

Zur Abwasserverwertung in Ländern der Dritten Welt

Remarks in respect to the use of waste water in countries of the third world

Von Peter Wolff*

1. Einführung

Es ist eine hinreichend bekannte Tatsache, daß sich in den Ländern der Dritten Welt gegenwärtig eine Bevölkerungsexplosion von bisher unbekanntem Ausmaßen vollzieht, deren Ende noch nicht abzusehen ist. Mit diesem rasanten Bevölkerungswachstum ist zugleich auch eine Bevölkerungswanderung vom Land in die Städte verbunden. Das Ergebnis dieser Urbanisierung ist das kaum noch zu kontrollierende Wachstum der Städte zu Ballungszentren. Hieraus ergeben sich nicht nur Probleme, diese, in der Mehrzahl einkommensschwache, städtische Bevölkerung mit lebensnotwendigen Gütern, wie Nahrungsmittel, Kleidung und Wasser zu versorgen, es ergeben sich in einem geradezu dramatisch steigendem Umfang vor allem Probleme bei der Entsorgung der städtischen Siedlungen in der Dritten Welt. Gemeint ist hier die gefahrlose Beseitigung der Siedlungsabfälle Müll und Abwasser.

Andererseits besteht in den meisten devisenarmen Ländern der Dritten Welt seitens der Landwirtschaft ein großer Bedarf an Pflanzennährstoffen, der aufgrund der wirtschaftlichen Verhältnisse nur in begrenztem Umfang durch den Einsatz industriell gefertigter Mineraldünger gedeckt werden kann. Hinzu kommt, daß der Einsatz der Mineraldünger, bedingt durch die relativ energieaufwendige und damit teure Herstellung mit der Energieverkappung und -verteuerung, zunehmend problematischer wird. Die Siedlungsabfälle enthalten nicht unbeachtliche Mengen an Pflanzennährstoffen und könnten zumindest einen Teil, wenn auch geringen Teil, des Bedarfes dieser Länder decken.

Der überwiegende Teil der Länder der Dritten Welt liegt in den ariden und semiariden Klimazonen der Erde, d. h. in Gebieten, in denen die Produktion an Nahrungsgütern ganz entscheidend durch die Bereitstellung des Produktionsfaktors Wasser bestimmt wird. Wasser hinreichender Qualität ist aber gerade in diesen Trockenge-

* Prof. Dr. Peter Wolff, Hochschullehrer für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft am Fachbereich Internationale Agrarwirtschaft der Gesamthochschule Kassel in Witzenhausen
Anschrift: Steinstraße 19, D-3430 Witzenhausen 1

bieten ein knapper, wenn nicht sogar der knappste Produktionsfaktor. Hinzu kommt, daß die Landwirtschaft mit ihrem nicht geringen Wasserbedarf in eine zunehmende Konkurrenz mit den Trink- und Brauchwasseransprüchen der Bevölkerung und den Wasseransprüchen der Industrie tritt. Ein gewisser Ausgleich ist zumindest im Bereich der Ballungszentren durch die Verwertung des Abwassers in der Landwirtschaft oder Forstwirtschaft möglich. Auch die Verwertung des Abwassers zur Grundwasseranreicherung ist denkbar (1).

In der nachfolgenden Arbeit soll zu den Möglichkeiten und Grenzen der Abwasser-
verwertung in den Ländern der Dritten Welt Stellung genommen werden. Wobei aus Platzgründen nicht auf alle mit der Abwasser-
verwertung in der Dritten Welt zusammenhängenden Fragen erschöpfend eingegangen werden kann. Der interessierte Leser wird hierzu auf die einschlägigen Veröffentlichungen verwiesen (2, 9, 11, 13, 15).

2. Probleme der Abwasserableitung und -behandlung in Ländern der Dritten Welt

Bevor auf die Probleme der Abwasserableitung und -behandlung kurz eingegangen wird, erscheint es notwendig den Begriff Abwasser zu erläutern. Unter dem Begriff Abwasser werden heute allgemein alle flüssigen und an Flüssigkeiten gebundenen Abfallstoffe zusammengefaßt, die menschlichen Siedlungen entstammen. Man scheidet dabei (4)



Wie Orth und Prigge (11) am Beispiel der Abwasserbehandlung in der Region Kano, Nigeria aufgezeigt haben, ist das Entsorgungswesen in Ballungsgebieten der Dritten Welt u. a. durch nachfolgende Probleme gekennzeichnet:

