



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des

Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. Köln

C.R.O.P.: Combined regenerative organic-food production



Visionen von Lebenserhaltungssystemen und Biofiltern

Dr. Jens Hauslage

Jens.hauslage@dlr.de

Köln, März 2012



Zusammenfassung

Aktuell wird im Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin ein Biofilter-System (C.R.O.P.) beforscht, mit dem wir aus Bioabfällen und Urin eine direkt zu verwendende Düngemittellösung zur Pflanzenzucht herstellen wollen. Hierbei testen wir auch die Leistung der Reinigungs- und Entgiftungsfähigkeit des verwendeten Biofilters. Mit dieser im Ansatz bereits entwickelten Anlage könnten wir organischen Abfall reduzieren sowie Lebenserhaltungssysteme entwickeln, welche die Handlungsspielräume des Menschen in einer nachhaltigen und zukunftsorientierten Gesellschaft erweitern können.

Das Kernelement des C.R.O.P.-Systems ist ein mikrobiologischer Rieselfilter aus Lavagestein, der Lebensraum für eine Vielzahl von Mikroorganismen wie Bakterien, Pilzen und Einzellern ist. Diese sind extrem anpassungsfähig und können zur Entgiftung des Wassers genutzt werden, indem sie eine Vielzahl im Wasser gelöster Stoffe reinigen. Das Wasser läuft dabei im Kreislauf durch eine mit dem Lavagestein gefüllte Filterröhre; der Filter ist dabei in der Lage, sich individuell auf die zugeführten Stoffe einzustellen, indem sich genau die Organismen vermehren, die die zugeführten Stoffe abbauen können und diese z. B. als Nahrungsgrundlage nutzen.

Die Idee der Biofilter ist nicht neu, wir entwickeln und erforschen jedoch neue Verfahren und prüfen die verschiedenen Einsatzszenarien mit dem Ziel, ein Nass-Komposter-System zum Einsatz in geschlossenen Lebensräumen zu entwickeln. Einsatzgebiete dieses Systems könnten Lebensräume zur Vorreinigung von Abwässern, der Agrarsektor zur Veredelung von Stickstoffquellen, die Industrie im Bereich des mikrobiellen Abbaus von Umweltgiften sowie Gebiete in harschen und abgeschlossenen Gegenden zur Abkürzung von Stoffkreisläufen sein.

Hintergrund

Wo Menschen leben, fallen täglich organische und Urin-Abfälle an. Diese Stoffe können besonders in Ballungsgebieten zum Problem werden. Eine nachhaltige und vorausschauende Gesellschaft sollte versuchen, diese Reststoffe wieder sinnvoll und ressourcenschonend in den Kreislauf zurückzuführen. Vor allem bei Bioabfällen ist es sinnvoll, den Kreislauf der Wiederverwertung über den Kompost und Boden zurück zu Pflanzen, Gemüse und Obst zu nutzen. In dicht besiedeltem Wohnraum ist jedoch der Raum zur klassischen Wiederverwertung knapp oder nicht vorhanden. Wenn Biomüll nicht verbrannt wird, wird er meist außerstädtisch kompostiert und dann wieder zum Anbau von Nahrungsmitteln in Form von Humus verwendet. Eine nachhaltige Pflanzenproduktion sollte aber das Ziel haben, die vorhandenen Ressourcen so effektiv wie möglich zu nutzen, anfallende Abfälle direkt in den Produktionsprozess zurückzuführen und die Zufuhr von notwendigen Ressourcen wie Dünger zu minimieren. Ähnlich verhält es sich mit dem Abbau von Urin. Jeder Mensch scheidet täglich ca. 30g Harnstoff mit einem Gehalt von ca. 46% Stickstoff aus. Diese Stickstoffquelle wird bei uns schlicht weggeworfen und könnte ideal als Düngemittel genutzt werden. Bei der Düngung von Pflanzen mit tierischem Urin gibt es jedoch Probleme, die bis dato nicht vollständig gelöst wurden. Bei der Düngung von Pflanzen wird Stickstoff am besten über die oxidierte Form des Nitrats aufgenommen. Wird der Boden direkt mit Harnstoff (Gülle), Ammoniak oder Ammoniumsalzen gedüngt, muss im Boden erst eine Oxidation des zugeführten Stickstoffs stattfinden. Diese Oxidationsleistung belastet den Boden und stört die Bodenflora. Besser ist hier der Einsatz von Biofiltern, die diese Oxidation kostengünstig vollführen. Durch die Nitrifikation, also die Umwandlung von Ammoniak - welches beim Lagern von Urin und Gülle entsteht - zu Nitrat können

