

FORSCHEN FÜR DIE UMWELT / 4. AUSGABE
MEXIKANISCH-DEUTSCHE FORSCHUNG:PFLANZEN
HELFEN ABWASSER ZU KLÄREN
Daniela Weber

MEXIKANISCH-DEUTSCHE FORSCHUNG: PFLANZEN HELFEN ABWASSER ZU KLÄREN

Daniela Weber

Krankheitserreger werden in Pflanzenkläranlagen effizienter beseitigt als bei der herkömmlichen Abwasserbehandlung. Das ist inzwischen weitgehend bekannt. Doch die Prozesse, die in bepflanzten Bodenfiltern ablaufen, sind erst im Ansatz erforscht. Das erschwert die gezielte Ausnutzung der Wirkprinzipien. Die Herausforderung liegt nun darin: Zum einen die Vorgänge bei der Pflanzenklärung zu verstehen und zum anderen die Anlagen mittels der erworbenen Kenntnisse technologisch sicher und optimal zu gestalten. Das mexikanisch-deutsche Verbundprojekt »Entwicklung und Optimierung von Pflanzenkläranlagen zur Keimzahlreduktion in kommunalen Abwässern« setzt dieses Anliegen in beiden Ländern um. Nach der Planung und den Belastungstests starteten 2003 an insgesamt vier Standorten die Experimente und Analysen.

Autorin:

Daniela Weber ist freie Journalistin in Leipzig.

Koautoren:

Dr. rer. nat. Roland A. Müller ist Leiter des Umweltbiotechnologischen Zentrums des UFZ;

Dr. rer. nat. Peter Kuschik ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Sektion Sanierungsforschung des UFZ;

Dr. rer. nat. Oliver Bederski ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Umweltbiotechnologischen Zentrum des UFZ.



In einer Pflanzenkläranlage gibt es mehrere Wirkorte: das Bodensubstrat, die Wurzeloberfläche sowie die Bodenmikroorganismen.

Zwei Länder, ein Interesse

Auch wenn sich Mexiko und Deutschland auf den ersten Blick höchst verschieden zeigen, der zweite Einblick in die Klärung von Abwässern erhellt: In beiden Ländern wächst das Interesse an dezentralen Anlagen, die seuchenhygienisch unbedenkliches Ab-

wasser bereitstellen – sei es für die Landwirtschaft, zur Versickerung oder zum Rückfluss in natürliche Gewässer. Grundlegend unterscheiden sich beide Staaten in ihrem sozioökonomischen Umgang mit dem Thema Wasser und Abwasser, in ihren klimatischen Bedingungen sowie in der Belastung der Abwässer mit Keimen. Gemeinsam jedoch brauchen sowohl Entwicklungs- und Schwellen- als auch Industrieländer eine Abwasserbehandlung, die hygienisch, ökonomisch und ökologisch wirksam ist. Für Entwicklungs- und Schwellenländer ist die nachhaltige und kostengünstige Behandlung von Abwässern eine existenzielle Notwendigkeit. Im Vergleich zu den Industrieländern ist das Problem als dramatisch einzuschätzen: Fünf Millionen Menschen sterben jährlich durch verunreinigtes und verseuchtes »Trink«-Wasser; lediglich fünf Prozent der Abwässer werden gereinigt. Eine prekäre Situation, die sich vor allem in der Tatsache widerspiegelt, dass Abwässer ungeklärt in Seen und Flüsse ablaufen. In trockenen Regionen dienen sie zudem traditionell zur Bewässerung der Felder, dank der enthaltenen Nährstoffe steigen die Erträge einer Ernte sowie die Zahl der jährlichen Ernten insgesamt. Zwangsläufig jedoch erhöht sich für die Menschen das Risiko, sich mit Krankheitserregern zu infizieren: Erkrankungen des Gastro-Intestinal-Trakts gehen meist auf Trinkwässer zurück, die von Abwässern verunreinigt sind; als ein Indikator gilt der Ausbruch von Cholera – von 1991 bis 2000 wurden allein in Lateinamerika offiziell 1,2 Millionen Fälle registriert.



