dieses anschaulichen „Recheninstruments“ können die landwirtschaftlichen Berater ausführliche Informationen übermitteln, und sogar die Landwirte selbst vermögen die Anforderungen für eine Investition zu berechnen.

↪ **Aufbau von Kapazitäten:**

Es besteht Bedarf an landwirtschaftlichen Beratern und verantwortlichen Kontaktpersonen für technische Betreuung . Außerdem sollten Demonstrationsobjekte aufgebaut werden, wenn möglich von den Landwirten, die über ein ausgezeichnetes Image und Vertrauenswürdigkeit bei ihren Mitbürgern verfügen. Die Installationen dienen als Informations- und Trainingseinheiten im Sinne des Multiplikatoreffekts. Hierbei sollte auch insbesondere Wert auf selbstständige Problembewältigung/Lösungskapazität gelegt werden.

↪ **Spezielle Kreditsysteme:** Abgesehen von der Vielzahl von BGA und ML Modellen und Größen mit unterschiedlichen Preisen, erfordert eine wirkungsvolle Einführung und Diffusion, die auch ökonomisch schwache Haushalte einbezieht, ein Kreditsystem, das auf die Bedingungen und Möglichkeiten des Konsumenten angepasst ist.

↪ **Stabilisierung der landwirtschaftlichen Produktion:** Prävention von Wucher und Einführung von Qualitätsstandards hinsichtlich der Produktionsmittel (z.B. Mineraldünger, Reiskleie, Bruchreis, etc.). Minderung der lokalen Marktpreisfluktuationen für Agrarerzeugnisse durch Verbesserung der Vermarktungsinfrastruktur.

↪ **Einführung von Qualitätsstandards:** Ausarbeitung von standardisierten Installationspaketen für gemauerte und Polyäthylen BGA. Diese Systeme müssen entsprechend Größe und Installationsort flexibel sein. Aber das Installationsvorgehen und besonders das benutzte Material muss standardisiert werden. Außerdem erfordert die Realisierung gesetzliche Regelungen, um Plagiate zu verhindern.

- ↪ **Kommunikationsnetzwerk für Erfahrungsaustausch:** Die etablierten Massenorganisationen, hierunter besonders die Vereinigung der Landwirte und die der Frauen sowie Kultur- und Rentner-Club, bieten eine ausgezeichnete Plattform für den Erfahrungsaustausch nach dem Subsidiaritätsprinzip.
- ↪ **Monitoring Einheit:** Mittels des vorhandenen Beratungsdienstes sollte für eine dauerhafte Betreuung gesorgt werden. Es bietet die Möglichkeit auf jegliche Änderungen von Rahmenbedingungen zu reagieren und das System anzupassen.

Diese Empfehlungen wurden auf Grundlage der ersten Forschungsergebnisse formuliert. Selbstverständlich sind sie im Detail mit allen verantwortlichen Personen zu besprechen und anschließend im Detail entsprechend den lokalen Bedingungen auszuarbeiten. Beteiligt werden sollten Repräsentanten aller Massenorganisationen (besonders die der landwirtschaftlichen Beratungseinheit und der Frauenvereinigung), der lokalen Regierung, der Universität, der Bezirke und Wohnviertel sowie mögliche Versorger der erforderlichen Baumaterialien. Da die Regierung von Vietnam höchste Priorität auf die Entwicklung der sanitären Infrastruktur legt, einschließlich Biogastechnologie, können die Resultate und die Erfahrungen zur nationalen Strategie in diesem Sektor beitragen.

9 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

9.1 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass für die zahlreichen Einwohner im Mekong Delta ein Bedarf an geeigneten Wasserver- und Entsorgungssystemen besteht, die zur Lösung der vorhandenen gesundheitlichen und ökologischen Probleme beitragen können.

Im Bereich der Abwasser- und Abfallentsorgung fehlt ein geregeltes Management. Abwasserbehandlung wird bisher höchstens bei Produktionsbetrieben, nicht aber bei Haushalten oder bei Tierhaltung durchgeführt. Abfälle werden nur in zentralen Bereichen der Städte gesammelt und zusammen abgelagert, in vielen Bereichen gelangen sie in die Oberflächengewässer.