- a) Rapide steigende Einwohnerzahlen der Städte und die Einrichtung zentraler Wasserversorgungsanlagen führen zu einem steigenden Abwasseranfall ohne oder mit nur unzureichender Schaffung von Anlagen zur gefahrlosen Abwasserbeseitigung;
- b) Mangel an Finanzmitteln und qualifiziertem Fachpersonal bedingt, daß der Ausbau und Betrieb des Entsorgungswesens hoffnungslos hinter dem Wachstum der städtischen Siedlungen zurückbleibt;
- c) der Anstieg der Bevölkerungsdichte, insbesondere in den Kernbereichen der Städte, führt zu einer Überforderung der konventionellen Hauskläranlagen und

teilweise zu einem Anstieg des Grundwasserstandes, sowie zur nachhaltigen Verschmutzung des Grundwasserleiters;

- d) durch die unkontrollierte Einleitung ungeklärten Abwassers in die Vorfluter (Flüsse, Seen etc.) steigt deren Verschmutzungsgrad mit unabsehbaren Folgen für die hygienischen und ökologischen Verhältnisse der Gewässer, von denen besonders die Unterlieger betroffen werden;
- e) die Ansiedlung von Industrie und Gewerbe in und im Umland der Städte führt oft zu einer dramatischen Verschärfung der Abwassersituation, da die notwendige Spezialbehandlung der Industrie- und Gewerbeabwässer oft unterlassen oder aufgrund unzureichender Sachkenntnisse unsachgemäß durchgeführt wird;
- f) durch Erweiterung und Verdichtung der Bebauung kommt es in den Städten zu einem erhöhten und schnelleren Abfluß des Niederschlagswassers und damit zur Überlastung der Entwässerungseinrichtungen;
- g) das allzuoft ungeordnete Deponieren der Siedlungsabfälle (Müll) und deren unregelmäßiger Abtransport führt neben hygienischen Problemen allzuoft zu Blockierungen des Regenwassernetzes, dessen Folge Überschwemmungen im Stadtgebiet sind.

Hinzu kommt das geringe Selbstreinigungsvermögen bzw. die geringe Abwasserbelastungskapazität der Vorfluter in Trockengebieten, bedingt durch deren jahreszeitlich sehr unterschiedliche, meist sehr geringe Wasserführung.

Mit dieser Aufzählung erfolgte sicher keine erschöpfende Darstellung der Probleme, die mit der Abwassersituation in Ländern der Dritten Welt zusammenhängen, sie verdeutlicht jedoch die besondere Problematik des Entsorgungswesens in den urbanen Räumen der Dritten Welt. Welche Problemlösungen bieten sich trotz aller Schwierigkeiten an?

3. Problemlösungen

3.1 Abwasserableitung

Zur Lösung der oben aufgezeigten Probleme bieten sich eine Reihe von Problemlösungen an, deren Verwirklichung vor allem durch die finanziellen und standörtlichen Verhältnisse bestimmt wird.

Bei der Siedlungsentwässerung kann grundsätzlich unterschieden werden zwischen

- a) unvollkommener Entwässerung;
- b) vollkommener Entwässerung mittels Kleinkläranlagen;
- c) vollkommener Entwässerung mittels Schwemmkanalisation
 - ca) Trennsystem
 - cb) Mischsystem.

Bei der unvollkommenen Entwässerung werden nach Busch (2) nur das Niederschlagswasser und das Brauchwasser von den Grundstücken fortgeleitet bzw. gegebenenfalls im Untergrund versickert. Die Fäkalien werden bei dieser Verfahrensgruppe am Anfallort in Tonnen oder Gruben gesammelt und periodisch beseitigt. Letztere stellen in einigen Ländern ein wesentliches Produktionsmittel in der Pflanzenproduktion und Aquakultur stadtnaher Betriebe dar. Die bei diesem Verfahren praktizierten Methoden des Sammelns, des Transportes und der Ausbringung widersprechen meist allen hygienischen und ästhetischen Grundsätzen. Mara (9) hat

aufgezeigt, daß diese Verfahren durchaus verbesserungsfähig sind, dabei ist jedoch ein gewisser Technisierungsgrad bei der Sammlung, dem Transport und der anschließenden zentralen Behandlung unumgänglich. Dort, wo solche modernen Anlagen geschaffen wurden und die Fäkalien zugleich einen hohen Marktwert besitzen, wurde das System oft durch Diebstahl der Fäkalien am Ort der Entstehung unterlaufen. Dadurch werden nicht nur die beabsichtigten hygienischen Effekte aufgehoben, es wird vielmehr auch die Wirtschaftlichkeit der Anlagen negativ beeinflusst.

