Projekt:
EM- Hof Pinokkio

Untersuchung der Bodenveränderungen eines Versuchsbeetes durch mehrjähriges Aufbringen von Klärschlammkompost aus eigener Pflanzenkläranlage.

eigene Aufnahme

Umweltamt Spree Neiße,
untere abfallwirtschafts- und Bodenschutzbehörde
Sachgebietsleiter Maike Müller

vorgelegt von: Tom Steinhaus, Praktikant
Steinha2@students.uni-marburg.

Gliederung

1. Einleitung……3

1.1 Projekt EM Hof Pinokkio…….…4

1.2 Exkurs: Projektentstehung……...6

1.3 gesetzliche Vorgaben…….. 8

1. 4 Motivation/ Zielsetzung……11

1.5 Boden……12

.

2. Stand der Forschung……..14

.

2.1 Hypothesen…… 20

3. vorläufige Daten und Methoden ……..21

3.1 vorläufige Ergebnisse und Diskussion ……...…25

.

4.Schwierigkeiten …….27

5 weiteres Vorgehen, geplante Untersuchungen……...29

6. Fazit…….…. 31

Literaturverzeichnis……..32

Abbildungsverzeichnis…….33

1. Einleitung

Der demographische Wandel westlicher Industrienationen in Folge sinkender Geburten- und sinkender Sterberaten führt besonders in Brandenburg zu einer erheblichen Überalterung der Bevölkerung (Statistisches Bundesamt 2006, S.14ff). Zusätzlich wandern junge erwerbsfähige Menschen, insbesondere Frauen aus sozio- ökonomischen Gründen ab (Berlin Institut 2006, S.7). In gegenseitiger Wechselwirkung mit dem Strukturwandel von der Industrie- hin zur Dienstleistungs- und Wissensgesellschaft treten folglich große infrastrukturelle Versorgungsprobleme in strukturschwachen ländlichen Regionen auf.
Vor dem Hintergrund dieser Untersuchung ist die Betrachtung der kommunalen Abwasserbehandlung von besonderem Interesse. Die Problematiken liegen darin, dass sich neue Leitungen aufgrund regional zu geringer Einwohnerzahlen nicht rentieren und bereits vorhandene Leitungen nicht ausgelastet sind (Berlin Institut 2006, S.4).
Alternative Abwasserentsorgungssysteme werden folglich zunehmend interessanter, sowohl aus kommunaler Sicht, als auch auf der individuellen Ebene für immer mehr Selbstversorger.
Über die Weiterverwendung der anfallenden Klärschlämme, ob kommunal aus technischen Großkläranlagen oder privat aus den verschiedenen Kleinkläranlagenarten herrscht eine rege Uneinigkeit, da Klärschlämme zugleich als „Nährstoffquelle und Abfall“ zu betrachten sind (BUND 2005, S. 3).Diskusionen um die Deponierung, Verbrennung und landbauliche oder landwirtschaftliche Nutzung sind trotz eindeutiger Gesetzeslage nach wie vor aktuell.

Um in der kommunalen Abwasser- und Klärschlammbehandlung auf die sich verändernden ländlichen Räume reagieren zu können, ist die untere Abfallwirtschafts- und Bodenschutzbehörde des Landesamt Spree-Neiße an der wissenschaftlichen Begleitung der Auswirkungen alternativer Abwasserbehandlungen interessiert.

Im Rahmen dieser Arbeit soll der Versuch unternommen werden, eine Untersuchung des Einflusses mehrjähriger Klärschlammdüngung aus einer privaten Pflanzenkläranlage auf die Bodeneigenschaften eines privaten Versuchsbeetes zu konzeptionieren. Das Projekt: EM Hof Pinokkio ist durch einige Besonderheiten gekennzeichnet, die im Folgenden näher beschrieben sind.

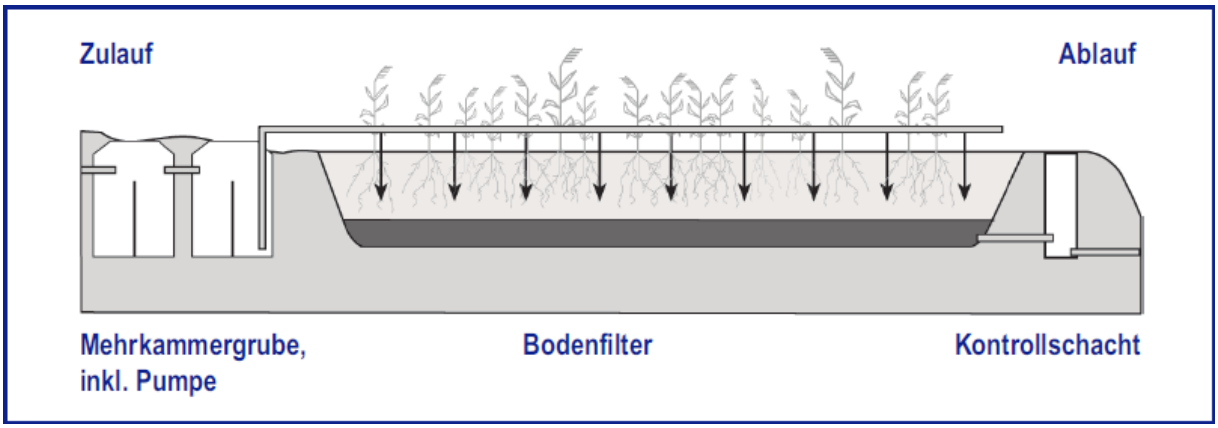
1.1 Projekt EM Hof Pinokkio

Der Selbstversorgerhof EM- Hof Pinokkio befindet sich in Felixsee im Ortsteil Bloischdorf im südlichen Landkreis Spree Neiße.

Mehr als die dezentrale Abwasserbehandlung steht der Düngemittelkreislauf des EM- Hofs Pinokkio im Blick der Untersuchung. Die als Selbstversorger lebende sehr umweltbewusste Familie ernährt sich fast ausschließlich von den Erzeugnissen ihres Hofes, die mit dem Klärschlamm aus haushaltlichen Abwässern gedüngt werden sollen. Im Haushalt werden nach eigenen Angaben ausschließlich Produkte mit belastbaren Öko Siegeln benutzt und „Woofer“ werden einer „Kosmetikbelehrung“ unterzogen.

Der Einsatz effektiver Mikroorganismen in allen Bereichen der Haushaltsführung stellt insofern eine Besonderheit dar, als dass diese mit dem Abwasser in die PKA eingetragen werden und die Klärung möglicherweise beeinflussen.

Abbildung 1: Funktionsweise einer Pflanzenkläranlage



HWK Düsseldorf 2004, S. 2

Die haushaltlichen Abwässer erfahren in der Mehrkammergrube zuerst eine mechanische Reinigung, bei der die Feststoffe durch Absinken abgetrennt werden. Über eine Pumpe erfolgt die Beschickung des bewachsenen und nach außen abgedichteten, sandig- kiesigen Bodenfilters, der in der Regel mit Helophyten bewachsen ist. Während der Bodenkörper als Sieb fungiert, sind es die Mikroorganismen im Bodenkörper und besonders im Wurzelbereich, die Kohlenstoffverbindungen abbauen. Die Abbauprodukte werden von den Pflanzen aufgenommen und dienen dem Wachstum, die Pflanzenwurzeln versorgen die Mikroorganismen mit Nährstoffen und Sauerstoff. Über den Ablaufschacht kann das gereinigte Abwasser versichern oder anderweitig genutzt werden (HWK Düsseldorf 2004, S. 2f).

Der EM Hof Pinokkio stellt die einzige KKA im Landkreis SPN, bei der der Klärschlamm nicht abgeholt, sondern auf dem eigenen Land ausgebracht werden soll.

