

35. Deutscher Evangelischer Kirchentag Stuttgart 2015 e.V.

Nutzung von Komposttoiletten auf dem Stuttgarter Kirchentag 2015 als praktisches Beispiel von Nachhaltigkeitskommunikation in den Bereichen Ressourcenschonung, Stoffstrommanagement, Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz des deutschen Kirchentags

Inklusive der Projektergänzung:

Wissenschaftliches Begleitprogramm zur Bestimmung und Bewertung von Arzneimittelreststoffen aus Urin und Komposttoiletten von Großveranstaltungen

Abschlussbericht des Projekt AZ 32799
gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von:
Christof Hertel

Leitung der Projektergänzung: Prof. Dr.- Ing. Heidrun Steinmetz

Berlin, Juli 2016 (mit Ergänzung im Februar 2017)

Der Abschlussbericht kann per Email als pdf angefordert werden bei: umwelt@kirchentag.de.

35. Deutscher Evangelischer Kirchentag Stuttgart 2015 e.V.

Nutzung von Komposttoiletten auf dem Stuttgarter Kirchentag 2015 als praktisches Beispiel von Nachhaltigkeitskommunikation in den Bereichen Ressourcenschonung, Stoffstrommanagement, Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz des deutschen Kirchentags

Inklusive der Projektergänzung:

Wissenschaftliches Begleitprogramm zur Bestimmung und Bewertung von Arzneimittelreststoffen aus Urin und Komposttoiletten von Großveranstaltungen

**Abschlussbericht des Projekt AZ 32799
gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

**von:
Christof Hertel**

Leitung der Projektergänzung: Prof. Dr.- Ing. Heidrun Steinmetz

Berlin, Juli 2016 (mit Ergänzung im Februar 2017)

10/01					 Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt					
Az	32799/01	Referat	23	Fördersumme	78.140 €
Antragstitel		„Nutzung von Komposttoiletten auf dem Deutschen Evangelischen Kirchentag vom 3. bis 7. Juni 2015 in Stuttgart als praktisches Beispiel von Nachhaltigkeitskommunikation in den Bereichen Ressourcenschonung, Stoffstrommanagement, Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz“			
Stichworte		Abwasser			
Laufzeit		Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
10 Monate		02.03.2015	01.12.2015	3	
Zwischenberichte		-			
Bewilligungsempfänger		35. Deutscher Evangelischer Kirchentag Stuttgart 2015 e. V. Geschäftsführung Herr Dr. Jörg Kopecz Breitscheidstr. 48 70176 Stuttgart			umwelt@kirchentag.de
					Projektleitung
					Christof Hertel
					Bearbeiter
					Christof Hertel u.a.
Kooperationspartner		Universität Stuttgart Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz Bandtäle 2 70569 Stuttgart			
<p>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</p> <p>Zum 35. Deutschen Evangelischen Kirchentag in Stuttgart kommen fast 100.000 Dauerteilnehmende und täglich bis zu 10.000 Tagesgäste. Seit Jahren bemüht sich der Kirchentag, die negativen Umweltfolgen seiner Großveranstaltung zu minimieren.</p> <p>Ziel ist der erstmalige Einsatz von Komposttoiletten im Rahmen der Verwendung mobiler Toilettenanlagen (etwa 50 von 250 notwendigen Toiletten) auf dem Stuttgarter Kirchentag im Interesse von Ressourcenschonung, Bodenschutz, lokalem Ressourcenmanagement, Klimaschutz und zur Erarbeitung von Nachhaltigkeitsstrategien im Abfall- und Abwasserbereich für Kommunen und künftige Großveranstaltungen. Die Fach- wie Kirchentagsöffentlichkeit soll für einen nachhaltigen Umgang mit NASS – Systemen und deren Produkte gewonnen werden und historisch selbstverständliche Kreislaufsysteme wiederentdecken.</p> <p>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</p> <p>Folgende Arbeitsschritte wurden bereits umgesetzt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durchführung eines Fachworkshops • Konzipierung der Öffentlichkeitsarbeit zur „Werbung“ für die Komposttoiletten • Künstlerische Gestaltung der Toilettentüren zur inhaltlichen Aufklärung. • Sozial-empirische Befragung zur Wahrnehmung und Akzeptanz der Komposttoiletten. • Auswertungsworkshop mit den Beteiligten. • Erstellung eines Abschlussberichtes und eines kleinen Erfahrungsberichtes (Leitfaden). • Kompostierung auf einer Versuchsfläche der Abfallverwertungsgesellschaft Ludwigsburg. • Wissenschaftliches Begleitprogramm zur Bestimmung und Bewertung von Arzneimittelreststoffen aus Urin und Komposttoiletten von Großveranstaltungen. 					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt □ An der Bornau 2 □ 49090 Osnabrück □ Tel 0541/9633-0 □ Fax 0541/9633-190 □ http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Die Komposttoiletten stoßen auf große Begeisterung: Die Idee fasziniert, das Konzept überzeugt und so gelten sie als zukunftsweisend.