Kleinkläranlagen sind dadurch gekennzeichnet, daß sie unmittelbar am Ort der Entstehung des Abwassers angelegt werden, somit kein verzweigtes Kanalnetz erfordern, und hinsichtlich der Bauart meist Zwei- oder Mehrkammerfaulgruben besitzen. Nach Busch (2) werden auch kleinere Tropfkörperanlagen und Sandfiltergräben zu den Kleinkläranlagen gerechnet. Den Kleinkläranlagen können nur die häuslichen Abwässer zugeführt werden. Das abfließende Niederschlagswasser muß, speziell in Gebieten mit hohen Niederschlagsdichten, davon ferngehalten und anderweitig abgeführt werden. Die Verfahren der unvollkommenen und vollkommenen Entwässerung mittels Kleinkläranlagen sind aus wirtschaftlichen wie auch aus hygienischen und ästhetischen Gründen nur sinnvoll in Gebieten mit einer geringen Bevölkerungsdichte, d. h. in den weniger dicht besiedelten Stadtrandzonen. Für das Gebiet Kano in Nigeria erwiesen sich solche Lösungen für Gebiete mit einer Bevölkerungsdichte von 10 bis 20 Einwohner/ha als wirtschaftlich und hygienisch befriedigend.

Die vollkommene Entwässerung, bei der das Abwasser über eine Schwemmkanalisation aus dem Siedlungsgebiet abgeleitet wird und eine entsprechende Behandlung erfährt, wird heute als die hygienisch beste, wie auch wirtschaftlichste Lösung der Abwasserfrage angesehen, da alle Abwässer ohne Zwischenlagerung auf dem kürzesten Weg aus dem Siedlungsraum entfernt werden. Dies wird u. a. auch durch einen Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen Sammelkanalisation und Hauskläranlagen bestätigt, den Orth und Prigge (11) für die Abwasserbehandlung in der Region Kano in Nigeria angestellt haben.

3.2 Abwasserbehandlung

Ob bei der vollkommenen Entwässerung als Verfahren das Trenn- oder Mischsystem zum Einsatz kommt, d. h. ob Schmutz- und Niederschlagswasser getrennt oder zusammen abgeführt werden, hängt von den wirtschaftlichen und standörtlichen Verhältnissen ab. Unabhängig von dem gewählten System muß am Ende der Sammelkanalisation im Regelfall eine Behandlung des Abwassers erfolgen, da das im Entwässerungsnetz aus den Siedlungen abgeleitete Abwasser mehr oder weniger mit organischen und mineralischen Schmutzstoffen, mit pathogenen Keimen, mit evtl. auch Giftstoffen usw. beladen ist. Die ungeklärte Einleitung des Abwassers in die Vorfluter oder in das Meer ist heute auch in Ländern der Dritten Welt aus hygienischen und ökologischen Gründen nicht mehr zu verantworten.

Nach Busch (2) ist es Aufgabe der Abwasserbehandlung, das Abwasser soweit qualitativ zu verbessern, daß es einem natürlichen Vorfluter oder dem Grundwasser schadlos übergeben werden kann. Dies bedeutet, daß der Vorfluter bzw. das Grundwasser durch die Abwassereinleitung in biologischer Hinsicht (Selbstreinigungskraft) nicht überfordert werden darf, Mensch und Tier in hygienischer Hinsicht nicht ge-

fährdet bzw. ästhetische Belange nicht verletzt werden dürfen und die Nutzung des Wassers durch Unterlieger (menschliche Siedlungen, Landwirtschaft, Industrie) keinerlei negative Beeinträchtigung erfährt. Die Verfahren der Abwasserbehandlung lassen sich wie folgt gliedern:

- mechanische Abwasserbehandlung;
- chemische Abwasserbehandlung;
- biologische Abwasserbehandlung,
 - natürliche biologische Verfahren,
 - künstliche biologische Verfahren.

Bis auf die natürlich-biologischen Verfahren der Abwasserbehandlung setzen alle diese Verfahren recht umfangreiche technische Einrichtungen voraus, mit einem entsprechenden Finanzbedarf für die Planung, Implementierung, Betrieb und Unterhaltung dieser Anlagen. Ferner benötigen sie qualifiziertes Bedienungspersonal. Der erfolgreiche Einsatz dieser Verfahren in der Dritten Welt scheitert nur zu oft daran, daß der Finanz- und Personalbedarf moderner Klärverfahren nicht befriedigend abgedeckt werden kann und eine kontinuierliche Bereitstellung zwingend notwendiger Betriebsmittel (z. B. elektrischer Strom) nicht gewährleistet ist.