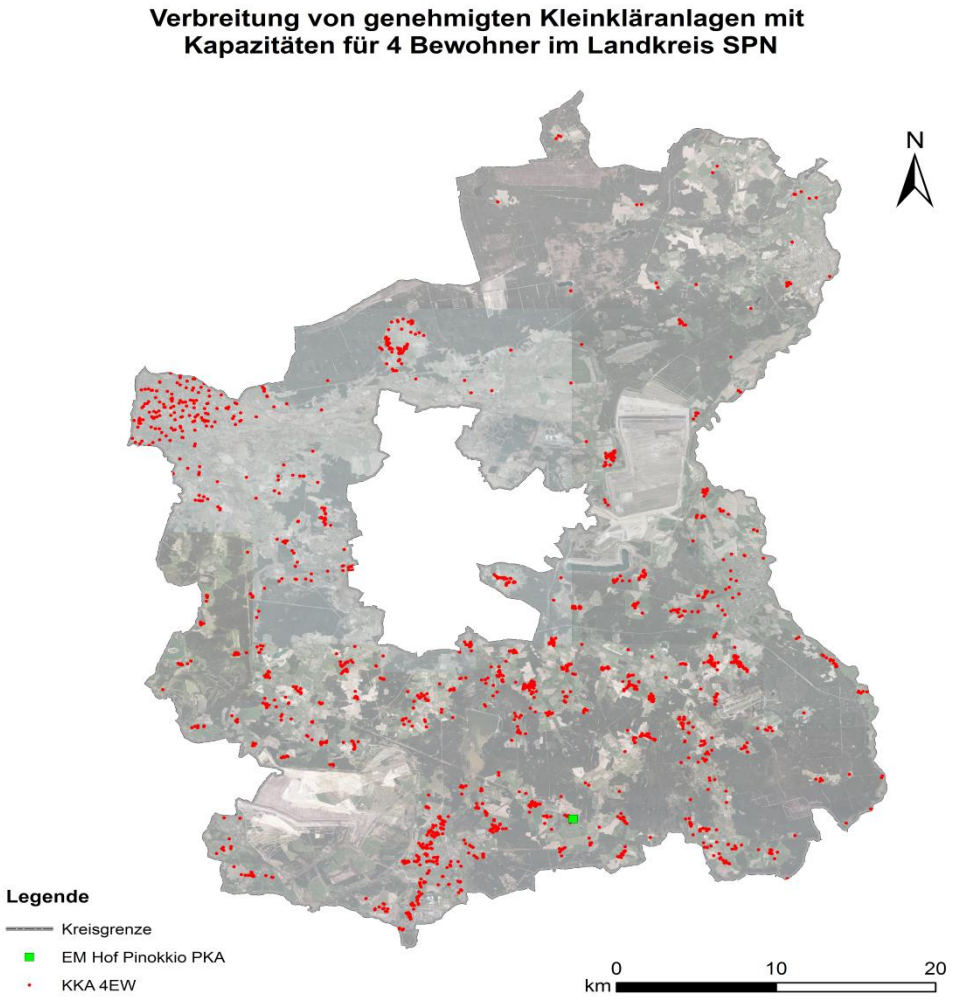


Abbildung 2: *Datengrundlage der unteren Abfallwirtschafts- und Bodenschutzbehörde*

Pflanzenkläranlagen stellen bei allen genehmigten Anträgen zur Errichtung von Kleinkläranlagen im Landkreis Spree- Neiße eine Minderheit dar. Das Landesamt für Umweltschutz Sachsen- Anhalt sieht die Vorteile der PKA in ihrer einfachen Bau- und betriebsweise mit geringem technischem Aufwand, der langen Lebensdauer bei gleichzeitig geringem Stromverbrauch, einer guten Keimminderung und Anpassung an saisonale Belastungsschwankungen (Landesamt für Umweltschutz Sachsen Anhalt 2007, S.5).

Die Untersuchung der klärschlammbedingten Bodenveränderungen im Rahmen eines experimentellen privathaushaltlichen Düngemittelkreislaufs kann einen Beitrag dazu leisten, diese Variante der dezentralen Abwasserbehandlung im Zuge des Energiewandels und Abwasserinfrastrukturproblemen ländlicher Räume zu bewerten.

1.2 Exkurs: Projektentstehung

In Zusammenarbeit mit den Hofbesitzern und dem Umweltamt SPN entstand ein experimentelles Forschungsprojekt, dessen Entstehung im Folgenden zusammengefasst dargelegt ist.

Juni 2008

Die Besitzerin des „EM- Pinokkio Hofs“, Frau Barbara Matthias, möchte als Selbstversorgerin leben und mit der Installation einer Pflanzenkläranlage den gesamten Klärschlammkompost als Dünger auf ihrem Acker einsetzen. Die Besonderheit stellen die verwendeten „effektiven Mikroorganismen“ (EM) dar, die den Klärvorgang und die Klärschlammbildung möglicherweise beeinflussen.

Das Projekt: „Einsatz effektiver Mikroorganismen bei Kleinkläranlagen zur Herstellung hygienisierter Vererdungsprodukte aus Klärschlamm“ findet Interesse bei Frau Dr. Straub von der Fachhochschule Lausitz (Abfall- und Siedlungswasserwirtschaft) und soll von dieser Seite wissenschaftlich begleitet werden.

Die Schwerpunkte liegen dabei auf der „chemisch- physikalische[n] wie auch mikrobiologische[n] Ablaufleistung einer Pflanzenkläranlage“ sowie „auf den mikrobiologischen Zustand des Vererdungsproduktes“ (Straub 2008). Für ein gewisses Maß an Vergleichbarkeit der Ergebnisse soll eine baugleiche Referenzanlage mit ähnlichen Zu- und Ablaufleistungen, jedoch ohne EM- Zugabe, beprobt werden.

September 2008

Die Vereinigung EM e.V. ist ebenfalls an dem Versuch interessiert und unterstützt Frau Matthias mit maximal 400 Euro.

Mai 2009

Das von Frau Matthias beauftragte Unternehmen Scheider & Kuhle reicht den „Antrag auf eine wasserrechtliche Erlaubnis zur Errichtung einer Pflanzenkläranlage“ bei der Unteren Wasserbehörde des Landkreises Spree- Neiße ein.

Die PKA ist für vier Einwohner als Zwei- Kammergrube (3,5m³) mit Vertikalfilter und Sickermulde geplant.

Der „Antrag auf Befreiung von der Abwasserbeseitigungspflicht“ geht bei dem Spremberger Wasser- und Abwasserzweckverband ein.

Juni 2009

Frau Matthias wird durch die Untere Wasserbehörde die widerrufliche wasserrechtliche Erlaubnis erteilt, max. 0,60 m³/d gereinigtes Abwasser in den Boden einzuleiten. Die Mindestfläche des Pflanzenkörpers aus Helophyten soll 10 m², die Tiefe des mindestens 1 m betragen. Die Besitzerin wird zur Führung eines Betriebstagebuchs verpflichtet, in dem im Besonderen die jährlichen Wasseranalysewerte und Schlammentsorgungsnachweise dokumentiert sein müssen.

Die Untere Wasserbehörde weist im Folgenden darauf hin, dass die von Frau Matthias beabsichtigte Ausbringung des Klärschlamms, mindestens 14 Tage vorher anzuzeigen und nach § 3 der AbflKlärV vor der Ausbringung auf seine Inhaltsstoffe zu untersuchen sei. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Aufbringung von Klärschlammkompost nach § 4 AbfKlärV unter anderem auf Gemüse und Obstanbauflächen verboten ist.

Juli 2009

In einem Beratungsgespräch mit dem Sachgebietsleiter der Unteren Wasserbehörde wiederholt Frau Matthias ihre Motivation:

- schadstoffreduzierter Eintrag in die PKA
- Kompostierung des anfallenden Schlamms und Nutzung auf dem eigenen Acker
- Reduzierung des Stromverbrauchs
- Bodenverbesserung

In Folge dieser Beratung wird Seitens des Umweltamtes Spree- Neiße folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

Frau Matthias solle ein Versuchsfeld (10 m * 2 m) für den Gemüseanbau anlegen. Die eine Hälfte solle als Referenzfläche unbehandelt bleiben. Der Boden solle vor der ersten Ausbringung des Klärschlammkompostes untersucht werden. Die erste Untersuchung sei von

der Hofbesitzerin zu finanzieren. Das Umweltamt übernehme die Kosten für die jährlichen Untersuchungen des Klärschlammkompostes sowie des Bodens, wobei beide auf dieselben Inhaltsstoffe hin untersucht werden sollten. Das angebaute Obst und Gemüse solle ebenfalls einmal jährlich nach denselben Parametern analysiert werden.
Der Vergleichbarkeit halber sollten analog dazu auch andere Kleinkläranlagen im Landkreis untersucht werden.
Nach einer Laufzeit von fünf Jahren sei die Auswertung der Ergebnisse durch eine Studienarbeit geplant. Dabei wird eine Absprache zwischen Fr. Dr. Straub und dem Umweltamt angestrebt.

April 2011

Das Umweltamt erteilt der Lausitzer Analytik GmbH den Auftrag zur ersten Boden- und Klärschlammkompostuntersuchung.
Nach § 3 Abs.5,6 der Klärschlammverordnung stellen Ph-Wert, Schwermetalle, AOX, PCB, PAK und Nährstoffe sowie bakteriologische Parameter (Coliforme Bakterien, Escheria coli, Enterokokken, Pseudomonas, aeroginosaud Clostridium perfinges) die zu untersuchenden Eigenschaften dar.

Juni 2011

Nachdem die Laborergebnisse die Grenzwerteinhaltung des Klärschlammkomposts bestätigten und der bislang unbehandelte Boden untersucht wurde, kann Frau Matthias mit der Ausbringung beginnen. Das Umweltamt weist sie auf die Pflicht hin, unter anderem jeweils den Tag und die Menge des aufgebrachten Klärschlammkomposts zu dokumentieren.

1.3 gesetzliche Vorgaben

Nach der Brandenburgischen Kommunalabwasserverordnung (BbgKAbwV) §4 (2)
Ist die Installation einer Pflanzenkläranlage möglich, wenn sie aus Sicht der Kommune finanziell und ökologisch gegenüber dem Anschluss an die Kanalisation nicht nachteilig ist.
Die mögliche eigene Verwendung der anfallenden Klärschlämme regelt die Klärschlammverordnung (AbfKlärV), die zuletzt im Februar 2012 aktualisiert wurde.
Da es das erklärte Ziel der Familie Matthias ist, im Sinne einer Kreislaufwirtschaft den eigenen Acker mit Klärschlämmen zu düngen, soll hier ein Überblick über die relevanten Vorgaben der AbfKlärV gegeben werden.