stickstoffhaltige Wässer in Biofiltern für die direkte Gabe auf den Boden veredelt werden. Zudem ist der Einsatz eines klassischen Kompostierungssystems in geschlossenen Lebensräumen nur sehr schwer vorstellbar. Besser ist hier die Verwendung eines kompostierenden Systems beruhend auf Wasser. Wasser kann gepumpt und auch hinsichtlich der Nährstoffkonzentrationen wesentlich besser vermessen werden als Humus und Erde. Mit Wasser als „neue Erde“ von hydroponischen Pflanzenanzuchtssystemen kann so der Umweg über den klassischen Kompost und die synthetische Düngung des Bodens entfallen. Somit könnten Stickstoff- und Phosphatverbrauch durch Kunstdünger eingespart werden.

Unser System könnte hier eine ideale ökonomische sowie ökologische Ergänzung zu den bereits bestehenden Verfahren darstellen.



Abb. 1: Erste Messanlagen zur Quantifizierung und Charakterisierung von Biofiltern beim Abbau von Harnstoff im Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin.

Forschung

Im Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des DLR wird das Ziel verfolgt, die Leistungs- und Anpassungsfähigkeit von Biofiltern auf Grundlage des C.R.O.P.-Systems zu untersuchen und mögliche Einsatzszenarien zu identifizieren. Dabei werden folgende Aspekte beleuchtet:

- - Nitrifikation (Umbau von schädlichem Ammoniak aus Urin zu einer besser handhabbaren Nitratlösung),
- - Entgiftung von komplexen Molekülen (Hormone, Antibiotika und schädlichen Abbauprodukten),
- - Kultivierung von nützlichen Mikroorganismen (Mikroorganismen, die in synergistischer Funktion eine Verbesserung des Pflanzenwachstums bewirken).

Ziel der Forschung ist die Feststellung der Leistungsfähigkeit der Filteranlagen. Es ist bereits bekannt, dass solche Systeme über einen langen Zeitraum hin stabil funktionieren. Unsere Aufgabe ist es nun, zu verstehen, wie solche mikrobiologischen Filtersysteme in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden können und welche Leistungsfähigkeit diese haben. Versuche zur Anwendung werden im



Rahmen des Regionale2010-Projekts :agrohort durchgeführt und beinhalten den gezielten Abbau von Pflanzenabfällen, welche bei der Zucht und Kultivierung von Nutzpflanzen anfallen. Ein weiterer Kooperationspartner auf diesem Gebiet könnte für uns das Regionale2010-Projekt :metabolon sein. Hier könnten sich die Schnittstellen Müllbeseitigung und Biofilter in idealer Weise verknüpfen.