Der Vergleich zeigt bepflanzte und unbepflanzte Vertikalbeete der Anlage der Umweltschutz Nord GmbH im Park »Xochitla«. (Quelle: Umweltschutz Nord GmbH)



*Nach der Bepflanzung mit Schilf (*Phragmites australis*) dauert es an mitteleuropäischen Standorten wie Langenreichenbach zwei Vegetationsperioden, bis das Substrat vollständig von Wurzeln durchzogen ist. (Quelle: Dr. Oliver Bederski, UFZ)*

In Industrieländern führen ökonomische und ökologische Erfordernisse zum verstärkten Einsatz dezentraler Systeme der Wasserbehandlung. Ursprünglich entstanden hier die Kanalisationen und Entsorgungsnetze mit den Städten. Mit deren Ausdehnung verzweigten sich auch die zentralen Systeme zur Abwasserreinigung. In dünn besiedelten Landstrichen versickerte die »Klärung« jedoch im Boden oder in Flüssen. Oder es wurden Kleinkläranlagen und abflusslose Gruben eingerichtet; in Deutschland sind es zusammen derzeit 2,2 Millionen. Seit Dezember 2000 verlangt nun in Europa die EG-Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser, dass auch Gemeinden mit weniger als 2000 Einwohnern ihr Abwasser reinigen müssen. Nicht zuletzt durch diese Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union, aber auch durch ökonomische Zwänge gewinnt die dezentrale Wasserver- und Abwasserentsorgung an Aufmerksamkeit: Die Richtlinie erlaubt es vielerorts, Kleinkläranlagen als technische Dauerlösung einzusetzen; und angesichts leerer kommunaler Kassen beeinflussen die Kosten, die aus dem Erwerb und dem Betrieb eines Klärsystems entstehen, die Auswahl künftiger Abwassertechnologien noch entscheidender als bisher.

Den Schwellen- und Entwicklungsländern empfiehlt die Weltgesundheitsorganisation (WHO) die abgestufte Vorreinigung des Abwassers, das für den Feldbau genutzt wird – angepasst an die

agrarische Kultur und die lokalen Gegebenheiten. Konkret verweist die WHO auf den Einsatz in Reihe geschalteter Abwasserteiche. Diese aber haben sich als wenig verlässlich erwiesen, fäkalcoliforme Bakterien in Abwässern zu reduzieren. Deutlich wirksamer eliminieren Pflanzenkläranlagen die pathogenen (Krankheit erregenden) Keime. Zudem zeichnen sich diese Anlagen durch eine einfache Konstruktion aus, die sich auf Baustoffe und Pflanzen aus den betreffenden Ländern und Regionen stützt. Und auch



Jedes der 16 Klärbecken von Langenreichenbach ist mit etwa vier Kubikmeter Sand beziehungsweise Blähton gefüllt. In dem Substrat wurzeln die Pflanzen der Anlage, zugleich wirkt es als Filter. (Quelle: Dr. Roland A. Müller, UFZ)



die niedrigen Betriebskosten sprechen für den Einsatz in der dezentralen Abwasserentsorgung.

In der Summe bietet sich mit den Pflanzenkläranlagen eine Lösung, die auf lokaler Ebene hygienisch unbedenkliches Wasser zu überschaubar geringen Kosten bereitstellt. In der Verknüpfung dieser drei Faktoren liegt der Gewinn von Pflanzenkläranlagen, den sie sowohl für Entwicklungs- und Schwellenländer als auch für Industrieländer erbringen können. Vor diesem Hintergrund ist der vergleichende Betrieb von Pilotanlagen in Mexiko und Deutschland ebenso technologisch wie wissenschaftlich, gesellschaftlich wie finanziell interessant.