Voraussetzungen für das Aufbringen von Klärschlämmen auf landwirtschaftlich genutzten Böden ist das Unterschreiten festgeschriebener Grenzwerte sowohl im Boden als auch im Klärschlamm.
Es ist die Pflicht des Betreibers vor dem erstmaligen Ausbringen von Klärschlamm, den zu behandelnden Boden auf die Gehalte an Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink (AbfKlärV §3 (2)) sowie den pH-Wert, den Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphat, Kalium und Magnesium (AbfKlärV §3 (4)) untersuchen zu lassen und zu finanzieren.
Ferner muss der Klärschlamm im Abstand von längstens sechs Monaten auf seine Gehalte an Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink, auf die Summe der organischen Halogenverbindungen als adsorbierte organisch gebundene
Halogene (AOX), Gesamt- und Ammoniumstickstoff, Phosphat, Kalium, Magnesium sowie den Trockenrückstand (TS), die organische Substanz, die basisch wirksamen Stoffe und den pH-Wert hin beprobt werden (AbfKlärV §3 (5)).
Zusätzlich ist der Klärschlamm vor dem Aufbringen und anschließend mindestens alle zwei Jahre auf die Gehalte an den organisch-persistenten Schadstoffen polychlorierte Biphenyle und polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane zu überprüfen (AbfKlärV §3 (6)).
Nach Absatz §3 (9) AbfKlärV können für KKA unter 1000 Einwohner einige Untersuchungen nach den Absätzen 3 -6 durch das Amt bei Bedarf angeordnet wegfallen.

§ 7 AbfKlärV regelt die Nachweispflichten des Betreibers der Klärschlammanlage. Im Falle der eigenen Ausbringung ist das wenigstens das Datum der Ausbringung zwei Wochen im Vorfeld der unteren Abfallwirtschafts- und Bodenschutzbehörde mitzuteilen; die Menge und der Zeitpunkt des ausgebrachten Schlammes sind zu dokumentieren.

In Tabelle 1 sind die einzuhaltenden Grenzwerte der Schadstoffe [mg/kg TS] dargestellt.

Tabelle 1: Grenzwerte nach AbfKlärV

Schwermetalle	Boden in xg/kg	5<pH<6	Klärschlamm	5<pH<6
Blei	100		900	
Cadmium	1,5	1	10	5
Chrom	100		900	
Kupfer	60		800	
Nickel	50		200	
Quecksilber	1		8	
Zink	200	150	2500	2000
organische Schadstoffe	Boden		Klärschlamm	
Polychlorierte Biphenyle PCB, je Komponente			0,2	
Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF)			0,0001	
Organische Halogenverbindungen (AOX)			500	

LfL 2006, abgeändert nach §4 (8) AbfKlärV, §4 (10), §3 (4)

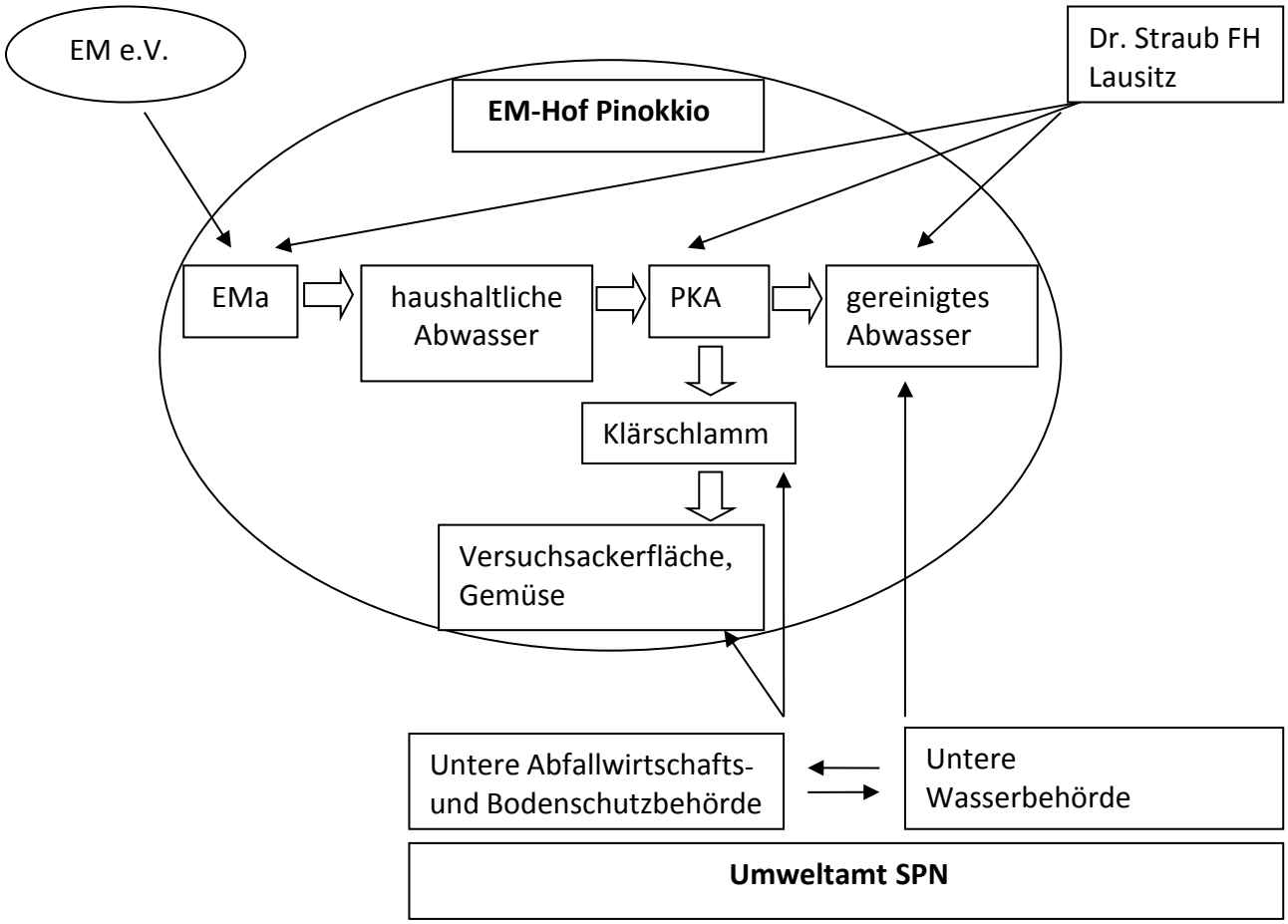
Nach §3 (9) ist das Aufbringen von Klärschlämmen auf Böden mit einem pH- Wert von unter fünf nicht gestattet. Begründet wird dies mit der erhöhten Mobilität von Cadmium im sauren Bodenmillieu. Der pH- Wert des Bodens kann allerdings durch eine Aufkalkung vor der Klärschlammausbringung erhöht werden.
Vor dem Hintergrund des formulierten Ziels der Familie Matthias, den eigenen Klärschlamm auf dem eigenen Acker zu nutzen ist der §4 (2) der AbfKlärV von zentraler Bedeutung:

> Das Aufbringen von Klärschlamm auf Gemüse- und Obstanbauflächen ist verboten. Auf Ackerflächen, die auch zum Anbau von Feldgemüse genutzt werden, ist im Jahr der Aufbringung des Klärschlammes und dem darauf folgenden Jahr der Anbau von Feldgemüse verboten.

1.4 Motivation/ Zielsetzung

Es handelt sich um ein Experiment, dass von mehreren Parteien mit unterschiedlichen Zielsetzungen verfolgt wird. Um die Interessen aller beteiligten Parteien besser nachvollziehen zu können, sind sie daher in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt.

Abbildung 3: Schema der Interessenslagen



eigene Bearbeitung

Das Interesse der Unteren Abteilung der Abfallwirtschafts- und Bodenschutzbehörde liegt in dem Verhalten des Bodens während und vor allem nach fünfjähriger Klärschlammausbringung – welche Bodeneigenschaften verändern sich und welche Rückschlüsse können auf den zukünftigen Verlauf bei weiterer Klärschlammausbringung gezogen werden? Warum ausgerechnet der EM- Hof Pinokkio das Interesse des Amtes an einer experimentellen Untersuchung geweckt hat, dürfte einerseits an die Beharrlichkeit der Betreiberfamilie und andererseits an der Möglichkeit liegen, ein eingerichtetes Versuchsbeet

mit Gemüseanbau zu untersuchen. Die enge Beobachtungdichte des Amtes rechtfertigt eine Ausnahme des §4 (2) AbfKlärV.
Die untere Wasserbehörde wird jährlich über die Ergebnisse der Abwasserqualitätskontrollen informiert. Das Interesse von Fr. Dr. Straub richtet sich auf die Betrachtung des Einflusses der EM auf den Klärprozess.
Das Interesse der Familie Matthias ist auf lange Sicht sicherlich eine Erlaubnis der Klärschlammausbringung auch nach Ende der Versuchszeit zur Vertiefung ihrer autarken Lebensweise und die Nutzung der Ergebnisse des Experimentes zur Öffentlichkeitsarbeit über ihren Lebenswandel mit dem Schwerpunkt Selbstversorgung und EM.
Der Verein EM e.V tritt als Sponsor mit wissenschaftlichem Interesse an EM- bezogenen Ergebnissen auf.
Ziel dieser Arbeit ist das Sichten aller bisherigen Geschehnisse, Überlegungen, Vorhaben usw., um mögliche Unstimmigkeiten zu finden und in Zukunft zu verbessern.
Die leitende Frage lautet: Wie soll dieses Projekt bis Ende 2015 weitergeführt werden, sodass eine sinnvolle wissenschaftliche Auswertung erfolgen kann?
Zusätzlich soll ein erster Versuch einer Zwischenbilanzierung gewagt werden, bei dem die bisherigen Werte vergleichend eingeordnet werden sollen.
Ein Beitrag zum Verständnis der klärschlammbedingten Bodenveränderungen trägt zur Regelung des Konflikts der Klärschlammnutzung bei und schafft erste Grundlagen für eine eventuelle Anpassung der AbfKlärV für KKA.