Die unkontrollierte Einleitung der Abfälle und des Abwassers führt zu einer hygienischen Belastung der Gewässer und die enthaltenen Ressourcen bleiben ungenutzt. Eine Verwertung der Nährstoffe als Sekundärrohstoffdünger in der Landwirtschaft findet bisher nicht in nennenswertem Umfang statt.

Nährstoffe werden teilweise in traditionellen Fischteichen genutzt, in die Abwasser aus der Tierhaltung und menschliche Ausscheidungen eingeleitet werden, wodurch vermehrt Biomasse aufgebaut und Fischfutter eingespart wird. Die direkte Einleitung von Ausscheidungen beinhaltet jedoch eine hygienische Gefährdung.

In geringem Umfang erfolgt eine energetische Nutzung der Abfälle in Biogasanlagen.

Die Untersuchungen mit derzeit verfügbaren Substraten zeigten beim Einsatz im Pflanzenbau aussichtsreiche Ergebnisse. Insbesondere der Einsatz der organischen Dünger zu Trockenlandkulturen, d.h. zu Zwischenfrüchten mit hohem Marktwert als Unterbrechung der Reis-Monokultur kann sich positiv auf die Produktivität des ganzen Anbausystems auswirken. Auf den beiden vorherrschenden Bodentypen, den sulfatsauren und alluvialen Böden konnte der Einsatz der Dünger zum Ausgleich von auftretenden Mangelsymptomen verschiedener Nutzpflanzen beitragen, wobei neben den direkt pflanzenverfügbaren Nährstoffen längerfristig die bodenverbessernde Eigenschaften und Residualeffekte der Substrate zum tragen kommen werden. In ersten Untersuchungen führte die Düngung mit stickstoffreichen anaeroben Schlämmen auf alluvialen Böden zu guten Erfolge, bei den sulfatsauren Böden kamen besonders aerobe Komposte mit hohem P-Gehalt und weiterem C/N-Verhältnis dem Anbau von Feldgemüsen und Knollenfrüchten zugute.

Die Art und Menge der zu verabreichenden Substrate muss unter Berücksichtigung der pflanzenbaulichen und hygienischen Eigenschaften kulturarten- und bodenspezifisch erfolgen.

Dem Einsatz von Abwasser oder Abfall in der Aquakultur sollte eine Vorbehandlung zur Reduzierung des Kohlenstoffgehaltes und der Keimbelastung vorausgehen. Generell sind für den Einsatz in der Aquakultur kohlenstoffarme, stickstoff- und phosphorreiche Substrate erwünscht.

Zur Wasserversorgung wird Oberflächen-, Grund- und Regenwasser herangezogen, wobei der Hauptteil zur Bewässerung, weniger als 10% für Trinkwasser bestimmt sind. Eine Aufbereitung erfolgt häufig in den Haushalten, in zentraleren Bereichen auch in Gemeinschaftsanlagen.

Hinsichtlich der Nutzung dieser Ressourcen bestehen die folgenden Einschränkungen:

Regenwasser steht zeitlich nur beschränkt während der Regenzeit zur Verfügung. Bei der erforderlichen Lagerung über die Trocken-Monate muss die Gefahr von Verkeimungen des Wassers zu berücksichtigt werden.

Grundwasser ist in einigen Bereichen des Deltas aufgrund eines hohen Salzgehaltes nicht oder nur eingeschränkt nutzbar. Die beobachtete Absenkung des Grundwasserspiegels zeigt an, dass derzeit eine Übernutzung erfolgt und bei Fortsetzung der derzeitigen Praxis diese Ressource nur noch begrenzt zur Verfügung steht. Der unkontrollierte Bau von Grundwasserbrunnen stellt eine weitere Gefährdung dieser Ressource dar, da bei unsachgemäßem Umgang die Gefahr von chemischen und mikrobiologischen Verunreinigung dieser Ressource besteht.

Oberflächenwasser ist durch die unkontrollierte Einleitung von Abwässern mit Nährstoffen und (pathogenen) Mikroorganismen belastet; die untersuchten Proben überschritten z.B. die WHO-Standards für Bewässerungswasser.

Die Behandlung der Abwässer bzw. eine Reduzierung der Belastungen ist dringend geboten, da die aktuelle Aufbereitungspraxis in Haushalten und kleinen Versorgungsanlagen derzeit häufig nicht die geforderte Qualität für Trinkwasser erreicht.