Unter den Bedingungen der Länder der Dritten Welt bieten sich die Verfahren der natürlich-biologischen Abwasserbehandlung als mögliche Alternative zu den anderen Verfahren an, zumal sie in ihrer Reinigungswirkung allen anderen Verfahren bei sachgerechter Handhabung überlegen sind und wesentlich geringere Betriebskosten verursachen. Auch in den Industrieländern sind nach Kickuth (6) sowie Kretschmar (8) für kleinere Gemeinden gut funktionierende technische Systeme, vor allem unter Einschluß einer dritten, chemischen Reinigungsstufe aus finanziellen Gründen nicht zu realisieren. Die Verfahren der natürlich-biologischen Abwasserbehandlung lassen sich gliedern in:

- Bodenfilter;
- Rieselfelder;
- weiträumige Landbewässerung;
- Abwasserseen und Fischteiche;
- Sonderverfahren.

Bei der Abwasserbodenbehandlung, d. h. mittels Bodenfilter, Rieselfeldern und der weiträumigen Landbewässerung werden nach Schaef et al. (13) „physikalische, chemische und biologische Faktoren in steter Wechselbeziehung wirksam. Als wesentlich für „diese Verfahrensgruppe“ sind zu nennen:

- die unbelebte Bodenmaterie als Kontakt- und Filterstoff,
- das Bodenwasser,
- die Bodenluft,
- die lebenden Mikroorganismen des Bodens sowie weitere auf die Reinigung wirkende variable Faktoren, wie die Bodentemperatur, die herrschenden meteorologischen Bedingungen, die Bodenart und landwirtschaftliche Nutzungsintensität.

Die Abwasserreinigung im Boden beruht auf den folgenden physikalischen, chemischen und biologischen Vorgängen:

- mechanische Reinigung, Zurückhaltung von Sink- und Schwebstoffen,
- Koagulation oder Ausflockung kolloidaler Teilchen durch Neutralisation ihrer elektrischen Ladung,
- Ad- und Absorption der ungelösten und gelösten Abwasserinhaltsstoffe,

- Biochemische Oxidation der organischen Inhaltsstoffe,
- Aufnahme der oxidierten bzw. mineralisierten Stoffe durch die Pflanzen,
- Inaktivierung pathogener Bakterien durch antagonistische Bakteriophagen und veränderte Umweltbedingungen.

Durch das dynamische Zusammenwirken der genannten Vorgänge werden bei der Abwasserbodenbehandlung außerordentlich große komplexe Abbauleistungen erzielt“. Bei der Abwasserbehandlung mittels Bodenfilter wird das Abwasser in bis zu 0,4 ha große Staubeete geleitet; die nicht landwirtschaftlich genutzt werden sondern ausschließlich dem Zweck der Abwasserreinigung auf natürlichem, biologischem Wege dienen. Letzteres geschieht bei Durchtritt des Abwassers durch den Bodenfilter, im wesentlichen schon im Bereich der sich an der Bodenoberfläche bildenden schleimigen Bakterienhaut (biologischer Rasen), welche die Schmutzstoffe zu einem großen Teil zurückhält und in eine absetzbare Form überführt. Die Beschickung des Bodenfilters kann kontinuierlich oder intermittierend erfolgen. Eine hinreichende Reinigungswirkung ist mittels Bodenfilter nur zu erzielen, wenn eine ausreichende Versorgung mit Luftsauerstoff gewährleistet ist und die einzelnen Staubeete nicht überfordert werden. Wichtig ist es, beim Bodenfilter ausreichende Belüftungs- und Ruhepausen vorzusehen, damit vor allem die durch die Abwasserapplikation bedingte Abnahme der Infiltration wieder aufgehoben wird. Im Hinblick auf die chemischen Inhaltsstoffe bringt der reine Bodenfilter nach Untersuchungen von Fester (3) nur unbefriedigende Reinigungswirkungen, insbesondere im Hinblick auf den Gehalt an Gesamtstickstoff und Phosphat.

Im Gegensatz zu den Bodenfiltern wird bei den Rieselfeldern die Fläche landwirtschaftlich genutzt. Allerdings muß sich hierbei der landwirtschaftliche Betrieb den Erfordernissen der Abwasserreinigung unterordnen, und es können nur solche Kulturpflanzen zum Anbau kommen, die zumindest zeitweilig größere Wassermengen verwerten und vertragen können. Bei der Abwasserbehandlung über Rieselfelder wird das mechanisch vorgeklärte Abwasser mittels Hangrieselung, Furchenrieselung oder Staurieselung auf den Rieselfeldern verteilt. Als Belastungsgrenzen werden von Gerlach (4) in Abhängigkeit von der Bodenart 30 bis 200 m³ Abwasser je ha und Tag angegeben. Diese für mitteleuropäische Verhältnisse gültigen Werte dürften in tropischen und subtropischen Trockengebieten zumindest in der niederschlagsfreien Zeit wesentlich höher liegen. Langjährige Erfahrungen in Mitteleuropa, Australien etc. zeigen, daß bei sachgerechter Handhabung und ausreichender Flächenbereitstellung mit der Abwasserverwertung über Rieselfelder eine ausreichende Reinigungswirkung zu erzielen ist. (13)