Viele Partner, ein Ziel

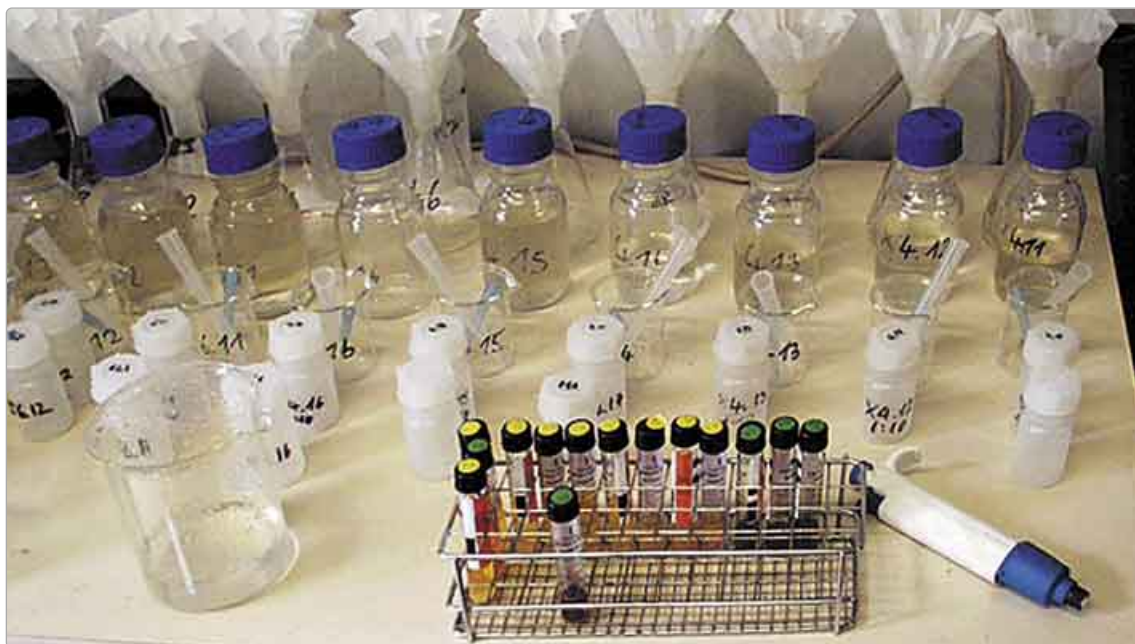
Das Vorhaben »Entwicklung und Optimierung von Pflanzenkläranlagen zur Keimzahlreduktion in kommunalen Abwässern« vereint Partner aus Industrie und Forschung. In die Kooperation sind die Nationale Autonome Universität Mexiko und die Universität Merida (Yucatán/Mexiko) sowie mexikanische Ingenieurbüros, die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und das Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle (UFZ) sowie die Unternehmen Umweltschutz Nord GmbH aus Ganderkesee (bei Bremen) und Ökotec GmbH aus Belzig (nördlich von Wittenberg) eingebunden. Koordiniert werden die Arbeiten vom UFZ. Auf deutscher Seite wird der Verbund vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. In dem Teilprojekt, das am



Kurz nach der Bepflanzung der Horizontalbeete von Langenreichenbach erlauben Spezialkameras auch einen Blick unter die Oberfläche in den Wurzelbereich hinein. Zur Aufnahme werden die Kameras in die schräg aufragenden Rohre eingeschoben. (Quelle: Dr. Oliver Bederski, UFZ)

Umweltforschungszentrum realisiert wird, geht es um die Entwicklung und Optimierung von Pflanzenkläranlagen zur Abwasserhygienisierung für den Einsatz in Entwicklungs- und Industrieländern. Das Institut für Hygiene der Martin-Luther-Universität untersucht die Anwendung hygienischer und ökotoxikologischer Testsysteme zur Evaluierung der Anlageneffizienz. Die Umweltschutz Nord GmbH und die Ökotec GmbH widmen sich der Verfahrensoptimierung und dem Technologietransfer in tropische und subtropische Länder.

Richtete sich mit dem Start im Jahr 2000 das Augenmerk vor allem auf die Auswahl und die Einrichtung der vier Pflanzenklär-



Im Labor werden die physikalisch-chemischen Parameter untersucht. Mittels der Analysen wird zum Beispiel der Bedarf an chemischem und biologischem Sauerstoff bestimmt. (Quelle: Umweltschutz Nord GmbH)



In der Pflanzenkläranlage von Xochitla werden Sumpfpflanzen (Helophyten) eingesetzt. Selbst sauerstoffarme Böden und stehendes Wasser vermag ihr Wachstum nicht zu beeinträchtigen. (Quelle: Peter Mosig, UFZ)

anlagen, laufen die Untersuchungen inzwischen auf die Lösung der bislang offenen Fragen zu. Dies schließt unter anderem die Erforschung der Wirkmechanismen zur Reduktion der Keime, die Kosten-Nutzen-Analysen und das nachhaltige Wassermanagement ein. Letztlich geht es darum, die Einfachtechnologie »Pflanzenkläranlage« praxisnah und effizient einzusetzen, natürlich abgestimmt auf das Umfeld.