Wassermanagement-Konzepte sollten daher neben einer Verbesserung der Wasseraufbereitung insbesondere darauf abzielen, die Einleitung nährstoff- und pathogen belasteter Abwässer zu reduzieren und statt dessen Nährstoffe wieder zu verwerten.

9.2 Schlussfolgerungen und Konzepte

Neue Konzepte erfordern neben der technisch-fachlichen Eignung die Akzeptanz der Bevölkerung und die Einbindung dieser in den Prozess. Die im Rahmen der soziologischen Untersuchung befragten Personen zeigten ein Bewusstsein hinsichtlich der Umwelt-, insbesondere der Wasserverschmutzung. Die Eigeninitiative zur Veränderung war jedoch gering. Als Haupthemmnisse wurden Informationsdefizite und Mangel an Kapital genannt. Es ist daher wichtig, dass die Implementierung von kostengünstigen Ab- bzw. Trinkwasseranlagen eine hohe Motivation für die Anlagenbetreiber beinhalten (finanzieller Gewinn, direkte Verbesserung der Lebensqualität) und von Schulungsmaßnahmen begleitet wird. Gute Informationsverbreitung ist insbesondere bei dezentralen Anlagen erforderlich, da das Wissen bei den Betreibern - unabhängig davon, ob es sich um einen Wasserversorger oder einzelnen Haushalt handelt - bereit stehen muss.

Trinkwasserbehandlung

Für eine mittel- bis langfristige Sicherstellung der Wasserversorgung der Bevölkerung im ländlichen Bereich sind Wasserbedarfsprognosen (Einfluss des Wirtschaftswachstums!) und weitere Untersuchungen hinsichtlich der nachhaltigen Nutzung der Ressourcen durchzuführen.

Ein Wassermengenkonzept, das alle Ressourcen mit berücksichtigt, sollte standortspezifisch aufgestellt werden.

Regenwasser kann kostengünstig gesammelt werden. Bei Lagerung ist die hygienische Sichererheit durch entsprechende Maßnahmen sicherzustellen.

Bei der Behandlung des Oberflächenwassers ist der Schwerpunkt der Aufbereitung auf die Vorbehandlungsstufen zu legen. Aufgrund eines hohen Tonanteils der Schwebstofffracht in den Oberflächengewässer ist zunächst eine starke Reduzierung der Schwebstofffracht erforderlich, wie sie z.B. in Langsandsandfiltern erreicht wird.

Aus ökonomischen Gründen sollten die Anlagen wenigstens etwa 50 Haushalte versorgen.

In An Binh wird eine Verbesserung der derzeitigen Grundwasserbehandlung empfohlen, in Hoa An sollte Oberflächenwasser aufbereitet werden

Abwasserbehandlung

Verwertbare Nährstoffe fallen etwa in der Tierhaltung und in den Haushalten an. Die Entwicklung von Verwertungskonzepten ist für beide Bereiche gleichermaßen bedeutend, wobei durchaus die gleiche Lösung oder die Kobehandlung von tierischen und menschlichen Exkrementen möglich ist.

Als besonders aussichtsreiche Verfahren zur Produktion landwirtschaftlich verwertbarer Substrate aus der Abwasserbehandlung werden die folgenden Verfahren erachtet:

Anaerobe Behandlung mit Gewinnung von Biogas

Bei der Behandlung des Abwassers in Biogasanlagen gelangen die Nährstoffe in ein wässriges Substrat und einen anaeroben Schlamm mit engem C/N-Verhältnis. Das bei diesem Verfahren zusätzlich produzierte Biogas bietet für den Betreiber einen weiteren Anreiz und einen finanziellen Vorteil gegenüber anderen Verfahren. Da es bereits teilweise praktiziert wird und auch auf soziale Akzeptanz stößt, sollte dieses Verfahren weiter verfolgt und optimiert werden. Nur ein geringer Teil der befragten landwirtschaftlichen Haushalte äußerte Einwände gegen eine zusätzliche Verwertung menschlicher Exkremente in der Anlage, so dass diese mit eingeleitet werden könnten. Außerdem ist die zusätzliche Verwertung organischer Abfälle anzuregen.