Mögliche Einsatzgebiete der Biofilter

Landwirtschaft

Ein Einsatzgebiet, das im Zentrum unserer Forschung steht, sind hydroponische Pflanzanzuchtanlagen, welche bereits heute bei der Produktion von frischem Gemüse (Tomaten, Gurken usw.) ohne Erde im Einsatz sind. Hier könnte das C.R.O.P.-System Stoffkreisläufe abkürzen, indem die Inhaltsstoffe von anfallender Biomasse wieder ohne den Umweg der klassischen Kompostierung in das System zur Pflanzenaufzucht eingebracht werden. Dies schont die Ressourcen und spart Kosten. Ein kleines Beispiel: Wenn in einer Tomatenzucht täglich Blätter und Triebe der Tomatenpflanzen anfallen, so werden diese verworfen, wenn sie nicht kompostiert werden. Auch nach der Kompostierung besteht das Problem, dass Nährstoffe, die im idealen Verhältnis für die Tomaten in der Biomasse zur Verfügung stehen, nicht oder nur sehr schwer in den Kreislauf zurückgeführt werden können. Bei einem Nass-Komposter-System würden die in der anfallenden Biomasse vorkommenden Nährstoffe direkt wieder den zu züchtenden Pflanzen zur Verfügung gestellt. Die Inhaltsstoffe von Tomaten-Grünabfall entsprechen in ihrer Zusammensetzung genau der, welche die Tomate wieder für den Aufbau von frischer Biomasse benötigt. Schwankungen in der Düngemittelzusammensetzung könnten mit heutzutage üblichen Mischrobotern ausgeglichen werden. Im Bereich der Nitrifizierung könnten die mit Lavagestein gefüllten Filterröhren im landwirtschaftlichen Sektor eingesetzt werden. Auch wenn hier der Einsatz von hydroponischen Pflanzanzuchtssystemen bisher nur einen kleinen Teil ausmacht, so könnten tierische Abbauprodukte (Gülle) in einem Biofiltersystem kostengünstig entgiftet und für die Ausbringung auf Felder vorbereitet werden. So würde die Gülle entgiftet und zu einer weniger giftigen Nährlösung aufbereitet werden, welche weniger negative Effekte auf den Boden hat. Durch die Umwandlung von Ammoniak zu Nitrat findet auch eine Reduzierung der Geruchsbelastung statt.

Private Haushalte und Kommunen

Auch bei Strategien von ökologischen Dörfern wie Åkesta in der Nähe von Västerås oder die Hochschule Stensund bei Trosa in Schweden, in denen menschlicher Urin durch ein separates Wassersystem zur Ausbringung auf Feldern gesammelt wird, wäre ein Einsatz von Biofiltern ökologisch sinnvoll. In diesen Fallbeispielen bestehen die gleichen Probleme wie bei der Sammlung tierischen Urins (Gülle). Es kommt zu einer Konzentration vom sowohl für den Menschen, als auch für den Boden giftigen Ammoniaks. Durch Biofiltersysteme können die ökonomischen und ökologischen Effekte verbessert werden, so dass sowohl Ressourcen gespart werden durch das Sammeln von Urin als auch die Umwelt geschont wird durch eine Vorbehandlung des Urins.

Industrie

In der Industrie könnten Biofilteranlagen besonders bei der Entgiftung von Prozessabwässern eine günstige Ergänzung zu den bereits bestehenden Filtersystemen sein. Biofilter zeichnen sich durch ihre kostengünstige Ausführung und deren Anpassungsfähigkeit aus. Durch die Besiedlung von

verschiedenen Mikroorganismen innerhalb eines Biofilters können sie ein großes Spektrum an Substanzen abbauen. Ein Beispiel ist das bei der Zellulose verarbeitenden Industrie (Papierfabriken) anfallende Abwasser, welches meist einen hohen Gehalt an Sulfaten aufweist. Auch die in unserer Region beheimateten Firmen, welche Schwerpunkte in der chemischen und besonders petrochemischen Industrie haben, könnten von den Forschungsergebnissen profitieren und durch neue Verfahren mit Biofiltern einen weiteren Schritt zu einer naturschonenden und nachhaltigen Produktion gehen. Ein zukünftiges Ziel der Forschung im Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin ist eine iterative Sondierung der abbaubaren Stoffe, welche in Industrie und Handwerk als Abfälle anfallen können.



Abb. 2: Der C.R.O.P – Demonstrator im Institut für Luft- und Raumfahrt liefert seit über einem Jahr kontinuierlich Tomaten und Kräuter. Die Nährstoffe erhält dieser von Lebensmittelresten und organischem Abfall. Zudem werden Tilapia-Fische im aquatischen Teil gehalten.

Energie

Ein aktuelles und durch seine Nachhaltigkeit ausgezeichnetes Thema ist die Gewinnung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen. Auch hier könnten Biofilter einen Beitrag zu Umweltverträglichkeit und Schonung von Ressourcen leisten. Dies erstreckt sich von der Algenproduktion bei der Kohlendioxidbindung in Kohle- und Gaskraftwerken bis hin zu einer intensiven, industrialisierten Landwirtschaft, welche Biomasse zur Erzeugung von Heizkraft oder Biotreibstoffen dient. Ein Anwendungsbeispiel hierfür ist die Veredelung und Entgiftung von Stickstoffquellen. Wenn durch die Veredelung von Stickstoffquellen (von der giftigen Gülle zu einer verträglichen Düngemittellösung) die Anbauarten und Erträge gesteigert werden können, bedeutet dies auch eine kostengünstigere Produktion von energiereicher Biomasse. Hier steht man innerhalb der Forschung noch am Anfang, so dass sich mit neuen Erkenntnissen weitere Anwendungsfelder erschließen ließen.