1.5 Böden am Standort

Basierend auf der bodenkundlichen Übersichtskarte des Landkreises SPN befindet sich der EM- Hof Pinnokio nahe einem Übergang zweier Leitbodengesellschaften. Die Hofgebäude und die PKA werden den Böden aus deluvialem Sand, das Versuchsbeet den Böden aus Sand zugeordnet. Letztere entstanden aus glazialen Sedimenten mit anschließender periglazialer Überprägung und treten meist als podsolige Braunerden und Podsol-Braunerden auf.
Um den Chemismus des Bodentyps am Standort des Versuchsbeetes besser einordnen zu können, seien folgend die Hintergrundwerte der Leitbodengesellschaft aufgelistet.

Tabelle 2: 50er Perzentile der Hintergrundwerte der Leitbodengesellschaft 4.2

4.2	Böden aus Sand		O – Horizont	A – Horizont	B - Horizont	C - Horizont
Parameter	Einheit	NWG				
Trockenrückstand TR	Ma.-%	-	52,5	90,2	97,5	98
TOC	Ma.-%	0,10	21	4,55	0,4	0,099
Gesamt Stickstoff	mg/kg TR	100,00	16000	2300	170	99
Chrom	mg/kg TR	1,00	5,585	5,2	4,65	3,48
Zink	mg/kg TR	1,00	54,9	13,35	9,07	6,09
Mangan	mg/kg TR	1,00	188,5	40,85	26,5	23
Eisen	mg/kg TR	1,00	1655	4970	2670	2080
Nickel	mg/kg TR	0,10	4,6	3,04	2,96	2,32
Kupfer	mg/kg TR	0,10	10,4	5,07	0,94	0,96
Aluminium	mg/kg TR	0,10	1335	2835	4160	2540
Arsen	mg/kg TR	0,10	4,97	6,86	3,72	2,99
Blei	mg/kg TR	0,20	14,8	33,4	5,95	2,16
Cadmium	mg/kg TR	0,02	0,405	0,06	0,02	0,019
Quecksilber	mg/kg TR	0,05	0,135	0,09	0,05	0,049
Cobalt	mg/kg TR	0,02	4,9	0,95	0,86	1,23
Antimon	mg/kg TR	0,02	0,51	0,57	0,08	0,03
Molybdän	mg/kg TR	0,05	0,54	0,36	0,08	0,06
Zinn	mg/kg TR	0,05	0,86	1,5	0,25	0,2
Calcium	mg/kg TR	1,00	3400	383	151	111
Magnesium	mg/kg TR	1,00	370,5	292,5	255	225
Natrium	mg/kg TR	1,00	59,1	27,1	19,6	27,5
Kalium	mg/kg TR	1,00	546	218,5	219	257
Phosphor	mg/kg TR	1,00	674,5	166	126	64,7
Summe PAK (EPA)	mg/kg TR	0,10	0,799	0,659	0,514	0,514
pH- Wert	-	0,10	4,93	4,815	5,26	5,18
Temperatur (pH- Mess.)	°C	-	22,5	22,75	22,5	22,6
elektr. Leitfähigkeit bei 25°C	µS/cm	10,00	167,5	27	15	14
Chlorid	mg/l	1,00	7,3	0,99	0,99	0,99
Sulfat	mg/l	1,00	7,05	1,4	1,9	3,1

Grau hervorgehoben sind die Parameter, nach denen auch der Boden und der Klärschlamm des EM- Hofs Pinokkio analysiert werden.

Anstelle von Phosphor Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium wurden bei dem Projekt deren Oxide (Phosphoroxid usw.) untersucht. Rot hervorgehoben sind Stickstoff, Phosphor und Kalium (NPK), die die Hauptbestandteile in Düngemitteln darstellen.

Stand der Forschung

Um die bis Ende 2013 durchgeführten Untersuchungen mit dem aktuellen Wissensstand vergleichen zu können, weitere angedachte Untersuchungen vor diesem Hintergrund zu entwickeln und Erwartungen zu formulieren, werden im Folgenden relevante Forschungsergebnisse dargestellt.

Schwermetalle

Die Gehalte an Blei, Cadmium, Chrom, Hg, Zink in Klärschlämmen sind seit 1984 rückläufig, wobei sich die Abnahmegeschwindigkeit mit der Zeit verlangsamt hat. Nickel und Kupfergehalte in Klärschlämmen sind nahezu konstant. Eine Anreicherung von Schwermetallkonzentrationen im klärschlammgedüngten Boden ist wahrscheinlich, wenn deren Gehalte im Klärschlamm die Hintergrundwerte übersteigen und/ oder aus die organischen Bestandteile des Klärschlamms besonders stark mineralisiert werden. Die Zink, Kupfer, Cadmium und Quecksilber Gehalte im Klärschlamm übersteigen in der Regel die Hintergrundwerte der Böden (LfU 2003, S. 14).

Da Schwermetalle ubiquitär verbreitet sind, sind Eintragspfade schwer voneinander abzugrenzen. Als Quellen kommen neben der Klärschlammausbringung u.a. auch die atmosphärische Deposition sowie Mineraldüngereinsatz in Frage. Die Nachbarschaftlichen Verhältnisse spielen demnach durchaus eine Rolle (LfU 2003, S. 76).

In einer österreichischen Untersuchung zu verschiedenen Düngevarianten konnten für keines der Schwermetalle bedenkliche Erhöhungen festgestellt werden. Allerdings wurde auf die Quecksilberuntersuchung bei den klärschlammgedüngten Versuchsparzellen aus unbekannten Gründen verzichtet (Hyll, A. & O. Nestrow 1992, S.95f).

Quecksilber kommt aufgrund des Ausgangsgesteins oder atmosphärischer Deposition in verschiedenen Formen (metallisch, anorganisch, organisch) in geringen Konzentrationen auf natürliche Weise in Böden vor. Ob natürlich oder anthropogen durch Klärschlammausbringug oder Verbrennungsprozesse eingetragen, Quecksilber ist immer toxisch. An Kohlenstoff gebundenes organisches Quecksilber, wie das durch Mikroorganismen produzierte Methylquecksilber, ist gut fettlöslich und reichert sich leicht in der Nahrungskette an (Das Land Steiermark 2007, S. 32f).

Bei der Aufnahme von Hg durch den Menschen stellt der Verzehr von Gemüse nach Meeresfischen und Zahnfüllungen aus Amalgam den drittbedeutendsten Pfad dar. Daher sind strenge Grenzwerte nur folgerichtig.
Untersuchungen haben gezeigt, dass die Aufnahme von Hg durch die Pflanzen hauptsächlich luftbürtig erfolgt, die Wurzeln dagegen eher als Barriere gegenüber der weiteren Verteilung in den Pflanzenorganen wirken. Allerdings treten nach der Klärschlammausbringung durch Ausgasungsvorgänge von Hg aus dem Boden nachweislich erhöhte Hg Gehalte in der bodennahen Luftschicht auf, die die oberirdischen Pflanzenteile belasten.
Ab einem pH Wert von unter 4 wird Quecksilber im Boden mobil (Das Land Steiermark 2007, S.34f).

AOX

Der Summenparameter AOX wurde 1992 in die AbfKlärV zu Kontrollzwecken einer Stoffgruppe aufgenommen, die durch ihr unnatürliches Vorkommen als „prioritäre[…] Umweltschadstoffe“ (Universität Oldenburg, ohne Jahr, S. 9) erkannt wurden. Die Bindung von Halogenen an organische Moleküle bedeutet meist eine erhöhte Toxidität durch mutagene und kanzerogene Wirkungen (Universität Oldenburg, ohne Jahr, S. 46).
Das Gefährdungspotential von AOX für den Menschen liegt in der Lipophilität und damit bedingten Anreicherung in der Nahrungskette. Durch ihre hohe Persistenz sind sie zudem leicht akkumulierbar (Universität Oldenburg, ohne Jahr, S. 9).
Organohalogenverbindungen können natürlich gebildet (Vulkanausbrüche, Bildung durch Meeresalgen oder künstlich synthetisiert (Papier-, Textil-, Metallindustrie, Chlorbleiche,) werden. Der Eintrag durch die Landwirtschaft (Pestizide, Wuchsstoffe, Klärschlamm) gilt als bedeutende Quelle (Universität Oldenburg, ohne Jahr, S. 19ff).
Als weitere Eintragspfade in den Boden kommen die Auswaschung aus der Atmosphäre sowie der Oberflächenabfluss in Frage.
Die Mobilität und das Verhalten im Boden sind stark von den Bodeneigenschaften und den jeweiligen Kongenere abhängig. Für die Intensität der Verlagerung im Boden ist hauptsächlich Sickerwasser (Bodenwassersättigung) bestimmend. Es wird von vertikalen Verlagerungsgeschwindigkeiten im Boden von drei Metern pro Jahr berichtet (Universität Oldenburg, ohne Jahr, S. 25ff).