Kleinstbiogasanlagen können bereits bei einer Betriebsgröße von etwa 2 GV (z.B. 2 Sauen mit Ferkeln) rentabel betrieben werden und eine Familie ausreichend mit Biogas zum kochen versorgen. Die Gewinnung von Elektrizität bedarf größerer Abfallmengen und sollte insbesondere für Großbetriebe und in nicht mit Strom versorgten Gegenden in Betracht gezogen werden.

Die befragten Personen wünschten teilweise eine Verringerung des Wassergehaltes im Schlamm zur Verbesserung der Transportfähigkeit und eine Keimreduktion, was durch Kompostierung bzw. Vermikompostierung erreicht werden kann. Diese Behandlung verändert gleichzeitig auch die Düngereigenschaften und -wirkung, über die Anwender konkret zu informieren sind.

Die Prozesse sind ebenso wie der Düngungseinsatz von Substraten kultur- und bodenspezifisch zu optimieren.

Stoffstromtrennung

Durch die Trennung der Ausscheidungen in Urin und Faeces in zwei Stoffströme kann der Hauptteil der Nährstoffe im Gelbwasser konzentriert werden. Aus dieser Fraktion entsteht ein hochkonzentrierter Harnstoffdünger, der Stickstoff-, Kalium- und Phosphor-reich ist und dessen Düngewirkung der von Mineraldünger gleichkommt. Damit ist er im Pflanzenbau vielseitig einsetzbar und aufgrund der geringen C-Gehalte auch für die Aquakultur geeignet. Durch Trocknung kann die Keimzahl verringert und die Transportfähigkeit verbessert werden.

Eine Separation und Verwertung des Gelbwassers wird bisher nicht praktiziert.

Die Verwertungsmöglichkeiten, die sich für die kohlenstoffreiche Braunwasser-Fraktion anbieten, sind jedoch teilweise bekannt.

Beim Einsatz von Trockensystemen (Komposttoiletten, Mist) kann aus Exkrementen mittels Heißrotte oder auch durch Würmer Kompost gewonnen werden.

Flüssigere Braunwasser-Fraktionen können in anaerober Vergärung für Biogas- und Schlammproduktion genutzt werden. Als weitere Möglichkeit zur Keim- und BSB/CSB-Reduktion dieser Fraktion bietet sich ein Bodenfilter an, der bei entsprechender Bestockung auch Nährstoffe wieder verwerten kann.

Aufbauend auf unseren Erkenntnissen und Erfahrungen vor Ort wurden hierzu geeignete Konzepte zusammen mit deutschen Fachfirmen erstellt, die in Phase II optimiert bzw. eingeführt werden sollen.

10 Literatur

- Abrahamson, J. & Svensson, V. (2000). Rural drinking water- Quality and supply in the Mekong River Delta. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- An B.X. Preston T.R., Dolberg F.(1997): The introduction of low-cost polyethylene biodigesters on small scale farms in Vietnam. *Livestock Research for Rural Development* (9) 2. <http://www.cipav.org.co>
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith (1998): Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement - FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy.
- Astro, G. J. (1987). Aufklärung und Akzeptanz im Rahmen von Trinkwasserversorgungs- und Sanitärprojekten. Weltforum Verlag, München, Köln, London.
- Ayres, R. M. & Mara, D. D. (1996). Analysis of wastewater for use in agriculture. WHO, Geneva.
- Becker, M., Ladha, J.K., Simpson, I.C., and Ottow J.C.G. (1994). Parameters affecting residue nitrogen mineralization in flooded soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1666-1671.
- Bos, J. (1984): Spatial variability of potential and actual acid sulphate soils in the Mekong Delta – Vietnam, Department of Soil Science and Geology, Wageningen University, Netherlands
- Böttcher G. 1929: Über Berkefeldfilter, *Kleine Mitteilungen WaBoLu Landesanstalt* (5), 59-63
- Brinkmann, W.R, (1993): Sulfidic Materials in the Western Mekong, Delta, *Catena* 20 (3), pp. 317 - 331
- Can, N.D. (2003). Land use structure and farming systems in the Mekong Delta: Current and future of rice farming. Paper presented at the Workshop on Post-harvest in the Mekong Delta - 28-04-2003). Mekong Delta Farming systems Research and Development Institute. CTU, Vietnam.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., Sta Cruz, P.C., Gines, G.C., Samson, M.I. Descalsota, J.P., Alcantara, J.M., Dizon, M.A., and Olk, D.C. (1996). Soil organic matter and the indigenous nitrogen supply of intensive irrigated rice systems in the tropics. *Plant and Soil* 128: 267-278.
- Chiem, N. H. (1994). Former and Present Cropping Patterns in the Mekong Delta. *Tonan Ajia Kenkyu. Southeast Asian Studies*. Vol. 31, No. 4.
- Dalsgaard, A., Tam, N. V. & Cam, P. D. (1997). Cholera in Vietnam. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 28, 69-72.
- DANIDA. (1999). Action Plan - Implementation 2000 to 2005. In *NRWSS - National Rural Water Supply & Sanitation Strategy Study*, vol. Volume 3, pp. 33. The Socialist Republic of Viet Nam, DANIDA, Hanoi.
- Dao, T.H., and Cavigelli, M.A. (2003). Mineralizable Carbon, Nitrogen, and Water-Extractable Phosphorus Release from Stockpiled and Composted Manure and Manure-Amended Soils. *Agronomy Journal*, 95: 405-413.
- Dastane, N.G. (1974): Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 25, FAO, Rome, Italy.