Größte Zustimmung mit weit über 90% bekommen ihre offensichtliche Umweltfreundlichkeit, die Sauberkeit, die einfache und angenehme Benutzung.

Die Schwermetallkonzentration im Sickerwasser und im Kompost erweist sich unter Berücksichtigung der aktuellen Gesetzgebung als unbedenklich. Vermutlich aufgrund der geringen Kompostierungsmenge verlief die Hygienisierung nicht vollständig. Darauf lässt auch der Vergleich mit der zweiten dargestellten Kompostierung schließen, der in einer großen Kompostierungsanlage unter realistischen Bedingungen eine hygienische Unbedenklichkeit nachweisen konnte.

Eine Fortführung des Projektes bei anderen Großveranstaltungen wie dem Kirchentag kann empfohlen werden, insbesondere, wenn kein Anschluss an eine leistungsfähige Kanalisation gegeben ist.

Darüber hinaus empfehlen wir für das weitere Vorgehen die Entwicklung von anwendungsorientierten Lösungen für die Gewinnung von Rohstoffen aus dem anfallenden Urin. Am Wichtigsten erscheint jedoch eine konsistente, anwendungsfreundliche Regulierung hinsichtlich des zu verwendenden Abfallschlüssels oder der Entwicklung eines neuen Abfallschlüssels.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Über die Projektergebnisse wurde im Rahmen eines Abschlussworkshops berichtet. Die Ergebnisse wurden auf der Homepage kirchentag.de/humusbildung veröffentlicht. Die beteiligten Institutionen, Unternehmen und Experten berichteten im Rahmen ihrer Tätigkeiten über die Ergebnisse. Eine Baumpflanz-Aktion am 28.11.2016 unter Nutzung des Kompostes am neuen Kirchentagsstandort Berlin erfuhr ein breites Presseecho.

Fazit

Die Umsetzung des Projektes war erfolgreich, allerdings waren die anfallenden Mengen des Kompostes geringer als vorher gedacht, insofern konnte die Kompostierung nicht zur vollständigen Hygienisierung beitragen. Der innovative Charakter des Projektes führte dazu, dass die Verwertung von Urin noch nicht umgesetzt werden konnte. Das Projekt hat zur Akzeptanz von Komposttoiletten bei Fachleuten wie NutzernInnen beigetragen. Weitere Schritte zur Anwendung und Nutzung eines sinnvollen Abfallschlüssels für die Kompostierung von Faeces und Verwertung von Urin sind nötig. Hier sind Forschung, Politik sowie die Toilettenindustrie und Abfallwirtschaft gefragt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	8
Zusammenfassung	9
1. Einleitung	10
2. Hauptteil	11
2.1 Durchführung eines Auftaktworkshops am 22. April 2015 in Stuttgart	11
2.2 Konzipierung einer Öffentlichkeitsarbeit zur „Werbung“ für die Benutzung der Komposttoiletten	13
2.3 Künstlerische Nutzung der Toilettentüren zur inhaltlichen Aufklärung	13
2.4 Aufbau und Betrieb von zwei Toilettenstandorten	15
2.5 Sozial-empirische Befragung zur Wahrnehmung und Akzeptanz dieser Komposttoiletten auf dem Evangelischen Kirchentag in Stuttgart 2015	18
2.6 Kompostierungsprozess	19
2.6.1 Exkurs: Abfallschlüssel	25
2.6.2 Exkurs: Kompostierung von Fäkalstoffen bei der Abfallwirtschaft Rendsburg-Eckernförde GmbH (AWR) (Dezember 2015)	27
2.7 Auswertungsworkshop am 10.11.2015	30
2.8 Erstellung eines kleinen Abschlussberichtes (Leitfaden)	32
2.9 Wissenschaftliches Begleitprogramm zur Bestimmung und Bewertung von Arzneimittelreststoffen aus Urin und Komposttoiletten von Großveranstaltungen	32
2.10 Exkurs: Erfahrungen mit Proben am Steinbeis-Innovationszentrum Organismische Mykologie und Mikrobiologie	33
2.11 Diskussion der Ergebnisse	33
3. Fazit	37
4. Literaturverzeichnis	39
5. Anhang	40