PAK

Polyzyklische aromatisierte Kohlenwasserstoffe sind biogenen, geogenen oder anthropogenen Ursprungs und als organische Kohlenwasserstoffe durch mindestens zwei Benzolringe charakterisiert. Ex existiert eine große Zahl an Einzelverbindungen, deren toxische Wirkungen maßgeblich von der Ringzahl und den Substituenten bestimmt werden. Sie sind generell gering wasserlöslich und werden daher im Oberboden, an organischem Material gebunden, angereichert.

Ihre hohe biologische Persistenz gilt bezogen auf ihre mutagene und kanzerognene Wirkung problematisch (Ritschel 2006, S.25ff)

Die Hauptquellen der PAK sind Verbrennungsvorgänge fossiler Energieträger, Verbrennungsmotoren, Müllverbrennung, Tabakrauch, Teer usw. (Ritschel 2006, S.28).

Ein Transfer in die Pflanze kann durch Bodenluft, bodennahe Luft oder der Bodenlösung in Wurzeln oder oberirdische Pflanzenteile gelangen. Das Trennen oder Gewichten der Eintragspfade Boden- Wurzel- Pflanze/ Luft- Pflanze ist schwierig. Einfluss nehmen die Pflanzenart, die klimatischen Verhältnisse (Wachstumsgeschwindigkeit). Wurzelgemüse wird stärker belastet als Blattgemüse. Die Bodenart spiele eine untergeordnete Rolle (Ritschel 2006, S.31ff).

Summe PCB (6)

Polychlorierte Biphenyle deren Phenylringe Chloratome binden können wurden in der Umwelt bereits in Form von ca. 100 verschiedenen Einzelsubstanzen nachgewiesen.

Um Ihre Verbreitung und Konzentration in der Umwelt nachvollziehen zu können, wurden aus analytischen Gründen sechs stellvertretende Kongenere ausgewwählt und bilden den Summenparameter PCB(6). PCB werden bei Verbrennungsprozessen und aufgrund ihrer Eigenschaften, wie ihrer Temperaturstabilität und geringen elektrischen Leitfähigkeit bei diversen industriellen Anwendungen freigesetzt (Ritschel 2006, S.41).

Mit zunehmendem Grad der Chlorierung steigt die Fettlöslichkeit sowie die Persistenz; die Wasserlöslichkeit, Reaktivität und Flüchtigkeit nehmen ab. Höherchlorierte PCB können Halbwertszeiten von über einem Jahr erreichen. Bei niedrigen pH Werten und hohen Humus- und Eisenoxidgehalten ist die Sorption im Oberboden erhöht (Ritschel 2006, S.39f).

Eine kanzerogene Wirkung ist bislang heftig umstritten: die gentoxische Wirkung sowie der Einfluss auf das enzymatische und endokrine System sind durch Studien gefestigt. Obgleich

keine akute Toxidität vorliegt, besteht die schwer abschätzbare Gefahr der Langzeitexposition (Ritschel 2006, S.40f).

Die Mobilität der organischer Schadstoffe (AOX, PAK, PCB) ist einerseits abhängig von den Eigenschaften der jeweiligen Kongenere sowie den Bodeneigenschaften.
Ein hoher Anteil organischer Substanz im Oberboden führt zur erhöhten Sorbtion der hydrophoben Substanzen und verringert damit ihre Mobilität. Je höher die Porösität und die Gehalte an sogenannten DOC (disolved organic components) als Lösungsvermittler, desto größer ist die Mobilität. Besonders Böden mit schnellen Streuabbauraten weisen hohe DOC-Gehalte auf. Im Grundwasser konnten bislang, außer bei Starkregenereignissen nur kurzkettige organische Schadstoffe nachgewiesen werden (LfU 1998, S.219).

BSB5 biologische Sauerstoffbedarf

Die Menge an Sauerstoff [mg/l], die innerhalb von 5 Tagen bei 20 °C durch Bakterien und Kleinstlebewesen beim aeroben Abbau der Wasserinhaltsstoffe verbraucht wird. Damit ist der BSB5 ein Summenparameter der biologisch abbaubaren organischen Wasserinhaltsstoffe und gibt die organische Gewässerbelastung an (IUV, ohne Jahr).

CSB chemischer Sauerstoffbedarf

„Maß für die Summe aller organischen Verbindungen im Wasser, einschließlich der schwer abbaubaren:“ Damit ermöglicht er im Abgleich mit dem BSB5 Aussagen über das Verhältnis zwischen leicht abbaubaren und persistenten organischen Schadstoffen und über die Reinigungsleistung einer Kläranlage. Bei häuslichen Abwässern ist der CSB doppelt so hoch zu erwarten, wie der BSB5 (IUV, ohne Jahr).

NH4-N Ammoniumstickstoff

muss für eine Kläranlage dieser Größenordnung nicht untersucht werden, da sie unter die Größenklasse 1 (kleiner als 60kg/d) fällt (AbwV, Anhang 1).

Effektive Mikroorganismen

Für ihr Forschungsprojekt „Untersuchung zur Wirkung effektiver Mikroorganismen bei der Abwasserreinigung“ verglich Dr. Straub von der FH Lausitz unter Laborbedingungen die Zu- und Ablaufwerte einer Klärversuchsanlage mit Zugabe von EMa sowie einer Referenzklärversuchsanlage. Sie gelangte zu dem Ergebnis, dass die Zugabe von EMa eine erhöhte Schlammproduktion bedingt, da möglicherweise im Vorhinein Mikroorganismen im Zulauf nicht ausreichend vorhanden waren und somit der Sauerstoffbedarf geringer ausfiel.
Die Zugabe von EMa bei steigenden Konzentrationen erhöhe außerdem die Kohlenstoffparameter BSB5 und CSB beim Zulauf annähernd proportional gegenüber einer Referenzkläranlage. Gleichzeitig übertreffe aber die Abbaurate dieser Parameter der EMa Versuchsanlage die der Referenzanlage, was den Schluss nahe legt, dass die EM eine positive Wirkung auf den Klärprozess haben und damit die Belastung des gereingten Abwassers mit organischen Schadstoffen verringert wird.
Effekt bei der Abwasserreinigung ist also eine Reduzierung von BSB5 CSB, NH4-N, auf der anderen Seite aber auch eine Verringerung von P und N (Straub, S.11ff).
Ein weiterer positiver Nebeneffekt bei der Abwasserbehandlung mit effektiven Mikroorganismen ist eine deutliche Geruchsminimierung, die auch bei der Abwasserbehandlung im Kanalnetz und einer KKA in Mackay (Australien) nachgewiesen wurde (Straub, S.7f). Des Weiteren konnte eine Verminderung der Keimbelastung durch E.coli nachgewiesen werden.
In einer japanischen Kläranlage in Okinawa konnte die Belüftungssituation durch die Zugabe von EM deutlich verbessert und Energiekosten gespart werden, die Reinigungskosten verringerten sich. Eine Kläranlage bei Peilstein konnte Ablaufwerte um mind. 20% verbessern und Rohrleitungen schonen. In Petershagen verringerte sich die Überschussschlammenge.
Es konnten keine negativen Auswirkungen der EM Anwendung auf den Chemismus des Schlamms nachgewiesen werden (Heinrich 2011, S.29f).
Welche Umstände bei der Forschung von Dr. Straub im Labor zu einer Schlammmengenerhöhung und bei der Petershagener Kläranlage zu einer Reduktion geführt haben, bleibt an der Stelle unklar. Es wurden verschiedene EM Präparate genutzt.

Veränderungen der physikalischen Bodeneigenschaften durch Klärschlamm

Untersuchungen zu langjährigen Klärschlammanwendungen auf und in Böden zu verschiedenen Zwecken wie Erosionsschutz, Rekultivierung, Abdichtung gegen Sickerwasser und natürlich in der Landwirtschaft haben eine Reihe von Bodenveränderungen dokumentiert. Es sei darauf hingewiesen, dass Ergebnisse nur schwer übertragbar sind, da die Verschiedenartigkeit der Böden, Klimas, Topographie, vor allem Landnutzung usw. großen Einfluss übt (SEPA 2008, S. 2).

In einer Untersuchung über den Einfluss von Klärschlammkompost auf die Sickerwassermengen einer Kulturschicht kam das Lehr- Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein zu dem Ergebnis, dass durch die Beimischung von KSK. eine Verringerung der Sickerwassermengen erreicht wurde, da im Oberboden mehr Wasser zurückgehalten wird und die Biomasse und damit das Wurzelwachstum positiv reagiert haben (Raumberg- Gumpenstein 2011, S. 221f)

An anderer Stelle wird ein positiver Einfluss auf die Aggregation beschrieben, vor allem durch die Erhöhung der Grobporenfraktionen. Regenwürmer sowie Mikroorganismen sind die Profiteure und wirken aggregatstabiliesierend. Es konnten mehr Huminstoffe nachgewiesen werden, was allerdings zeitlich begrenzt ist und mit zunehmender Klärschlammgabe deutlicher wird (Lebensministerium.at 2006, S. 96f).

Die Forschung zum Thema Erosionsschutz bestätigt eine verringerte Lagerungsdichte und verbesserte Aggregatstrukturen, wodurch Bodenerosion und Bodenverdichtung vermindert werden (Lebensministerium.at 2006, S. 102f) .

Bei einer anderen Versuchsanordnung wurde eine Steigerung von DOC und generell von organischem Material festgestellt (Agriculture, Ecosystems and Enviroment 2012, S. 41ff).