- Delta project (2001): Agricultural diversification in the Mekong River Delta: raised beds management, marketing and dynamics -Research report n° 3 - part 1, part 2, Cantho University, Vietnam
- Dent, D. (1986). Acid sulphate soils: a baseline for research and development. Vol. 39 ILRI Pub., Wageningen, the Netherlands, p. 204.
- Dent, D. (1992). Reclamation of acid sulphate soils. In: Lai, R., Stewart, B.A. (ed.), *Advances in soil sciences*. 17:79-122.
- Do Tien Hung, (2000): Availability and Quality of Groundwater Resources, Ministry of Industry, Department of Geology and Minerals Division of Hydrogeology and Engineering Geology for the South of Vietnam (DHES), Ho Chi Minh City
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. (1979): Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33, FAO, Rome, Italy.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. (1977): Crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, Italy.
- Euler, H. & Krieg, A. (1995). Key Technology of the Future. Recent trends on anaerobic technology for the disposal of solid and liquid waste. *Gate* 1, 9-15.
- Feachem, R. G., Bradley, D. J., Garelick, H. & Mara, D. (1983). *Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Friedrichs, J. (1990). *Methoden empirischer Sozialforschung*, 14. Auflage edition, Opladen.
- Fuchs, J. (2005). Wurmkompostierung im Mekong Delta - Stoffflüsse und Hygienisierung von Wurmkomposten unterschiedlicher Ausgangssubstrate. Diplomarbeit thesis, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität.
- Gale, P.M., and Gilmour, J.T. (1986). Carbon and Nitrogen mineralization kinetics for poultry litter. *J. Environ. Qual.* 15:423-426.
- GSO - General Statistics Office (2004): <http://www.gso.gov.vn>
- Hadas, A., and Portnoy, R. (1994). Nitrogen and Carbon mineralization rates of composted manure incubated in soil. *J. Environ. Qual.* 23:1184-1189.
- Hau, C. H., Hien, T. T., Tien, N. T., Khiem, H. B., Sac, P. K., Nhung, V. T., Larasati, R. P., Laras, K., Putri, M. P., Doss, R., Hyams, K. C. & Corwin, A. L. (1999). Prevalence of enteric hepatitis A and E viruses in the Mekong River delta region of Vietnam. *Am J Trop Med Hyg* **60**, 277-80.
- Hedel, S. (2005). Kompostierung im Mekong Delta - Stoffflüsse und Hygienisierung unterschiedlicher Ausgangssubstrate. Diplomarbeit thesis, Universität Halle.
- Herbert, D., Hoc, B., Jordan, H. (1992): Isotopenhydrogeologische Untersuchungen im Bacho- und im Nambo-Delta (Vietnam). *Zeitschrift deutsche Geologische Gesellschaft*, 143, pp 356-366
- Husson, O., Verburg, P.H., Phung, M.T. And Van Mensvoort, M.E.F. (2000). Spatial variability of acid sulphate soils in the Plain of Reeds, Mekong Delta, Vietnam. *Geoderma* 97, 1-9.
- IMF. (2003). Vietnam: Poverty Reduction Strategy Paper. IMF, Hanoi.
- Jolin/Kirchner 1894: Einige Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit der Kieselguhrfilter (System Nordtmeyer-Berkefeld), *Zeitschr. f. Hygiene*, (17) 1894, 517-534