5.1	HUMUSBILDUNG oder auf „stillen Örtchen“ die Welt bewegen	41
5.2	Protokoll Auftaktworkshop	43
5.3	Protokoll Auswertungsworkshop	52
5.4	Anhang Nutzerbefragung	59
5.5	Abschlussbericht der Projektergänzung	71
	<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<i>I</i>
	<i>Abbildungsverzeichnis</i>	<i>IV</i>
	<i>Tabellenverzeichnis</i>	<i>VI</i>
	<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	<i>VII</i>
	<i>Zusammenfassung</i>	<i>1</i>
1.	<i>Einleitung und Motivation, Stand der Technik</i>	<i>2</i>
2.	<i>Ziele und Arbeitsprogramm</i>	<i>3</i>
2.1	<i>Ziele und Vorgehensweise</i>	<i>3</i>
2.2	<i>Arbeitsprogramm</i>	<i>3</i>
2.2.1	<i>Probennahme während des Kirchentages</i>	<i>3</i>
2.2.2	<i>Probennahme während der Kompostierung</i>	<i>3</i>
2.2.3	<i>Analyse der Proben</i>	<i>3</i>
2.2.4	<i>Interpretation der Ergebnisse</i>	<i>3</i>
3.	<i>Material und Methoden</i>	<i>4</i>
3.1	<i>Probennahme</i>	<i>4</i>
3.1.1	<i>Urindrainage</i>	<i>4</i>
3.1.2	<i>Sickerwasser</i>	<i>4</i>
3.1.3	<i>Toilettenzuschlagstoffe</i>	<i>5</i>
3.1.4	<i>Faeces, Kompostzuschlagstoffe und Kompost</i>	<i>5</i>
3.1.5	<i>Vergleichsproben</i>	<i>6</i>
3.2	<i>Analysierte Parameter</i>	<i>6</i>
3.2.1	<i>Chemisch-physikalische Parameter</i>	<i>6</i>
3.2.2	<i>Medikamente</i>	<i>9</i>
3.2.3	<i>Hormone</i>	<i>9</i>
3.2.4	<i>Mikrobiologie</i>	<i>9</i>