Untersuchungen in der Steiermark konnten nachweisen, dass sowohl die mikrobielle Diversität als auch deren Aktivität gesteigert werden konnte (Fuchs, Bieri, Chardonnens 2004, S.19f). Bestätigung der Verbesserten mikrobiellen Verhältnisse nach Klärschlammanwendung (De Brouwere 2006, S, 68).

Die als unbedenklich eingeschätzten Schwermetallkonzentrationen nach mehrjähriger Klärschlammausbringung werden von den Untersuchungen spanischer Böden bestätigt (Agriculture, Ecosystems and Enviroment 2012, S. 41ff).

2.1 Hypothesen

Für das Versuchsbeet des EM Hofs Pinokkio werden wahrscheinlich keine Grenzwertüberschreitungen zu beobachten sein. Der schadstoffreduzierte Eintrag in die PKA ließe im Vergleich mit anderen kommunalen Abwässern eine geringere Schadstoffanreicherung erwarten. Zusätzlich sind die Aufbringungsmengen sind geringer und nach bisherigen Untersuchungen proportional zu beobachteten Veränderungen.

Bei einer Pflanzenkläranlage mit EM- Einsatz und ökologisch bewusstem Einsatz von Haushaltsmitteln dürften Bakteriologische Parameter ebenso wie die Belastung mit organischen Schadstoffen gering ausfallen.

Als mögliche Bodenveränderungen sind in Hinblick auf vorangegangene Forschungen in Bereichen der Mächtigkeit der Humusschicht, der Transmissivität, Porösität, Durchlüftung, Aggregation und des Edaphons Bodenverbesserungen zu erwarten.

3. vorläufige Daten und Methoden

Das Versuchsbeet von 20 m² ist so angelegt, dass es in zwei ungefähr gleichgroße Flächen eingeteilt ist. Auf der mit Klärschlamm behandelten wird Gemüse angebaut wird und die Referenzfläche bleibt unbehandelt und wird nicht bepflanzt.

Alle Beprobungen mit Ausnahme des unbehandelten Bodens werden einmal jährlich durchgeführt. Die Boden-, Klärschlamm- und Gemüseproben werden nach denselben Parametern untersucht.
Das gereinigte Abwasser wird nach der Trinkwasserverordnung auf die Parameter BSB5, CSB und NH4-N untersucht.
Nach AbfklärV §3 (9) ist es in diesem Falle von Seiten des Amtes nicht als nötig erachtet worden, Untersuchungen nach Absatz 6 zum Nachweis von polychlorierte Biphenyle und polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane durchzuführen. Allerdings wird der Absatz 9 zur zusätzlichen Untersuchung der PAK angewendet, für die die AbfklärV keine Grenzwerte vorgibt.
Überlegungen, die Substrate auf umweltrelevante hormonell aktive (endokrine) Substanzen sowie Arzneimittelrückstände zu testen beruhen auf neuen Erkenntnissen bezüglich ihres Gefährdungspotenzials und ihrer Nachweisbarkeit. Gerade für technische Großkläranlagen entstehen dabei neue Herausforderungen, die neue Lösungsstrategien erfordern (BUND 2005, S.7f). Bei der zu untersuchenden PKA des EM- Hofs Pinokkio sind hingegen weder endokrine noch human- oder tiermedizinische Schadstoffe im Klärschlamm zu erwarten, da solche im Haushalt der Familie nicht verwendet werden.
Bis auf die Abwasseruntersuchung und Schlammspiegelmessung durch die Umwelt und Analyse GmbH Guben (UCGmbH)
wurden die Probenahmen und Laboranalysen durch die LAG (Lausitzer Analytik GmbH) durchgeführt.
Die Einschätzung der Ausbringungsmenge sowie das Ausbringungsdatum des Klärschlamms wurde durch die Hofbesitzerin mitgeteilt. In gegenseitiger Übereinkunft wurde sich darauf geeinigt, dass Volumen von zwei Schubkarren ca. 75 kg entsprechen.
Beginnend mit 2011 bis Ende 2013 liegen folgende Untersuchungsergebnisse vor.

Tabelle 3: Bisherige erhobene Daten

Jahr/ Gegenstand	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Boden, behandelt	-	-	*29.05. 201207933*	*6.5. 201307955*
Boden unbehandelt	-	*2.5. 201104891*	-	22.10. ?[1]
Klärschlamm	-	*2.5. 201104890*	?[2]	*06.05. 201307956*
Menge Schlamm	-	*2.5.* 75 kg	*12.06.* 75 kg	10.06. 112,5 kg[3]
Schlammspiegel	25.11. 15 cm	21.09. 0 cm	16.11. 20 cm	?[4]
Abwasser	251/10 25.11.	182/11 21.09.	250/12 16.11.	?[5]
Gemüse	-	-	*17.10 201216087/8*	22.10. ?[6]

,

Tabelle 4: Ablaufleistung der PKA

Parameter	Analysemethode	Dimension	25.11.2010	21.09.2011	16.11.2012	2013
CSB	DIN ISO 15705	mg/ml	45	26	29	?
BSB5	DEV H 55	mg/ml	5	<3	<3	?
NH4-N	-	-	-	-	-	-

[1] Ergebnisse liegen noch nicht vor
[2] 2012 wurde Klärschlamm ausgebracht aber nicht untersucht
[3] Aufnahme von „Woofern“ über mehrere Monate
[4] Termin in Planung
[5] Termin in Planung
[6] Ergebnisse liegen noch nicht vor

2011	Untersuchung-parameter	Dimension	Prüfmethode	Analysenwert Boden	Analysenwert Klärschlamm-kompost	Analysenwert Gemüse
	pH- Wert Schlamm		DIN EN 12176	4,78	6,54	-
	Trockenrückstand	Ma.-%	DIN EN 12880	90,4	20,4	-
	Ammonium-N	mg/kg TR	SAA 509	14	1700	-
	Königswasseraufschluss		DIN EN 13346			-
	Blei	mg/kg TR	DIN EN 11885	15,3	13,3	-
	Cadmium	mg/kg TR	DIN EN 11885	0,14	0,49	-
	Chrom, gesamt	mg/kg TR	DIN EN 11885	7,54	10,0	-
	Kupfer	mg/kg TR	DIN EN 11885	6,17	135	-
	Nickel	mg/kg TR	DIN EN 11885	3,34	9,63	-
	Quecksilber	mg/kg TR	DIN EN 1483	<0,1	0,27	-
	Zink	mg/kg TR	DIN EN 11885	40,4	821	-
	Phosphoroxid	mg/kg TR	DIN EN 11885	1450	2960	-
	Magnesiumoxid	mg/kg TR	DIN EN 11885	899	1810	-
	Calciumoxid	Ma.-% TR	DIN EN 11885	2140	27400	-
	Kaliumoxid	mg/kg TR	DIN EN 11885	1670	1600	-
	AOX	mg/kg TR	DIN 38414-S18	24	78	-
	Gesamt-Stickstoff	mg/kg TR	DIN ISO 11261	1500	2500	-
	Ultraschall-Extraktion		SAA 320			-
	Naphtalen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,050	0,065	-
	Acenaphthylen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,20	<0,20	-
	Acenaphthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	<0,030	-
	Fluoren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	<0,030	-
	Phenanthren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	0,065	-
	Anthracen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,010	0,010	-
	Fluoranthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,058	0,030	-
	Pyren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,044	0,044	-
	Benzo(a)anthracen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	<0,030	-
	Chrysen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,034	<0,030	-
	Benzo(b)fluoranthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,039	<0,030	-
	Benzo(k)fluoranthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,016	<0,010	-
	Benzo(a)pyren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	<0,030	-
	Dibenzo(a,h)anthracen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	<0,030	-
	Benzo(g,h,i)perylen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	<0,030	-
	Indenopyren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,050	<0,050	-
	Summe PAK (EPA)	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,19	0,21	-
	Summe PCB (6)	mg/kg TR	DIN ISO 10382	<0,020	<0,020	-

2012	Untersuchung-parameter	Dimension	Prüfmethode	Analysenwert Boden	Analysenwert Klärschlamm-kompost	Analysenwert Gemüse	
						Grünkohl	Rote Beete
	pH- Wert Schlamm		DIN EN 12176	4,82	-	-	-
	Trockenrückstand	Ma.-%	DIN EN 12880	94,2	-	22,7	18,2
	Ammonium-N	mg/kg TR	SAA 509	<10	-	-	-
	Königswasseraufschluss		DIN EN 13346		-	-	-
	Blei	mg/kg TR	DIN EN 11885	16,4	-	<1	<1
	Cadmium	mg/kg TR	DIN EN 11885	0,26	-	0,21	0,18
	Chrom, gesamt	mg/kg TR	DIN EN 11885	9,58	-	<0,5	<0,5
	Kupfer	mg/kg TR	DIN EN 11885	8,78	-	3,54	2,77
	Nickel	mg/kg TR	DIN EN 11885	6,45	-	<0,5	<0,5
	Quecksilber	mg/kg TR	DIN EN 1483	<0,1	-	0,97	<0,1
	Zink	mg/kg TR	DIN EN 11885	37,6	-	41,8	31,1
	Phosphoroxid	mg/kg TR	DIN EN 11885	1430	-	-	-
	Magnesiumoxid	mg/kg TR	DIN EN 11885	1330	-	-	-
	Calciumoxid	Ma.-% TR	DIN EN 11885	0,219	-	-	-
	Kaliumoxid	mg/kg TR	DIN EN 11885	1200	-	-	-
	AOX	mg/kg TR	DIN 38414-S18	45	-	-	-
	Gesamt-Stickstoff	mg/kg TR	DIN ISO 11261	1500	-	-	-
	Ultraschall-Extraktion		SAA 320		-	-	-
	Naphtalin	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,050	-	-	-
	Acenaphthylen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,20	-	-	-
	Acenaphthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	-	-	-
	Fluoren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	-	-	-
	Phenanthren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	-	-	-
	Anthracen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,010	-	-	-
	Fluoranthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,11	-	-	-
	Pyren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,11	-	-	-
	Benzo(a)anthracen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,054	-	-	-
	Chrysen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,056	-	-	-
	Benzo(b)fluoranthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,079	-	-	-
	Benzo(k)fluoranthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,037	-	-	-
	Benzo(a)pyren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,050	-	-	-
	Dibenzo(a,h)anthracen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	-	-	-
	Benzo(g,h,i)perylen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	-	-	-
	Indenopyren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,050	-	-	-
	Summe PAK (EPA)	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,55	-	-	-
	Summe PCB (6)	mg/kg TR	DIN ISO 10382	<0,02	-	-	-