Die weiträumige Landbewässerung wird als die natürlichste Art der Abwasserreinigung (4) angesehen. Die landwirtschaftliche Nutzung steht hierbei im Vordergrund. Das Abwasser wird weiträumig auf land-, teilweise auch auf forstwirtschaftlich genutzten Flächen verteilt, wobei sich die Applikationsmenge am Wasserbedarf der Kulturen orientiert. In Mitteleuropa rechnet man mit 1 500 m³ Abwasser je ha und Jahr (4,1 m³/ha · d). Entsprechend dem höheren Wasserbedarf der Kulturpflanzen sind in Trockengebieten wesentlich höhere Abwassermengen pro Flächeneinheit unterzubringen. Die mittels der weiträumigen Landbewässerung erzielbare Reinigungswirkung hängt von den standörtlichen Gegebenheiten, dem angewandten Bewässerungsverfahren u. a. ab, sie ist im Regelfall jedoch allen anderen Verfahren überlegen.

Abwasserseen und Fischteiche, wie auch Klärteiche (8) bieten eine weitere Möglichkeit der biologischen Abwasserbehandlung. Die Reinigungswirkung der Abwasserseen beruht nach Gerlach (4) auf der Verlängerung der Fließzeit des Abwassers und der dadurch gegebenen Möglichkeit zum weitestgehenden biologischen Abbau der Schmutzstoffe. Die vergrößerte Wasseroberfläche erleichtert bei den Abwasserseen den intensiven Sauerstoffaustausch. Bei geringen Wassertiefen wird darüber hinaus die keimtötende Wirkung des Sonnenlichtes ausgenutzt. Aufgrund der geringen Wassertiefe der Abwasserseen und der relativ langen Verweildauer, 30 bis 50 Tage sind durchaus nicht ungewöhnlich, haben die Abwasserseen einen nicht unerheblichen Flächenbedarf. Dessen ungeachtet stellen sie jedoch ein äußerst kostengünstiges Abwasserreinigungsverfahren dar, und zwar nicht nur hinsichtlich der Investitionskosten sondern auch im Hinblick auf die Unterhaltungs- und Betriebskosten. Hinzu kommt, daß diese Seen auch durch weniger qualifiziertes Personal betrieben werden können und der Personalaufwand sehr gering ist.

Nach Mara (9) ist die Reinigungswirkung der Abwasserseen, insbesondere hinsichtlich der pathogenen Keime, wesentlich besser als bei den meisten anderen Verfahren der Abwasserbehandlung. Die Abwasserseen haben sich auch unter Bedingungen einer kurzfristigen Überbeanspruchung als äußerst wirkungsvoll erwiesen. Sie können ferner eine äußerst breite Variation von Abwässern (Industrieabwässer, landwirtschaftliche Abwässer etc.) aufnehmen und eine hinreichende Reinigungswirkung erzielen. Die Konstruktion der Seen ist einfach und Änderungen sind meist ohne größere Probleme möglich. Schließlich stellen die Algen, die in den Abwasserseen gerne und üppig wachsen, ein äußerst eiweißreiches Futtermittel dar, das durch Fische genutzt werden kann.

Durch Besetzung der Abwasserseen mit Fischen kann eine erhebliche Steigerung der Reinigungswirkung erzielt werden. Die Besetzung erfordert jedoch einen Mindestsauerstoffgehalt von 3 mg/l, was besondere Einrichtungen zur Erhöhung des Sauerstoffgehaltes in den Abwasserseen erfordert. Auch zur Haltung von Enten haben sich die Abwasserseen als brauchbar erwiesen.

Insgesamt stellen die Abwasserseen, im engl. „Waste Stabilization Ponds“ genannt, ein sehr brauchbares Verfahren der Abwasserbehandlung in Ländern der Dritten Welt dar.

Zu den Spezialverfahren oder alternativen Verfahren der natürlich-biologischen Abwasserbehandlung gehört die Abwasserverwertung durch halbtterrestrische Ökosysteme. So berichten Odum et al. (10) von der erfolgreichen Abwasserbehandlung in mit Cypressen bestandenen Feuchtbiotopen bei Gainesville, Florida/USA. Kickhut (7) hat in der Gemeinde Liebenburg im Harzvorland ein „Limnologisches Klärverfahren“ erfolgreich für die Abwasserreinigung eingesetzt.