4.	<i>Ergebnisse</i>	10
4.1	<i>Standardparameter</i>	10
4.2	<i>Schwermetalle</i>	12
4.3	<i>Pharmazeutische Wirkstoffe</i>	14
4.3.1	<i>Urindrainage</i>	16
4.3.2	<i>Inhalt der Komposttoiletten</i>	21
4.3.3	<i>Verhalten der Substanzen während der Kompostierung</i>	23
4.4	<i>Mikrobiologie</i>	27
5.	<i>Fazit</i>	29
6.	<i>Tabellenanhang</i>	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwurf der Toilettentüren von Bruno Nagel, Sprachbehausung.	14
Abbildung 2: Ein-Strich-Schaubild von Bruno Nagel, Sprachbehausung.	14
Abbildung 3: Postkarte von Bruno Nagel, Sprachbehausung.	15
Abbildung 4: Lageplan mit rot hervorgehobenen Standorten der Komposttoiletten im NeckarPark.	15
Abbildung 5: Einer der Standorte für die Komposttoiletten hinter dem Umweltzelt im NeckarPark.	16
Abbildung 6: Komposttoilette von Goldeimer von innen	16
Abbildung 7: Lage der Deponie Burghof und Route vom Veranstaltungsort.	19
Abbildung 8: Lageplan der Versuchsfläche auf der Deponie Burghof.	20
Abbildung 9: Planung des Aufbaus der Probefläche zur Kompostierung.	20
Abbildung 10: Ablauf: Vorbereitung der Fläche. Einbau der Entwässerungsschicht, Wasserableitung.	21
Abbildung 11: Ablauf: Anlieferung und Zwischenlagerung.	21
Abbildung 12: Das Strukturmaterial: Nach dem Schlussgottesdienst geschreddertes Birkenreisig.	22
Abbildung 13: Ablauf: Einbringung des Materials, Aufbau der Miete, Sickerwasserbehälter	23
Abbildung 14: Ablauf der Kompostierung, Bewässerung und Materialumlagerung, Tierwelt.	23
Abbildung 15: Zuschlagstoffe und Zusammensetzung des Rohkompost.	24
Abbildung 16: Temperaturaufzeichnung im Kompost.	24
Abbildung 17: Untersuchung der Nährstoffe im Kompost	25
Abbildung 18: Gesammeltes Fäkalstoffe von verschiedenen Festivals in 2015 zur Kompostierung mit Grünschnitt	28
Abbildung 19: Miete mit Fäkalstoffen und Grünschnitt nach dem Homogenisieren mit dem Mietenumsetzer	28
Abbildung 20: Temperaturverlauf in der Miete über den Versuchszeitraum (3 Temperaturlogger)	29
Abbildung 21: E.coli-Gehalt und Gehalt an coliformen Keimen nach 14 bzw. 23 Tagen Kompostierung	30
Abbildung 22: Probennahme durch das Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISWA) der Universität Stuttgart.	32
Abbildung 23: „Aus Mist wird Most“ war nach Projektende das Motto am 28. November 2016 bei der Baumpflanzaktion mit Kirchentagskompost im Gemeinschaftsgarten "Niemand's Land" in Berlin	36

Abbildungsverzeichnis Anhang

Abbildung 24: Probennahme während des Kirchentags	4
Abbildung 25: Prozentuale Zusammensetzung des Rohkomposts	5
Abbildung 26: Probennahme beim Ansatz des Komposts	6
Abbildung 27: Sickerwasser – Änderungen der Verhältnisse CSB/TOC, Pges/PO4-P, TKN/NH4-N	11
Abbildung 28: Urindrainage-Proben - Pharmazeutische Wirkstoffe und Metabolite Mittlere Konzentrationen mit Standardabweichung; AAAP: Acetamidoantipyrin (Metamizol-Metabolit)	16
Abbildung 29: Urindrainage-Proben – Estrogene Gesamtaktivität	18
Abbildung 30: Urindrainage-Proben – Korrelationen von Coffein mit ausgewählten Standardparametern	19
Abbildung 31: Urindrainage-Proben – Korrelation des EEQ mit Phosphat-P	19
Abbildung 32: Urindrainage-Proben – Vergleich mit Kläranlagenzuläufen	20
Abbildung 33: Trockentoiletteninhalt – Konzentrationen ausgewählter Analyten	22
Abbildung 34: Trockentoiletten – Prozentuale Frachtanteile von Urindrainage und Feststoffen	23
Abbildung 35: Kompostierung – Zeitlicher Konzentrationsverlauf	24
Abbildung 36: Keimbelastung im Kompost: Zeitlicher Verlauf von links (Faeces vor dem Ansatz) nach rechts (nach der Wurmzugabe)	28
Abbildung 37: Keimbelastung im Sickerwasser: Zeitlicher Verlauf von links nach rechts	28