2013	Untersuchung-parameter	Dimension	Prüfmethode	Analysenwert Boden	Analysenwert Klärschlamm	Analysenwert Gemüse
	pH- Wert Schlamm		DIN EN 12176	5,07	6,00	-
	Trockenrückstand	Ma.-%	DIN EN 12880	83,5	15,6	-
	Ammonium-N	mg/kg TR	SAA 509	43	220	-
	Königswasseraufschluss		DIN EN 13346	-	-	-
	Blei	mg/kg TR	DIN EN 11885	14,1	19,2	-
	Cadmium	mg/kg TR	DIN EN 11885	0,26	1,38	-
	Chrom, gesamt	mg/kg TR	DIN EN 11885	7,40	15,5	-
	Kupfer	mg/kg TR	DIN EN 11885	7,15	96,8	-
	Nickel	mg/kg TR	DIN EN 11885	2,98	13,3	-
	Quecksilber	mg/kg TR	DIN EN 1483	<0,1	0,14	-
	Zink	mg/kg TR	DIN EN 11885	35,9	529	-
	Phosphoroxid	mg/kg TR	DIN EN 11885	1490	9200	-
	Magnesiumoxid	mg/kg TR	DIN EN 11885	1850	1610	-
	Calciumoxid	Ma.-% TR	DIN EN 11885	2700	14900	-
	Kaliumoxid	mg/kg TR	DIN EN 11885	687	765	-
	AOX	mg/kg TR	DIN 38414-S18	17,0	59,0	-
	Gesamt-Stickstoff	mg/kg TR	DIN ISO 11261	2000	35000	-
	Ultraschall-Extraktion		SAA 320	-	-	-
	Naphtalin	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,050	0,15	-
	Acenaphthylen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,20	<0,20	-
	Acenaphthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	0,047	-
	Fluoren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	0,067	-
	Phenanthren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,11	0,35	-
	Anthracen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,010	0,068	-
	Fluoranthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	0,055	-
	Pyren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,22	0,072	-
	Benzo(a)anthracen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,051	<0,030	-
	Chrysen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	<0,030	-
	Benzo(b)fluoranthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,057	<0,030	-
	Benzo(k)fluoranthen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,029	<0,010	-
	Benzo(a)pyren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,043	<0,030	-
	Dibenzo(a,h)anthracen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	<0,030	-
	Benzo(g,h,i)perylen	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,030	<0,030	-
	Indenopyren	mg/kg TR	DIN ISO 13877	<0,050	<0,050	-
	Summe PAK (EPA)	mg/kg TR	DIN ISO 13877	0,51	0,81	-
	Summe PCB (6)	mg/kg TR	DIN ISO 10382	<0,020	<0,020	-

3.1 Vorläufige Ergebnisse und Diskussion

Klärschlamm

Beim Vergleich der Werte der Klärschlammuntersuchungen von 2011 und 2013 zeigt sich eine Verringerung des pH- Wertes von 6,54 auf 6,0. Der Ammonium-N Gehalt sank von 1700 mg/kg TS auf 220 mg/kg TS.

Bezüglich der drei am meisten toxischen Schwermetalle, zeigen sich Anstiege des Blei- und Cadmium- sowie eine Verringerung des Quecksilbergehalts.

Bei den organischen Schadstoffen ist ein Anstieg des Summenparameters PAK um fast das Vierfache, eine Halbierung der AOX- Belastung und eine Stagnation der PCB- Werte zu erkennen.

Die Nährstoffe Gesamt- Stickstoff, Phosphoroxid und Kaliumoxid weisen starke Schwankungen ihrer Gehalte auf. Während sich der Kaliumoxidgehalt mehr als halbiert hat, weist der Gesamtstickstoffgehalt einen Anstieg von 2500 mg/kg TS auf 35000 mg/kg TS und Posphoroxid von 2960 mg/kg TS auch 9200 mg/kg TS auf.

Alle nach der AbfklärV gelisteten Grenzwerte werden deutlich unterschritten.

Boden

Die Entwicklung der Bodenparameter zwischen 2011 und 2013 zeigt einen Anstieg des pH-Wertes von 4,78 über 4,82 auf 5,07.

Die Schwermetallgehalte von Blei, Cadmium und Quecksilber zeigen keine Anreicherungstendenzen, ebensowenig wie die organischen Schadstoffe.

Während der Gesamtstickstoffgehalt von 1500 mg/kg TS auf 2000 mg/kg TS angestiegen und der Phosphoroxidgehalt in etwa konstant geblieben ist ging der Kaliumoxidgehalt in dem Zeitraum von 1670 mg/kg TS auf 687 mg/kg TS zurück.

Auch im Boden werden alle nach der AbfklärV gelisteten Grenzwerte werden deutlich unterschritten.

Der Abgleich mit den 50er Perzentilen der Hintergrundwerten der Leitbodengesellschaft 4.2 zeigt keine großen Überraschungen. Der niedrige pH- Wert ist charakteristisch. Die Werte der Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber sowie der polyzyklischen aromatisierten Kohlenwasserstoffe der Untersuchung der behandelten Böden aus 2013 unterschreiten gar die der Hintergrundwerte.

Geklärtes Abwasser

Bei den Ablaufleistungen der PKA sind keine Qualitätseinbußen zu verzeichnen. Die nach Anhang 1 der Abwasserverordnung (AbwV) festgesetzten Grenzwerte von 150 CSB und 40 BSB5 für häusliche Abwässer einer Kläranlage der Größenordnung 1 werden mit den Höchstwerten im Jahr 2010 von 45 CSB und 5 BSB5 weit unterschritten (AbwV, Anhang 1). Auffällig ist der im Verhältnis zum BSB5 sehr hohe chemische Sauerstoffbedarf. Es konnten keine Salmonellen oder andere bakteriologische Parameter nachgewiesen werden.

Die durchschnittlichen Werte organischer Schadstoffe für kommunale Klärschlamme in Deutschland liegen für PAK bei <5 mg/kg TS und für AOX bei 150-200 mg/kg TS. Die hier analysierten Werte von 0,81 mg/kg TS (PAK) und 59 mg/kg TS (AOX) im Jahre 2013 liegen demnach weit unterhalb dieses Durchschnitts (Ritschel 2006, S.52).
Über einen längeren Zeitraum sind Schadstoffanreicherungen aufgrund hoher relativer Aufbringungsmengen von 90kg/10m²*a dennoch nicht ausgeschlossen. In die gängige Maßeinheit von t/ha*a umgerechnet, werden auf dem Versuchsbeet des EM Hofs Pinokkio 9 t/ha*a ausgebracht. § 6 (1) AbfKlärV legt maximale Ausbringungsmenge von 5 t TS innerhalb von drei Jahren fest, die deutlich überschritten wird.

Da die Stickstoff- und Phosphorgehalte des Klärschlamms die des Bodens übertreffen und sich beide Gehalte im Boden zwischen 2011 und 2013 leicht erhöht haben kann eine verbesserte Versorgung des angebauten Gemüses mit Stickstoff und Phosphor vermutet werden.
Eine angestrebte mögliche Bodenverbesserung zeigt sich erst mit weiteren Untersuchungen.

4. Schwierigkeiten

In diesem Kapitel sollen Unstimmigkeiten im bisherigen Ablauf des Projekts EM- Hof Pinokkio stichpunktartig dokumentiert werden, da diese die Auswertbarkeit der Ergebnisse beeinflussen können.

- Das Einbringen von Klärschlämmen in Böden mit einem pH- Wert von unter 5 ist verboten. Zu Beginn der Ausbringung im Jahr 2011 und im folgenden Jahr lagen die pH- Werte bei 4,78 und 4,82. Begründet ist dieser Grenzwert mit einer erhöhten Mobilität von Cadmium im sauren Millieu.

- Im Jahr 2011 wurde die Mischprobe des Bodens bis 20 cm Tiefe entnommen, in den folgenden Beprobungen bis 40 cm. Durch die Eigenschaft der meisten Schadstoffe, überwiegend im Oberboden zu sorbieren, könnten verfälschte Schadstoffgehalte ermittelt werden.

- 2012 wurde Klärschlamm ausgebracht aber nicht untersucht.