Taylor et al. (13) gehen in einer Studie der Frage der Verwendung von Wasserhyacinthen zur Entfernung von Nährstoffen aus dem Abwasser nach. Der Einsatz dieser alternativen Verfahren wird im besonderen durch die natürlichen Standortverhältnisse bestimmt. Die vorliegenden Erfahrungen reichen noch nicht aus, um Empfehlungen für deren Einsatz in Ländern der Dritten Welt machen zu können.

Der Erfolg des Einsatzes natürlich-biologischer Abwasserbehandlungsverfahren ist in hohem Maße von den jeweiligen Standortverhältnissen abhängig, d. h. vor allem vom Boden, dem Grundwasserstand, dem Klima u. a., so daß der Imple-

mentierung solcher Verfahren stets eine Erprobungsphase vorangestellt werden sollte und zwar auf kleiner Fläche in Form eines Pilotprojektes.

Während man z. B. in den europäischen Industrieländern versäumt hat, eine Ausweitung der Verfahren der natürlich-biologischen Abwasserbehandlung durch Reservierung ausreichender Landflächen im Umfeld der städtischen Siedlungen zu gewährleisten, besteht in den Ländern der Dritten Welt noch zumeist die Chance, durch raumordnerische Maßnahmen eine ausreichende Landbereitstellung für die Abwasserbehandlung zu ermöglichen. Diese Chance sollte insbesondere von den kleineren und mittleren Gemeinden genutzt werden.

4. Zur Eignung des Abwassers für Bewässerungszwecke

Für die Verwertung von Abwässern im Rahmen der landwirtschaftlichen Bewässerung ist neben dem Wasserwert vor allem der Gehalt an den Hauptnährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kalium von Interesse. Von entscheidender Bedeutung ist ferner die Pflanzenverträglichkeit sowie der Gehalt an Schwermetallen und die sich aus der Konzentration und Art der Wasserinhaltsstoffe ergebende Notwendigkeit zur Vorreinigung des Abwassers. Darüber hinaus interessiert, ob es im Boden zur Anreicherung von Stoffen kommt, von denen langfristig negative Wirkungen auf Boden und Pflanzen zu erwarten sind.

Aufgrund der unterschiedlichen Verhältnisse in den Siedlungsgebieten schwankt der Gehalt an Wasserinhaltsstoffen z. T. beträchtlich und damit auch der Gehalt an Pflanzennährstoffen. Bei Stickstoff (N) liegen die Schwankungen meist im Bereich von 20–100 mg/l, bei Phosphat (P) von 5–20 mg/l und bei Kali von 20 – 60 mg/l. Der Phosphatgehalt ist besonders dort recht hoch, wo in größerem Umfang moderne, auf Phosphatbasis aufgebaute Waschmittel zur Anwendung kommen. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Siedlungsabwässer in Ländern der Dritten Welt aufgrund des relativ geringen Wasserverbrauchs meist recht hohe Gesamtkonzentrationen aufweisen und, daß, bedingt durch die klimatischen Verhältnisse, relativ große Mengen an Bewässerungswasser notwendig sind, werden dem Boden und damit auch den Pflanzen in den Trockengebieten beachtliche Nährstoffmengen zugeführt. Wenn die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe auch nicht restlos pflanzenverfügbar sind, so kann es doch bei einigen Pflanzen zu Problemen aufgrund des allzu reichlichen Nährstoffangebotes kommen. Dies trifft besonders für den Stickstoff zu. Es ist daher wichtig, daß im Rahmen der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung, insbesondere in Trockengebieten, Pflanzen angebaut werden, die ein hohes Stickstoffangebot problemlos verwerten können. Ist dies nicht möglich, so kann hier eine Kombination von Abwasser- und Klarwasserbewässerung zur Lösung des Problems führen. Im Hinblick auf Phosphat und Kalium sind im Regelfall keine derartige Probleme zu befürchten, im Gegenteil. Wie Husemann (5) und Wesche (16) nachgewiesen haben, kann zur Erzielung optimaler Pflanzenerträge bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung u. U. eine Zusatzdüngung erforderlich werden. Unter ariden und semiariden Klimaverhältnissen dürfte dies allerdings nur in seltenen Fällen notwendig sein, weil die hier zu verabfolgenden hohen Wassermengen auch entsprechend größere Nährstoffmengen dem Boden und damit den Pflanzen zuführen. Hier dürfte sich eher das Problem eines

Ungleichgewichtes der Nährstoffzusammensetzung ergeben, das zu ausgleichenden Düngungsmaßnahmen zwingt.

Hinsichtlich der Ausnutzbarkeit der durch das Abwasser zugeführten Nährstoffe sind keine allgemeinen Aussagen möglich. Der Ausnutzungsgrad ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig und muß im Einzelfall durch entsprechende Vegetationsversuche ermittelt werden.