Abkürzungsverzeichnis

Begriff	Beschreibung
a. n. g.	andere nicht genannt
BioAbfV	Bioabfallverordnung
EMAS	Environmental Management and Audit Scheme
NASS	Neuartige Sanitärsysteme
NAWARO	Nachwachsender Rohstoffe
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen (Gesamter Kjeldahl-Stickstoff)

Zusammenfassung

Auf dem Kirchentag 2015 in Stuttgart wurden versuchsweise Komposttoiletten aufgestellt, um die Fäkalien nach Kompostierung einer Weiterverwendung zuführen zu können.

Zielsetzung des Projektes war der Einsatz von Komposttoiletten im Rahmen der Verwendung mobiler Toilettenanlagen im Interesse von Ressourcenschonung, Bodenschutz, lokalem Ressourcenmanagement, Klimaschutz und zur Erarbeitung von Nachhaltigkeitsstrategien im Abfall- und Abwasserbereich für Kommunen und künftige Großveranstaltungen.

Hierbei sollten lokale Akteure gewonnen werden, die anfallenden Substrate einer sinnvollen Weiterverarbeitung als Kompost und Dünger zuführen. Die Fach- wie Kirchentagsöffentlichkeit sollte für einen nachhaltigen Umgang mit NASS – Systemen und deren Produkte gewonnen werden und historisch selbstverständliche Kreislaufsysteme wiederentdeckt werden.

Um die Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit für die Thematik von Ressourcenschonung, Bodenverbesserung und Kreislaufwirtschaft zu wecken, wurde das Projekt auch künstlerisch durch Bruno Nagel (Sprachbehauung) begleitet.

Untersucht wurde die Frage nach der Akzeptanz der Toiletten bei den BesucherInnen (Nutzerbefragung), die Möglichkeiten einer geregelten Kompostierung und der Verwendung des Kompostes. Darüber hinaus wurden die Belastung und der Verbleib von Arzneimittelrückständen während des Kompostierungsprozesses und im Endprodukt untersucht. Im weiteren Verlauf des Projektes wurde die Versuchskompostierung in Zusammenarbeit mit Goldeimer und der Abfallwirtschaft Rendsburg-Eckernförde GmbH (AWR) einer Kompostierung gegenübergestellt, die insgesamt mit einer zehnmal größeren Menge Faeces und unterstützendem Kompostierungsmaterial gearbeitet haben.

Nach einer Heißrotte und Nachreife auf der Deponie Burghof wurde die Kompostmenge bei einem Kompostierbetrieb in Fürth/Bayern zwischengelagert und im Oktober 2016 nach Berlin verbracht. Dort wird der Kompost zur Anpflanzung eines Apfelbaums im Rahmen einer Öffentlichkeitsaktion sowie für Pflanzaktionen beim kommenden Kirchentag in Berlin (Ende Mai 2017) verwendet.

Die Schwermetallkonzentration im Sickerwasser und im Kompost erweist sich unter Berücksichtigung der aktuellen Gesetzgebung als unbedenklich. Vermutlich aufgrund der geringen Kompostierungsmenge verlief die Hygienisierung nicht vollständig. Darauf lässt auch der Vergleich mit der zweiten Kompostierung schließen, der in einer großen Kompostierungsanlage unter realistischen Bedingungen eine hygienische Unbedenklichkeit nachweisen konnte.

Die Rückmeldung der Toilettenbenutzer während des Kirchentages war überwiegend sehr positiv, so dass eine Fortführung des Projektes bei anderen Events empfohlen werden kann - insbesondere, wenn kein Anschluss an eine leistungsfähige Kanalisation gegeben ist.

Darüber hinaus empfehlen wir für das weitere Vorgehen die Entwicklung von anwendungsorientierten Lösungen für die Gewinnung von Rohstoffen aus dem anfallenden Urin. Am Wichtigsten erscheint jedoch eine konsistente, anwendungsfreundliche Regulierung hinsichtlich des zu verwendenden Abfallschlüssels oder der Entwicklung eines neuen Abfallschlüssels.