- Kean, S. (2002). Comparison of Biodigester effluent and urea as fertilizer for water spinach vegetable. Research and Development on Use of Biodigesters in SE Asia. www.mekarn.org./publication/kean.htm
- Kham, T.D.: Water Quality reclamation in the Plain od Reeds in the 80's. Workshop on Water Quality in the Lower Mekong River, HCMC
- Khang (2002): Transferring the low cost plastic film biodigester technology to farmers, www.mekarn.org/procbiod/khang2.htm
- Khoa L.V. (1991): Relationship between some soil physical characteristics and morphology in acid sulphat clays in Mekong Delta - Vietnam. Wageningen Agricultural University, Netherlands
- Kübler 1890: Untersuchungen über die Brauchbarkeit der „Filtres sans pression, Système Chamberland-Pasteur“, Zeitschr. f. Hygiene (8), 48-54
- Langhender, W. (1975). Theorie menschlicher Entscheidungshandlungen. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Liem N.V. (1991): Testing surface irrigation method for cash crops to apply in Mekong Delta - Vietnam. Wageningen Agricultural University, Netherlands
- Lin, F. Y., Vo, A. H., Phan, V. B., Nguyen, T. T., Bryla, D., Tran, C. T., Ha, B. K., Dang, D. T. & Robbins, J. B. (2000). The epidemiology of typhoid fever in the Dong Thap Province, Mekong Delta region of Vietnam. *Am J Trop Med Hyg* **62**, 644-8.
- Ling, Z., Zhongyi, J. & Braun, J. V. (2002). Credit Systems for the Rural Poor in the Economic Transition of China: Institutions, Outreach, and Policy Options. In *The Triangle of Microfinance - Financial Sustainability, Outreach, and Impact*. (ed. M. Zeller and R. L. Meyer), pp. 341-357. The Johns Hopkins University Press - IFPRI, Baltimore, London.
- Man, L. H., Khang, T. V., and Watanabe, T. (2003). Improvement of Soil Fertility by Rice Straw Manure. Proceedings of the final workshop of JIRCAS Mekong Delta Project. 25-26 Nov. 2003. College of Agriculture, CTU. Cantho, Vietnam.
- Mara, D. & Cairncross, S. (1989). Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture. WHO, Geneva.
- MARD & MOC. (2000). National Rural Clean Water Supply and Sanitation Strategy up to Year 2020., pp. 51. MARD, MOC, Hanoi.
- Martin, J.P., Branson, R.L., and Jarrell, W.M. (1978). Decomposition of Organic Material Used in Planting Mixes and Some Effects on Soil Properties and Plant Growth. *Agrochimica*, 22:248-261.
- Mekong River Commision (1997): Mekong River Basin Diagnostic Study – Final Report
- Messner, D. (2001). Zum Verhältnis von Nachhaltigkeit und Breitenwirkung. Anmerkung zur BMZ-Querschnittsevaluierung über langfristige Wirkungen. *E+Z - Entwicklung und Zusammenarbeit*, 13-16.
- Minh L.Q. (1996): Integrated soil and water management in acid sulphate soils - Balancing agricultural production and environmental requirements in the Mekong Delta, Vietnam. Wageningen Agricultural University, Netherlands
- Minh V.Q., Tri L.Q., Yamada, R. (2001): Delineation, Characterization of Physical Conditions and Land Use Planning of Tan Phu Thanh Village. Cantho University, Vietnam
- Minh, L.Q, Viet, L.H. (2003): Problems of Water Supply in the Mekong Delta, SANSED-Kick off-Workshop, Can Tho City, Vietnam