Harsche Umgebungen und Raumfahrt

Besonders in harschen Umgebungen (Krisengebiete, verseuchte Landstriche, lebensfeindliche Regionen, Weltraum) wird es immer wichtiger werden, Menschen autark mit frischen Lebensmitteln zu versorgen. Beim DLR werden hierfür Lösungskonzepte mit automatisierten



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

in der Helmholtz-Gemeinschaft

Pflanzenanzuchtcontainern entworfen. Dabei sollen sowohl ein hydroponisches System als auch eine C.R.O.P.-Biofiltereinheit in einen Container eingebaut werden. Der Nutzen darin liegt in der bereits beschriebenen Abkürzung von Stoffkreisläufen und Einsparung von Ressourcen. Außerdem wird menschlicher Urin nicht wie sonst üblich verworfen, sondern direkt für die Aufzucht von Pflanzen genutzt. Das ist ein Problem, das die Wissenschaft in der Raumfahrt seit Jahrzehnten beschäftigt. Durch einen modularen Aufbau von Lebenserhaltungssystemen können auch neue Konzepte der Lebenserhaltung in abgeschlossenen Lebensräumen geschaffen werden: Ziel der DLR-Strategie ist es, modulare Lebenserhaltungssysteme so weit zu charakterisieren und zu quantifizieren, dass diese im redundanten sowie skalierten Maßstab eingesetzt werden können. Dadurch ergibt sich eine hohe Redundanz und eine verbesserte Ausfallsicherheit.

Operative Innovationen:

- **Einsatz in der Produktion von terrestrischer Biomasse (Landpflanzen) Abkürzung des mikrobiellen Abbaus von Stickstoffverbindungen in Wasser basierten Systemen (Nasskomposter)**

Besonders in abgeschlossenen Lebensräumen hat sich der Einsatz von Erde als Substrat als schwierig bis unkontrollierbar herausgestellt. Ein sehr gutes Beispiel ist hier das Biosphere II Experiment. Somit ist das Wasser die „neue“ Erde bei der Produktion von Biomasse, welches sich in hydro- und aeroponischen Systemen bereits erfolgreich zeigt. C.R.O.P. bietet hier den Einsatz als Nasskomposter zum Abbau von organischem Material in einem Wasserkreislauf. Viele Bodenbakterien können sich ebenfalls in nassdurchspülten Biofiltern ansiedeln. Somit könnten Stoffkreisläufe verkürzt werden, indem in hydroponischen Systemen Biofilter zum Abbau von Bioabfall eingefügt werden.

- **Entgiftung von Schadstoffen durch mikrobiellen Abbau**

Besonders das Substrat der Lava ermöglicht es, dass sich aerobe sowie anaerobe Organismen im Substrat ansiedeln und Biofilme bilden, welche eine Vielzahl von Substanzen abbauen können. Darunter auch aromatische Verbindungen, die sich als sehr stabil erweisen. Neben aromatischen Verbindungen werde vermehrt anthropogene Metabolite von Medikamenten und Hormonprodukten im Trinkwasser nachgewiesen. Durch eine Vorkonditionierung des Biofilters mit geeigneten Mikroorganismen könnten diese gezielt abgebaut werden. In alten Systemen wurde meist Kies verwendet der nur eine geschlossene Oberfläche besitzt und somit einen kleineren Lebensraum darstellt.

- **Veredelung von Stickstoffreichen Abwässern wie Gülle und Urin**

Es gibt bereits Anlagen, welche Urin aus Haushalten und Gülle von landwirtschaftlichen Betrieben sammeln und zur Düngung von Feldern einsetzt. Diese haben jedoch den Nachteil, dass sich der Harnstoff des Urins in das stabile, für Organismen jedoch giftige Ammoniak spaltet. Die Abbauleistung vom Ammoniak zum Nitrat müssen nach dem Ausbringen auf das Feld Mikroorganismen übernehmen. Dabei wird der Boden belastet. Durch eine Oxidierung des Ammoniaks in das weniger schädliche Nitrat kann Gülle für die Düngung von Feldern veredelt werden. Zudem wird durch die Oxidation des Ammoniaks eine Geruchsbelästigung durch das Ausbringen von Gülle vermieden.