Kooperiert wurde im Rahmen des wissenschaftlichen Begleitprogramms zur Bestimmung und Bewertung von Arzneimittelreststoffen mit dem Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft. Mit der Nutzerbefragung wurde das Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) beauftragt. Die Kompostierung fand im benachbarten Landkreis Ludwigsburg bei der Abfallverwertungsgesellschaft Ludwigsburg mbH (AVL) als kooperierenden Partner statt. Das Unternehmen Goldeimer wurde mit der Bereitstellung und dem Betrieb der Toiletten beauftragt und arbeitete aktiv an der Gewinnung von weiterführenden Erkenntnissen mit.

Unterstützt wurde das Projekt (AZ 32799) durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU).

1. Einleitung

Der 35. Deutsche Evangelische Kirchentag fand vom 3. bis zum 7. Juni 2015 in Stuttgart statt. Zum Stuttgarter Kirchentag kamen mehr als 96.000 Dauerteilnehmende und insgesamt fast 40.000 weitere Tagesgäste. Zu Beginn der fünf-tägigen Großveranstaltung fand am Mittwoch in der Innenstadt der sogenannte Abend der Begegnung statt, an dem etwa 250.000 BesucherInnen teilnahmen. Auf dem Gelände des NeckarPark fand am Sonntag der Abschlussgottesdienst mit 95.000 Teilnehmenden statt.

Seit Jahren bemüht sich der Kirchentag die negativen Umweltfolgen seiner Großveranstaltung zu minimieren¹ und lässt sowohl die eigene Organisation als auch die Veranstaltung regelmäßig nach EMAS zertifizieren.

Für Großveranstaltungen, wie es beispielsweise auch Kirchentage sind, werden bisher auf Veranstaltungsgeländen ohne Kanalisation mobile, chemische Toiletten verwendet. Die Entsorgung erfolgt über Pumpwagen und Klärwerke und gilt als begrenzt bis wenig umweltfreundlich.

Zielsetzung des Projektes ist der Einsatz von Komposttoiletten im Rahmen der Verwendung mobiler Toilettenanlagen auf dem Stuttgarter Kirchentag im Interesse von Ressourcenschonung, Bodenschutz, lokalem Ressourcenmanagement, Klimaschutz und zur Erarbeitung von Nachhaltigkeitsstrategien im Abfall- und Abwasserbereich für Kommunen und künftige Großveranstaltungen.

Hierbei sollen lokale Akteure gewonnen werden, die anfallenden Substrate einer sinnvollen Weiterverarbeitung als Kompost und Dünger zuzuführen. Die Fach- wie Kirchentagsöffentlichkeit soll für einen nachhaltigen Umgang mit NASS – Systemen und deren Produkte gewonnen werden und historisch selbstverständliche Kreislaufsysteme wiederentdecken.

Der Kirchentag hat sich daher zum Ziel gesetzt, im Bereich Wasser/Abwasser/Sanitärhygiene neue Wege zu gehen und im Bereich der Mobiltoiletten 50 Toiletten durch mobile Komposttoiletten zu ersetzen. Insgesamt benötigt der Stuttgarter Kirchentag etwa 1.800 mobile Toiletten Plätze (Urinale und Toilettensitze).

Bisher wurde dieser Bereich im Rahmen des Umweltmanagement-Systems des Kirchentages nicht erfasst.

Auf dem Deutschen Evangelischen Kirchentag 2015 in Stuttgart (3.-7.Juni 2014) wurden erstmals mobile Komposttoiletten zum Einsatz gebracht. Diese verzichten auf Chemie durch eine Trennung von Feststoffen und Flüssigkeiten. Sie benötigen, wie Chemietoiletten, kein Wasser. Die anfallenden Ressourcen werden getrennt erfasst und sollen einer Weiterverwendung als Dünger oder Kompost zugeführt werden.