- Minh, L.Q. (1996). Integrated soil and water management in acid sulphate soils. Balancing agricultural production and environmental requirements in the Mekong Delta, Vietnam. Thesis. Can Tho University, Vietnam.
- Minh, L.Q., Tuong, T.P., Mensvoort, M.E.F. (2002). Aluminum-contaminant transport by surface runoff and bypass flow from an acid sulphate soil. *Agricultural Water Management*, 56: 179-191.
- Minh, Le Quang (1996): Integrated Soil and Water Management in Acid Sulfate Soils - Balancing agricultural production and environmental requirements in the Mekong Delta, Vietnam, Thesis at the University of Wageningen, Netherlands
- Moore, P.A.J. and Patrick, W.H.J. (1989). Iron availability and uptake by rice in acid sulphate soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:471-476.
- MOSTE. (2002). Vietnam Environment Monitor 2002, pp. 43. MOSTE, WB, DANIDA, Hanoi.
- Müller, M. (1980): Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde, Trier, Germany
- Nedeco, (1993): Master Plan for the Mekong Delta in Vietnam. Prepared for the Government of Vietnam, State Planning Committee, World Bank, Mekong Secretariat & UNDP. Nedeco: Arnhem & Nijmegen, Netherlands.
- Nguyen, T. A., Ha Ba, K. & Nguyen, T. D. (1993). [Typhoid fever in South Vietnam, 1990-1993]. *Bull Soc Pathol Exot* **86**, 476-8.
- Nguyen, T. V., Le Van, P., Le Huy, C. & Weintraub, A. (2004). Diarrhea caused by rotavirus in children less than 5 years of age in Hanoi, Vietnam. *J Clin Microbiol* **42**, 5745-50.
- Ni, D. V. (2000). Developing a Practical Trial for Sustainable Wetland Management Based on the Environmental and Socio-Economic Functions of *Melaleuca cajuputi* in the Mekong Delta. Ph.D. Dissertation, Royal Holloway, University of London.
- Phan, T. T., Huynh, L. N., Quyen, T. T. K., Tam, T. N. T. & Watanabe, T. (2003). Control of environmental pollution by livestock excreta in rural area in the Mekong Delta: composting of swine feces. In Final Workshop of Mekong Delta Project: Development of new technologies and their practice for sustainable farming systems in the Mekong Delta (ed. Jircas-CTU-CLRRRI-SOFRI), pp. 353-361. College of Agriculture, CTU, Can Tho.
- Pho, N. V. (2000): Management and Sustainable Development for the Mekong Delta J. of Environmental Protection, No 11-2000, pp. 8-1
- Piper, A.M. (1944): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses – *Trans. Am. Geophys. Union*, 25; Washington D.C., pp 914-928,
- Ren, D.T.T, Tinh, T.K, Minh, N.T.N, and Linh, T.B. (2004). Applying mixed manure and inorganic phosphorus fertiliser to improve rice yield on acid sulphate soil (Hydraquentic Sulfaquept). *Australian Journal of Soil Research*. 42(6) 693–698.
- Sasse (1998): DEWATS Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries, Borda Bremen
- Schotten, K. (1991): Farming system analysis by means of a database: a case study in Phung Hiep area - Hau Giang, Mekong Delta – Vietnam, Wageningen Agricultural University, Netherlands
- Schroedter, H. (1985): Verdunstung - Anwendungsorientierte Meßverfahren und Bestimmungsmethoden. Hochschultext; Springer Verlag, Heidelberg, Germany.