- Wenige Meter von dem Versuchsbeet entfernt, wird konventionell Mais unter Einsatz aller gängigen Schadtstoffe angebaut

- Die Gemüseuntersuchungen der LAG (Lausitzer Analytik GmbH) für Grünkohl und Rote Beete im November 2012 wurden vom Dr. Christine Hanebeck, Fachbereich Landwirtschaft/ Veterinär- und Lebensmittelüberwachung, als problematisch eingestuft. Hinsichtlich der Nachweisgrenze für den Bleigehalt sei <1 mg/kg TS zu ungenau für eine „autorisierte Aussage“, zudem bezögen sich die Grenzwerte der Parameter Blei und Cadmium auf das Nassgewicht; untersucht wurde aber der Trockenrückstand. Für die übrigen Schwermetalle seien in der EU keine Nachweisgrenzen vorgegeben.
  In den folgenden Jahren wird die Methodik der Probenahme jedoch beibehalten, da keins der Erzeugnisse für den Verzehr ist. Zudem werden aufgrund der Fruchtfolge, jedes Jahr andere Pflanzen angebaut, was Aussagen über eine eventuelle jährliche Akkulumation von Schadstoffen eines bestimmten Gemüses unmöglich macht.
  Ohne eine bepflanzte Referenzfläche sind Aussagen zur Düngewirkung nicht möglich.

- Sowohl die untere Abfallwirtschafts- und Bodenschutzbehörde als auch Frau Dr. Straub verpassten bislang das Ziel, parallel eine Referenzkläranlage zu Vergleichszwecken zu untersuchen

5. Weiteres Vorgehen, geplante Untersuchungen

Als Kern weiterführender Untersuchungen bietet sich die Anlegung einer Schürfgrube (GS) in dem Versuchsbeet an (vorläufiges Einverständnis von Fr. Matthias ist gegeben)
Neben den Veränderungen der Schadstoffgehalte des Bodens sind auch Veränderungen der physikalischen Bodeneigenschaften von Bedeutung.

Bild 2: Das Versuchsbeet

eigene Aufnahme

Mit Ende des Experiments im Jahr 2015 soll diese Schürfgrube eine möglichst direkte Gegenüberstellung der Profile des behandelten (links) und des unbehandelten (rechts) Bodens ermöglichen.
Im Zuge dessen sollte der Bodentyp bestimmt und mit der Bodenübersichtskarte (1:3.000) abgeglichen werden, um die Stimmigkeit zwischen chemischen Parametern und Bodentyp mit unbehandelter Umgebung zu prüfen.

Getreu der 5. Auflage der Kartieranleitung sollte besondere Aufmerksamkeit auf den Eigenschaften liegen, bei denen eine Veränderung zu erwarten ist. Dazu gehören:

- Humusgehalt und -mächtigkeit
- Aggregation
- Porenvolumen und –verteilung
- Lagerungsdichte
- Bodenfeuchte
- Farbansprache
- Edaphon (Anzahl- und Aktivität der Regenwürmer, Bodenorganismen)

Des Weiteren könnte die Eindringtiefe des Klärschlamms optisch zu erkennen sein.

Um die Anreicherungen und Verlagerungen der Schadstofffrachten im Boden in Abhängigkeit der Tiefe analysieren zu können und auch wegen des geringen pH- Gehalts des Bodens und damit höherer erwarteter Mobilitäten (Cadmium) bzw. höherer Sorption im Oberboden (PCB) bestimmter Schadstoffe wäre es zu überlegen, die abschließenden Bodenuntersuchungen 2015 als horizontbezogene Sammelproben aus der Schürfgrube zu entnehmen.

Zusätzlich könnten in den Jahren 2014 und 2015 im Zuge der Abwasserkontrollen durch die UCGmbH auch die Zulaufwerte des Schmutzwassers in die PKA bestimmt werden, um den schadstoffarmen Eintrag quantifizieren und mit anderen kommunalen Zulaufwerten vergleichen zu können.

2015 sollte der unbehandelte Boden als Vergleich für nicht- klärschlammkompostbedingte Bodenveränderungen nochmals beprobt werden. So könnten störende, externe Einflüsse, die beispielsweise durch den intensiven Maisanbau auftreten, dessen mutmaßlich eingesetzte Dünger und Biozide unter anderem Quecksilber enthalten, mit berücksichtigt werden.

6. Fazit

In Zeiten zunehmender Bewusstwerdung der natürlichen Kreisläufe und Umweltproblematiken, stellt die individualisierte Klärung unter Berücksichtigung der Stoffkreisläufe des Abwassers und Klärschlamms eine umweltschonende Alternative zur anonymen Abwassereinleitung in technischen Großkläranlagen dar.
Im Gegensatz zur „End of Pipe“ Philosophie, bei der Umweltbelange erst während der Behandlung von Abwasser berücksichtigt werden, träte das „Verursacherprinzip“ (Umweltbundesamt 2003, o.S.), bei der, aus dem eigenen Interesse der Klärschlammerzeuger, Schadstoffeinträge bereits bei der Quelle also vor der Einleitung ins Abwasser effektiv reduziert werden können (Umweltbundesamt 2003, o.S.).
Das praxisnahe Experiment EM- Hof Pinokkio zur Untersuchung von Bodenveränderungen nach mehrjähriger Klärschlammdüngung offenbarte nach drei Jahren Versuchsdauer keine signifikanten Schadstoffanreicherungen bei gleichzeitig niedrigen Schadstoffgehalten.

Dennoch bleiben der Besitzerin Verzehr und Handel des behandelten Teils ihrer Ernte des Versuchsbeetes verboten. Eine Ausnahmeregelung scheint unwahrscheinlich. Der Aufwand, seitens des Amtes die Kontrollen der AbfKlärV auf individueller Ebene nach gesetzlichen Vorgaben zu organisieren, scheint zu hoch. Die Finanzierung der zahlreichen Laboranalysen wäre auch für die meisten Privathaushalte untragbar. Da der Eintrag von haushaltlichen Schadstoffen zudem zeitlich variabel ist, sind regelmäßige Kontrollen notwendig.

Literaturverzeichnis

- Berlin Institut für Bevölkerung und Entwicklung 2006: Die Lage der Nation.- Wie zukunftsfähig sind Deutschlands Regionen.- München

- De Brouwere (2006): Risks of sewage sludge amended soils in relation to crops and soil microbial processes.- K.U. Leuven

- Umweltbundesamt (2003): Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung.- Berlin

- Statistisches Bundesamt (2006): Bevölkerung Deutschlands bis 2050.- 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung.- Wiesbaden

- Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland e.V. (Bund) (2005): BUNDposition Klärschlamm.- BUNDforderung für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft im Einklang mit Gesundheits- und Bodenschutz.- Köln

- Landesamt für Umweltschutz Sachsen Anhalt (Fachbereich 2) (2007): Pflanzenkläranlagen zur kommunalen Abwasserreinigung.- Halle

- Heinrich, I. 2011: Einsatz von Zusatzstoffen auf der Kläranlage Petershagen mit dem Ziel der Reduktion des Überschussschlammes.- FH München

- Landesanstalt für Umweltschutz Baden- Württemberg (2003): Schadstoffe in klärschlammgedüngten Ackerböden Baden- Württembergs.- Karlsruhe

- Hyll, A. & O. Nestrow (1992): Wirkungen unterschiedlicher Klärschlammgaben auf Böden und Pflanzenbestand eines Acker- und eines Grünlandstandortes im unteren Mürztal.- TU Graz
- Scottissh Enviroment Protection Agency (SEPA) 2008: Soil quality.- Investigating the impact of applying sewage sludge and exempt waste to agricultural land.-

- Das Land Steiermark (2007):Stoffflussbetrachtung.- Quecksilber aus kommunalen steirischen Klärschlämmen .- Deutsch-Wagram

- Straub 2010: Untersuchung zur Wirkung effektiver Mikroorganismen bei der Abwasserreinigung.- Cottbus

- Fuchs, Bieri, Chardonnens 2004: Auswirkungen von Komposten und Gärgut auf die Umwelt, die Bodenfruchtbarkeit sowie die Pflanzengesundheit.- Zürich

- Dissertation Ritschel 2006: Belastung der Böden des Landes Brandenburg mit PAK und PCB.- Akkumulationsfähigkeit und Transfervermögen.- TU Cottbus

- Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg- Gumpenstein (2011): Sickerwasserprognose einer Kulturschicht aus Klärschlammkompostgemischen am Beispiel der Kalirückstandshalde Sonderhausen.- Raumberg- Gumpenstein

- Landesanstalt für Umweltschutz Baden- Württemberg 1998: Literaturstudie zum Transfer von organischen Schadstoffen im System Boden/Pflanze und Boden/Sickerwasser.- Karlsruhe

- Agriculture, Ecosystems and Enviroment 2012: Long- term amendment of Spanish soils with sewage sludge.- Effects on soil functioning.- Elsevier

- uni oldenburg ohne jahr
  http://oops.uni-oldenburg.de/429/10/kap-02.pdf

- Institut für Umweltverfahrenstechnik (IUV) der Universität Bremen
  http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/c/csb.htm
  http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/b/bsb.htm
  http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/a/ammoniumstickstoff.htm

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Funktionsweise einer Pflanzenkläranlage
  Handwerkskammer Düsseldorf 2004.- Zentrum für Umwelt und Energie

- Tabelle 1**:** Grenzwerte nach AbfKlärV
  Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) 2006 abgeändert nach §4 (8) AbfKlärV, §4 (10), §3 (4)