¹ (siehe auch die Umwelterklärung zum Kirchentag in Stuttgart 2015: www.kirchentag.de/fileadmin/dateien/zzz_NEUER_BAUM/Ueber_uns/Umweltengagement/PDF/Umweltmanagement/DEKT35_Umwelterklaerung.pdf)

Dem Kirchentag erscheint es dabei unerlässlich, die Aufstellung der Komposttoiletten wissenschaftlich wie kommunikativ vorzubereiten, zu begleiten und nach der Veranstaltung entsprechend auszuwerten. Daher waren neben der Aufstellung von Komposttoiletten folgende Maßnahmen geplant:

- Durchführung eines Fachworkshops
- Konzipierung einer Öffentlichkeitsarbeit zur „Werbung“ für die Benutzung der Komposttoiletten
- Künstlerische Nutzung der Toilettentüren zur inhaltlichen Aufklärung.
- Sozial-empirische Befragung zur Wahrnehmung und Akzeptanz dieser Komposttoiletten auf dem Evangelischen Kirchentag in Stuttgart 2015
- Auswertungsworkshop mit den Beteiligten
- Erstellung eines kleinen Abschlussberichtes (Leitfaden)
- In Zusammenarbeit mit der DBU wurde ein wissenschaftliches Begleitprogramm zur Bestimmung und Bewertung von Arzneimittelreststoffen aus Urin und Komposttoiletten von Großveranstaltungen in das Projekt integriert. Der Abschlussbericht dieser Projektergänzung mit detaillierten Ergebnissen ist im Anhang zu finden.

2. Hauptteil

Das Projekt konnte mit einem vorzeitigen Maßnahmenbeginn am 2. März 2015 starten. Der Zuwendungsbescheid wurde am 5. Mai 2015 erteilt. Ein Fachworkshop zur Vorbereitung des Projektes wurde am 22. April 2015 durchgeführt. Der 35. Deutsche Evangelische Kirchentag fand vom 3. bis 7. Juni 2015 in Stuttgart statt. Im Anschluss wurde die Kompostierung durchgeführt. Der Abschlussworkshop fand am 10.11.2015 statt. Das Projekt wurde nach Projektverlängerung am 28.02.2016 beendet.

2.1 Durchführung eines Auftaktworkshops am 22. April 2015 in Stuttgart

Zum Projektbeginn wurde ein Auftaktworkshop durchgeführt. Die Tagesordnung sah folgende Programmpunkte vor:

10.00 Uhr Begrüßung durch Carsten Kranz, Geschäftsführung Kirchentag
10.05 Uhr kurze Vorstellungsrunde
10.15 Uhr Projektintention und Projektgenese (Christof Hertel/Jobst Kraus)
10.45 Uhr Komposttoiletten – Funktionsweise, Erfahrungen (Enno Schröder, Goldeimer)
11.00 Uhr Rückfragen und Diskussion
11.30 Uhr Überlegungen aus wissenschaftlicher Sicht - Kompostierung/Weiterverwertung – Torsten Bettendorf

- Arzneimittelrückstände und notwendige Probenentnahmen - Prof. Heidrun Steinmetz
- Erfahrungen aus anderen Kommunen (HH) – Peter Nils Grönwall
- Öffentlichkeitsarbeit und Befragung der Nutzer – Martina Winker

12.15 Uhr Diskussion der zentralen Punkte, wie

- Entsorgungsmanagement
- Umgang mit einem tabuisierten und rechtlich kritischen Stoff
- „Stuttgarter Lösung“ als eine verallgemeinerbare?