In Pflanzenkläranlagen wird das Abwasser »gefiltert«, wenn es den bepflanzten Boden passiert. Auf diesem Wege werden sowohl Eier von Nematoden (Fadenwürmer) als auch Bakterien ausgeschaltet. Herkömmliche Ansätze, den Effekt von Pflanzenkläranlagen zu bemessen, beziehen sich in der Regel auf die Entfernung der chemischen Inhaltsstoffe des Abwassers, wie beispielsweise Stickstoff und Phosphor. Mit den jetzigen, weiter gehenden Studien untersuchen die Forscher – neben physikalisch-chemischen Parametern zur Erfassung der Filtrationsleistung oder des Sauerstoffgehalts im Bodenkörper – vor allem die biologischen Vorgänge in den Pflanzenkläranlagen. Gerade durch sie werden die pathogenen Keime aus dem Strom des Abwassers entfernt. Im Boden der Anlage herrscht ein anderes Milieu als im gewohnten menschlichen oder tierischen Wirtsorganismus, und durch die

Konkurrenz mit den dominierenden Bakterien sinkt für die pathogenen Keime die Chance zu überleben. Dabei spielen sich mehrere Prozesse ab: Zum Teil lagern sich die pathogenen Keime an den Wurzeln und an Bodenpartikeln an. Zum Teil verlieren sie ihre Vitalität und ihre Energie, da es ihnen an ihren spezifischen Nährstoffen und Lebensbedingungen mangelt. Ist der Bodenkörper im Gleichgewicht, bildet sich ein so genannter Biofilm, in dem Protozoen (Bakterien fressende Einzeller), lytische (die Auflösung von Zellen bewirkende) Bakterien und Bakteriophagen (Viren, die Bakterien befallen und auflösen) die Keime eliminieren. Bei der Bewässerung pflanzlicher Kulturen, die zum Verzehr durch den Menschen bestimmt sind, dürfen in 100 Millilitern Wasser maximal 1000 fäkale Keime enthalten sein; die Zahl der Nematodeneier darf 1 pro Liter nicht übersteigen. Für das Forschungsprojekt am UFZ bedeutet das, dass sich die aktuelle wissenschaftliche Arbeit im Wesentlichen auf die Interaktionen konzentriert, die innerhalb der Rhizosphäre für die Pathogenbeseitigung verantwortlich sind. Die Wissenschaftler wollen die Prinzipien der Pathogenbeseitigung besser verstehen lernen, um sie im folgenden Schritt so zu gestalten, dass sie gezielt technisch nutzbar sind. Mit diesem Wissen lassen sich die Prozesse, die rund



*In Langenreichenbach, der Schwesteranlage von Xochitla, werden Rottefilter in der Vorklärung eingesetzt: Stroh filtert die Feststoffe aus dem Abwasser. Anschließend wird das verbrauchte Filtermaterial kompostiert. In Xochitla hingegen setzen sich die Feststoffe in einer Zwei-Kammer-Grube ab – der anfallende Schlamm wird entsorgt.
(Quelle: André Künzelmann, UFZ)*

um Bodensubstrat, Wurzeloberfläche und Mikroorganismen laufen, in ihren Konditionen und in ihrer Wirkung optimieren und auf die lokalen Gegebenheiten abstimmen – so dass die genannten Standards vorausschauend angestrebt und erreicht werden können. Auch an den vier Standorten in Mexiko und in Deutschland.

Ein Projekt, vier Standorte

Mit dem **Xochitla-Park** wurde eine Ausflugslandschaft von zirka 80 Hektar unweit Mexiko-Stadt ausgewählt. Jährlich strömen 175.000 Gäste durch das grüne Bildungs- und Erholungsareal, das für kulturelle Veranstaltungen und ökologische Schulungen genutzt wird. Die große Menge an hygienisch unbedenklichem Wasser zur Bewässerung wurde bisher aus dem Trinkwasser entnommen, das in der Mega-City offenkundig knapp ist. Immer stärker deckt die Metropole den Bedarf für über 18 Millionen Einwohner aus dem Grundwasser der umliegenden Gebiete – jetzt bereits zu 25 Prozent. Und während in den reicheren Stadtteilen Wasser im Überfluss verbraucht wird, erschöpfen sich die

Reservoirs am Rande der Metropole. Soziale Spannungen sind absehbar. Zumal die Not dadurch verschärft wird, dass Abwasser in Flüssen, die zu offenen Schmutz- und Unratkanälen verkommen, aus der Stadt geleitet wird. An diesem Punkt können dezentrale Abwasseranlagen die angespannte Situation spürbar entlasten.

Die Pilotanlage in Xochitla reinigt kommunale Abwässer mittels »Pflanzenklärung« – derzeit für Forschungszwecke, künftig als Dauerlösung. Zwölf verschiedene Klärsysteme, die sich nach Strömungsrichtung, Filtermaterial und Pflanzen unterscheiden, stehen bereit. Chemisch-physikalische, mikrobiologische und parasitologische Parameter lassen die Wirkungen einzelner Faktoren und ihrer Kombination erkennen.