Die verschiedenen chemischen Inhaltsstoffe des Abwassers, besonders solche gewerblichen oder industriellen Ursprunges, können das Pflanzenwachstum sowie die Bodenfruchtbarkeit beeinflussen, wie dies bereits oben für die Hauptnährstoffe angedeutet wurde. Auch die anderen Inhaltsstoffe können in Spuren durchaus wachstumsstimulierend wirken, während sie sich in höheren Konzentrationen als wachstumshemmend oder gar als toxisch erweisen können. Von bedenklichen, schädlichen, oder toxischen Abwasserinhaltsstoffen kann nach Schaefer et al. (13) nur in Zusammenhang mit der vorliegenden Konzentration bzw. mit der absolut verabreichten Menge pro Flächeneinheit gesprochen werden. Da in Trockengebieten relativ hohe Abwassermengen verabfolgt werden (bei ausschließlicher Deckung des Pflanzenwasserbedarfs durch Abwasser), wird in der Regel die zulässige Konzentration der Bodenlösung schneller erreicht als in humiden Gebieten. Die Grenzen, in denen die Schädlichkeit eines Stoffes beginnt, schwanken z. T. sehr stark und werden von verschiedenen Faktoren, z. B. der Pflanzenart, den Bodenverhältnissen etc. mehr oder weniger stark beeinflußt. Eine Zusammenstellung der Grenzwerte findet sich bei Schaefer et al. (13). Wie im Beregnungsgebiet des Abwasserverbandes Braunschweig, so kommen Reynolds et al. (12) bei Untersuchungen im Tooele, Utah/USA zu dem Ergebnis, daß das Grundwasser durch die praktizierte Abwasser-Verregnung bisher nicht signifikant bezüglich seines Schwermetallgehaltes beeinflußt wurde, und daß toxisch wirkende Schwermetallkonzentrationen im Boden langfristig nicht zu erwarten sind, wenn sich die als gering anzusehenden Schwermetallgehalte des Abwassers nicht verändern. Da die Schwermetallgehalte von Einzugs- zu Einzugsgebiet schwanken und sicher auch Veränderungen im Laufe der Zeit unterliegen, sind entsprechende begleitende Untersuchungen und Kontrollen unerläßlich.

Ein anderes Problem der Abwasserlandbehandlung wird in den gesundheitlichen Gefahren gesehen, und zwar einmal für die Menschen, die mit dem Abwasser umgehen oder im Abwasserbewässerungsgebiet leben und zum anderen für Mensch und Tier, die die erzeugten pflanzlichen Produkte verzehren. Die Infektionsgefährdung durch Abwasser ist vor allem davon abhängig, wieviele Erreger einer speziellen Art im Abwasser vorhanden sind und wieviele derartige Krankheitserreger notwendig sind, um eine Infektion auszulösen. Entsprechende Risikoanalysen der Infektionsgefährdung durch Abwasser führen meist zu dem beruhigenden Ergebnis, daß die Gefahren, die aus dem Abwasser drohen, sich in Grenzen halten und oft nicht höher sind als die Infektionsgefahren, denen die Menschen in ihrer jeweiligen Umwelt auch ohne Abwasser ausgesetzt sind. Da das Abwasser, wie übrigens auch jedes andere Bewässerungswasser aus oberirdischen Wasservorkommen, nicht frei von Infektionserregern sein kann, ist ein entsprechend vorsichtiger und überlegter Umgang mit diesem Produkt angezeigt.

Zur Verhütung von Infektionen durch Nahrungs- und Futtermittel aus Abwasserbewässerungsgebieten sind genaue Anbau- und Bewässerungspläne aufzustellen. Bei

der landwirtschaftlichen Nutzung häuslicher Abwässer wird im Regelfall eine mechanische Vorklärung vorgeschaltet, und zwar mit einer 1,5-stündigen Absetz-Zeit. Das Abwasser kann dann, vorausgesetzt es ist nicht hochinfektiös, unbedenklich als Bewässerungswasser genutzt werden:

- zur Nutzholzerzeugung;
- für Knollenpflanzen, die industriell verarbeitet werden, sowie für Ölpflanzen, Faserpflanzen bis 4 Wochen vor der Ernte;
- für Knollenpflanzen (z. B. Kartoffeln) zu Speisezwecken und Getreide bis zur Zeit der Blüte;
- für Grünland und Grünfütterpflanzen bis höchstens 2 Wochen vor dem Schnitt oder der Beweidung.

Hochinfektiöses Abwasser, z. B. aus Infektionskrankenhäusern, Tbc-Heilanstalten, Tierkörperverwertungsanstalten, Seuchenschlachthäusern, Kadaverplätzen u. ä. ist von der Bewässerung land- und forstwirtschaftlicher Nutzflächen auszuschließen.