- Sharpley, A.N. and Moyer, B. (2000). Phosphorus forms in manure and composted and their release during simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality*, 29:1462-1469.
- Shiming (2002): The utilisation of human excreta in chinese agriculture and the challenge faced. *EcoSanRes*
- SIWRMP (1995): Major Issues in Water Resources Development in the Mekong Delta, HCMC
- Smith, M. (1991): Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. FAO, Rome, Italy
- Smith, M. (1992): Cropwat. A computer program for irrigation planing and management - FAO Irrigation and
- Sopheha K, Preston T.R. (2002): Comparison of biodigester effluent and urea as a fertiliser for water spinach vegetable. *Proceedings Biodigester Workshop*, <http://www.mekarn.org/procbiod/kean.htm>
- Sorensen, P. (1998). Effects of storage time and straw content of cattle slurry on the mineralization of nitrogen and carbon in soil. *Biol. Fertil. Soils*, 27:85-91.
- Statistical Office in Can Tho City (2003). *Statistical Yearbook Can Tho City*. Statistical Office, Can Tho City, Vietnam.
- Statistical yearbook Can Tho City (2003), Can Tho, Vietnam
- Sterk, G. (1991): Leaching of acidity from the topsoil of raised beds on acid sulphate soils in the Mekong Delta - Vietnam. Wageningen Agricultural University, Netherlands
- STOCKMANN, R. (1993). Nachhaltigkeit: Bilanz eines Themas. In *Hilft die Entwicklungshilfe langfristig? - Bestandsaufnahme zur Nachhaltigkeit von Entwicklungsprojekten*. (ed. R. Stockmann and W. Gaebe), pp. 207-220. Westdeutscher Verlag, Opladen.
- Sub- National Institute of Agricultural Planning & Protection in South Vietnam (Sub-NIAPP) and Institute of Geography, University of Mainz (Germany) (2004). *Final Report on Technical and Scientific Results of the Project VNM 01 / 003 (2001 - 2003)*. Project VNM 01/003: Geo-ecological Investigation for Sustainable Utilization and Protection of Land Resources in the Mekong Delta (Vietnam).
- Thomsen, I.K., and Olesen, J.E. (2000). C and N mineralization of composted and anaerobically stored ruminant manure in differently textured soils. *J. Agric. Sci.* 135:151-159.
- Tinh, T.K., Houg, H.T.T., Nilson, S.I. (2001). Rice-soil interactions in Vietnamese acid sulphate soils: impact of submergence depth on soil solution chemistry and yields. *Soil Use and Management*, 16: 67-76.
- Toan, N.H. (2000): Vietnam National Mekong Committee and Cooperation for Sustainable Development of the Lower Mekong Basin. Vietnam and Mekong Sub-Region Development Cooperation, Hanoi
- Tran, T. P., Ly, T. L., Nguyen, T. T., Akiba, M., Ogasawara, N., Shinoda, D., Okatani, T. A. & Hayashidani, H. (2004). Prevalence of *Salmonella* spp. in pigs, chickens and ducks in the Mekong Delta, Vietnam. *J Vet Med Sci* **66**, 1011-4.
- Tri L.Q., (1990): Present land use as a basis for land evaluation in the Mekong Delta. Wageningen Agricultural University, Netherlands

- Tri, L.Q, Nhan, N.V, Huizing, H.G.J, van Mensvoort, M.E.F. (1993). Present land use in as bases for land evaluation in two Mekong Delta district. In: van Mensvoort, M.E.F. (eds). Symposium on Acid Sulphate Soils. International Institute for Land Reclamation and Improvement. 53:299-320.
- Tuan, L.A (1995): Environmental Impact Assesment of the Mekong Delta Irrigation Projects, Can Tho University, Can Tho City, Vietnam
- UNICEF. (1999). Towards better programming. A Manual on Communication for Water Supply and Environmental Sanitation Programmes. In Water, Environment and Sanitation Technical Guidelines Series, vol. No. 7, pp. 74. UNICEF, New York.
- UNVN. (1999). Looking Ahead - A United Nations Common Country Assessment of Vietnam., pp. 124. United Nations in Vietnam, Hanoi.
- Watanabe T. (2003): Local resources of nitrogen and phosphorous in rural area of the Mekong Delta. in: Proceedings of the Final workshop of the Jircas-project "Development of new technologies and their practice for sustainable farming systems in the Mekong Delta", Can Tho University Nov 2003
- Watanabe, T. (2003). Local Resources of Nitrogen and Phosphorus in Rural Area of the Mekong Delta. Proceedings of the final workshop of JIRCAS Mekong Delta Project. 25-26 Nov. 2003. College of Agriculture, CTU. Cantho, Vietnam.
- WHO. (1997). Guidelines for drinking-water quality - Surveillance and control of community supplies. In Guidelines for Drinking water quality, vol. 3. WHO, Geneva.
- WHO. (2004). Water, sanitation and health links to health. In Factsheets: Water, sanitation and health links to health (Internet).
- Wieneke, F. (2005). Acceptance analysis of new technology for sustainable management and sanitation, Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/landw/fak/2005/wieneke_florian
- Worldbank. (2003). Vietnam: growing health: A review of Vietnam ´s health sector. II Status of and trends in health indicators. Worldbank.
- WORLD BANK, DANIDA & MONRE. (2003). Vietnam Environment Monitor 2003 - Water., pp. 75. The World Bank, Hanoi.
- Yoshihara, S., P.H., N., H.H., N. & B.L., C. (1999). Helminths and Helminthiosis of Pigs in the Mekong Delta Vietnam with Special Reference to Ascariosis and Fasciolopsis buski Infection. Japan Agricultural Research Quarterly **33**.