In **Langenreichenbach** (Sachsen) wurde eine baugleiche Pilotanlage errichtet, allerdings mit 16 jeweils 6 Quadratmeter großen Klärbecken. Der parallele Betrieb mit Xochitla erlaubt nun erstmals, den Einfluss des Klimas auf die Keimreduktion, die Folgen technischer Modifikationen bei identischem Abwasser und die Kopplung verschiedener Systeme vergleichend zu untersuchen. Es wird in praxisnahen Dimensionen analysiert, wie sich die Leistung

von Pflanzenkläranlagen steigern und eine konstante Qualität des abfließenden Wassers sichern lässt.

Neben den beiden Schwesteranlagen Xochitla und Langenreichenbach, die den Kern des Projekts bilden, sind zwei weitere in Betrieb. In **Belzig** (Brandenburg) wird eine großtechnische Pflanzenkläranlage für 300 Einwohnerwerte hinsichtlich ihrer hygienischen Leistung verbessert. Die biologische Prozessstufe umfasst einen zweistufigen, bewachsenen Bodenfilter, in dem das Abwasser rezirkuliert. Anschließend versickert das gereinigte Wasser. Bereits jetzt ist die Anlage so modifiziert, dass die Qualität des ablaufenden Wassers die Richtwerte der WHO unterschreitet.

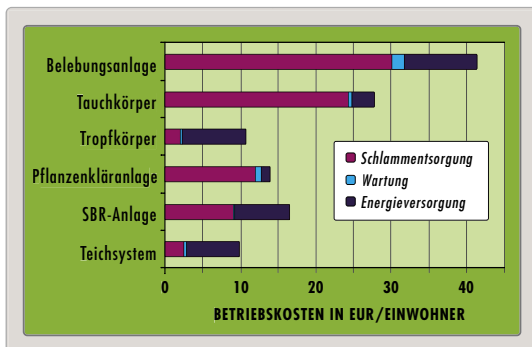
Sämtliche Ergebnisse aus den drei Forschungsstandorten fließen in die zweite mexikanische Pilotanlage in **Chacsincin** ein. Das kleine Dorf liegt auf der Halbinsel Yucatán, einem der ariden Gebiete Mexikos. Fäkalien wurden in Chacsincin bislang nicht entsorgt; die endemisch auftretende Cholera gilt als Indiz, dass in der karstigen Region verschmutztes Abwasser in die Trinkwasserbrun-



*In einem Horizontalbecken von Xochitla sind auf vulkanischem Substrat Rohrkolben (*Typha latifolia*) angepflanzt worden. (Quelle: Umweltschutz Nord GmbH)*



In das Horizontalbeet wird durch Rohre das Abwasser eingeleitet, das dann über ein geringes Gefälle die verschiedenen Felder von Wurzelschicht und Filtersubstrat durchläuft. (Xochitla); (Quelle: Umweltschutz Nord GmbH)



Im Vergleich mit anderen Technologien, die in Deutschland eingesetzt werden, fallen bei Pflanzenkläranlagen relativ geringe Betriebskosten an. Vor allem der Energieverbrauch und der Wartungsaufwand sind geringer.

nen einsickern konnte. Mit der Verbesserung der Trinkwasserversorgung und dem Bau von Toiletten steht jetzt die Aufbereitung der Abwässer an. In dem trockenen Landstrich würde sich somit nicht nur die gesundheitliche Situation im Dorf verbessern; zugleich könnten die teilgereinigten, das heißt von pathogenen Keimen geklärten, Abwässer für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen genutzt werden.

Die Pilotanlage Langenreichenbach fügt sich sanft in die Hügellandschaft der Dahlemer Heide ein. Im Überblick liegen links die Vertikal- und rechts die Horizontalbeete, dazwischen steht der Container für die Versorgungs- und Messtechnik. (Quelle: André Künzelmann, UFZ)

Ausblick

Auch wenn in der Summe die Experimente und Analysen gerade im Anlaufen sind, bereits jetzt ist aus dem Projekt »Pflanzenkläranlagen« ein entscheidender Gedanke hervorgegangen: Fäkalcoliforme Bakterien in Abwässern werden durch die biologischen Prozesse in den bepflanzen Bodenfiltern zuverlässiger ausgeschaltet als in Teichen. Im Gegensatz zur Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation, in Reihe geschaltete Abwasserteiche für die Vorreinigung von Abwasser für den Bewässerungsfeldbau zu nutzen, bieten Pflanzenkläranlagen mit ihren miteinander verschalteten Klärbecken die höhere Sicherheit und Effizienz.