5. Zusammenfassung

Nach Darstellung der zunehmenden Probleme des Entsorgungswesens in den städtischen Siedlungen der Länder der Dritten Welt, insbesondere der Abwasserableitung und -behandlung werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Lösung der Probleme kurz aufgezeigt, wobei auf die besondere Bedeutung der natürlich-biologischen Abwasserbehandlungsverfahren hingewiesen wird. Abschließend werden die wichtigsten Aspekte der Eignung des Abwassers für die landwirtschaftliche Bewässerung angesprochen.

Summary

A rapidly growing population and urbanization in countries of the third world is leading to increasing problems in respect to sewage disposal and treatment. This paper gives a short overlook of the different possibilities of sewage treatment, especially in respect to the natural biological treatment methods. The later are of great importance to third world countries. The different quality aspects influencing reuse of sewage water in agriculture are referred briefly.

Literaturverzeichnis

1. BOUWER, H.; LANCE, J.C.; 1974: Reclaiming municipal waste water by groundwater recharge. – In: Hodge, C. O.; Hodge, C. N., 1974: Urbanization in the arid lands. – ICASALS Publication Nr. 73–I. Selbstverlag ICASALS, Lubbock, Texas
2. BUSCH, K. F.; 1965: Ingenieurtaschenbuch Bauwesen – Band III Boden – Wasser – Verkehr – B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig
3. FESTER, J.; 1964: Untersuchungen über den Einfluß unterschiedlicher Abwasserlandbehandlung auf die Eutrophierung der Gewässer. – Diss., Berlin
4. GERLACH, E.; 1971: Siedlungsentwässerung. – In: Bretschneider, H. (Hrsg.), 1971: Taschenbuch der Wasserwirtschaft – Verlag Wasser und Boden, Hamburg

5. HUSEMANN, C.; WESCHE, J., 1960: Untersuchungen über den Nährstoffwert verschiedener vorbehandelter Siedlungsabwässer. — *Der Kulturtechniker* 48, 2–16 und *Z. f. Kulturtechnik* 1, 26
6. KICKUTH, R., 1977: Entsorgungskonzepte für kleine und mittlere Gemeinden. — Mitteilungen aus dem Ergänzungsstudium ökologische Umweltsicherung Z/1977. Selbstverlag Gesamthochschule Kassel, OE Landwirtschaft, Witzenhausen
7. KICKUTH, R., 1981: Das Verfahrensprinzip der Wurzelraumentorgung. — Mitteilungen des Wasserverbandstages Niedersachsen und der Landesverbände der Wasser- und Bodenverbände in Hessen und Rheinland-Pfalz. — Nr. 51 (Nov. 1981)
8. KRETSCHMAR, R., 1981: Probleme der Abwasserreinigung in kleinen Landgemeinden. — In: Fischbeck, G. et al. (Hrsg.), 1981: *Landwirtschaft und Wasserhaushalt*. — *Agrarspektrum Schriftenreihe DAF*, Bd. Nr. 1. Verlags-Union-Agrar, München, Frankfurt/Main u.a.
9. MARA, D., 1976: *Sewage Treatment in Hot Climates*. — John Wiley & Sons., London
10. ODUM, H. T. et al., 1977: Recycling treated sewage through cypress Wetlands in Florida. — In: D'Itri, F. M., (Ed.), 1977: *Wastewater Renovation on Reuse*. — Marcel Dekker, Inc., New York
11. ORTH, H.; PRIGGE, M., 1980: Abwasserbehandlung in der Region Kano in Nigeria. — *Wasserwirtschaft* 70, 402–406
12. REYNOLDS, J. H. et al., 1980: Long-term effects of irrigation with wastewater. — *Journal Pollution Control* Vol. 52 (No. 4), 672–687
13. SCHAEF, H. J., 1972: *Wasserbereitstellung zur Bewässerung*. — VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
14. TAYLOR, J. S.; STEWART, E. A., 1978: Hyacinths. — In: Wanielista, M. P.; Eckenfelder, W. W., 1978: *Advances in Water and Wastewater Treatment Biological Nutrient Removal*. — Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor/Mich. U.S.A.
15. WANIELISTA, M. P.; ECKENFELDER, W. W. (Ed.), 1978: *Advance in Water and Wastewater Treatment Biological Nutrient Removal*. — Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor/Mich. U.S.A.
16. WESCHE, J., 1961: Die Bedeutung der mineralischen Zusatzdüngung (N-P-K-Ca) bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung auf vielschnittigen Dauergrasflächen. — *Z. f. Kulturtechnik* 2, 229–251