- **Biofilter können Keime reduzieren**

Im Versuch konnte beobachtet werden, dass sich die Keimzahl von Darmbakterien im Biofiltersystem deutlich gegenüber eines stehenden Systems verringert hat. Das besondere Milieu innerhalb des Biofilters schwächt besonders das Wachstum von Enterobacteriaceen, die im Darmsystem vorkommen und bei geschwächten Menschen Krankheiten auslösen können. Durch eine zu geringe Temperatur und durch das fremde Lebensklima im Biofilter werden diese an das Innere des

Menschen angepassten Bakterien unterdrückt. Diese Eigenschaft kann unterstützend für den Einsatz in geschlossenen Systemen sein, um die Gesamtkeimzahl schädlicher Organismen zu verringern.

Spezielle Fortschritte:

- **Einsatz als Schnittstelle zu Lebenserhaltungssystemen**

C.R.O.P. verfügt über alle „Aggregatzustände“ von Lebenserhaltungssystemen: Luft, Boden, Wasser. Somit ist es ideal geeignet, um modulare Lebenserhaltungssysteme zu verbinden. Nassdurchspülte Biofilter bilden die Schnittstelle zwischen allen dieser „Aggregatzustände“. Somit können Stoffe nicht nur ausgetauscht werden, sondern diese können, je nach Vorkonditionierung mit selektiven Mikroorganismen, umgewandelt werden.

Und nicht nur die Bioregenerativen sondern auch physico-chemische Lebenserhaltungssysteme lassen sich so verbinden. C.R.O.P. bildet die zentrale Schnittstelle für das Konzept ModuLES in :envihab.

- **Lastmodul zum Test von Bioregenerativen Systemen**

Gerade bei der Kopplung von modularen Lebenserhaltungssystemen muss darauf geachtet werden, dass Akzeptor und Donor in einem Kreislauf geschaltet sind. C.R.O.P. kann in diesem Fall auch als eine Art Lastwiderstand eingebaut werden. Ein Beispiel ist die Kopplung des C.R.O.P. Systems mit der Grünalge Euglena. Die Grünalge Euglena ist in der Lage Sauerstoff nach Bedarf zu produzieren, welcher vom Biofilter im C.R.O.P. zur Oxidation von Schadstoffen genutzt wird. Gleichzeitig wirkt der Biofilter als Entgifter für das gesamte System.

Visionen und Zukunft

In den Zukunftsvisionen von Architekten und Städteplanern werden Agglomerationsvorteile, also die Vorteile von kurzen Wegen zwischen der Herstellung und dem Konsument, bei der Produktion von Nahrungsmitteln in dicht besiedelten Räumen immer wichtiger. Ziel ist eine in die Wohnraummatrix eingebundene Produktion von Gemüse, Obst und Getreide. So sollen z. B. Häuserfronten als Anbaufläche genutzt werden. Schlagwörter dieser Entwicklung sind z. B. *High Density Vertical Growth* (dichter Anbau von Pflanzen an vertikalen Wänden) oder Hydroponik sowie Aeroponik¹. Der direkte Anbau im Wohnumfeld hat nicht nur den Vorteil, dass Transportkosten gesenkt werden; es können auch Abfälle, die durch die Bewohner anfallen, wieder für die Düngung der vertikalen Anbauflächen verwendet werden. Hier könnte das C.R.O.P.-System zur Verarbeitung von Biomüll und Urin ideal eingebunden werden.

¹ Der Unterschied zwischen Hydroponik und Aeroponik liegt darin, dass bei der Aeroponik die Wurzeln der Pflanzen nicht mehr im Wasser, sondern nur in einer feuchten, kondensierenden Atmosphäre kultiviert werden. Hier werden die Wurzeln periodisch mittels Düsen befeuchtet und über die versprühte Düngemittellösung Nährstoffe gegeben.