13.00 Uhr **Mittagessen mit den Teilnehmenden aus Teil 1 und Teil 2**

Teil 2 Praxis- Workshop mit Stuttgarter Akteuren

13.45 Uhr Blick auf Projektintention und Projektgenese (Christof Hertel/ Jobst Kraus)

14.15 Uhr Komposttoilettenprojekt – wie es in der Stuttgarter Kirchentags-Praxis aussehen könnte (Ritter, Schröder, Bettendorf, Winker)

15.00 Uhr Lernen von Hamburg – Peter Nils Grönwall, ehem. Referent HH Umweltbehörde

15.20 Uhr Rückfragen und Diskussion

16.00 Uhr Verabredungen

16.30 Uhr Ende des Workshops mit dem Kaffeetrinken

Leider konnten nicht alle Eingeladenen der Einladung folgen.
Teilnehmer des Workshops waren schließlich folgende Personen:

- Evangelischer Kirchentag: Christof Hertel, Jobst Kraus, Marian Ritter (nachmittags)
- Bundesministerium für Umweltschutz und Reaktorsicherheit: Dr. Haiko Pieplow
- Goldeimer: Enno Schröder
- Terra Pellet: Torsten Bettendorf, Thomas Voß
- ISOE - Institut für sozial-ökologische Forschung: Dr. Martina Winker
- Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau- Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA): Prof. Dr. Heidrun Steinmetz (vormittags), Homa Seyednejadian
- Privat: Peter-Nils Grönwall (ehemals BSU, Hamburg)
- Steinbeis-Innovationszentrum Organismische Mykologie und Mikrobiologie, an der Universität Tübingen: Prof. Dr. Michael Weiß
- Amt für Umweltschutz der Stadt Stuttgart: Peter Bühle
- ADCO Umweltdienste : Andre Bohnewitz (Leiter der Entwicklungsabteilung)
- Bruno Nagel, Künstler
- Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften: PD Dr. Kurt Möller (nachmittags)

Ergebnis des Workshops war ein gegenseitiges Kennenlernen und eine intensive Information und Diskussion über die Gestaltung des Komposttoilettenprojektes beim Kirchentag. Das Protokoll des Workshops ist im Anhang 5.2 zu finden.

2.2 Konzipierung einer Öffentlichkeitsarbeit zur „Werbung“ für die Benutzung der Komposttoiletten

Die Toilettennutzung wurde im Rahmen der Gesamtveranstaltung einerseits wie herkömmliche Toiletten beworben, z.B. an großen Programminformationstürmen und im Programmheft. Hinzu kamen eine besonders prominente Platzierung im Eingangsbereich des NeckarParks sowie die Bewerbung durch die „Klugscheißerecke“ (In Anlehnung an das Motto des Kirchentages „Damit wir klug werden“). Hier wurden zwei stille Kompost-Örtchen als reine Nachdenk- und Informationsorte gestaltet, die jedoch nicht zur eigentlichen Nutzung geeignet waren. Teil der Öffentlichkeitsarbeit war auch die künstlerische Nutzung der Komposttoiletten durch den Künstler Bruno Nagel, die im nächsten Abschnitt 2.3 beschrieben wird. Hinzu kamen die klassischen Werbemaßnahmen, wie die Bewerbung auf der Homepage², ein Presserundgang hinsichtlich aller Umweltprojekte auf dem Kirchentag sowie ein kurzer Film, der das Projekt nachträglich im Internet präsentiert³. Auf der Homepage wurde auch ein Kurzlink kirchentag.de/humusbildung eingerichtet, der direkt auf die Projektseite verweist. Dort können weitere Materialien, wie die Projektvorstellung (vgl. Anhang 5.1) heruntergeladen werden. Die Klugscheißerecke erhielt sehr viel Aufmerksamkeit in der Presseöffentlichkeit.

2.3 Künstlerische Nutzung der Toilettentüren zur inhaltlichen Aufklärung

Der Künstler Bruno Nagel („Sprachbehäusung“) wurde zur Entwicklung und Umsetzung einer künstlerischen Begleitung des Projektes beauftragt.

Kern des Kunstkonzeptes war die großformatige Gestaltung der Toilettentüren. Jede Tür bestand aus einem Buchstaben, so dass die Wörter HUMUSBILDUNG, DARM UND REICH sowie ANFANG UND WENDE zu lesen waren.

² vgl. www.kirchentag.de/ueber_uns/umweltengagement/projekte.html#c20491

³ vimeo.com/145520238

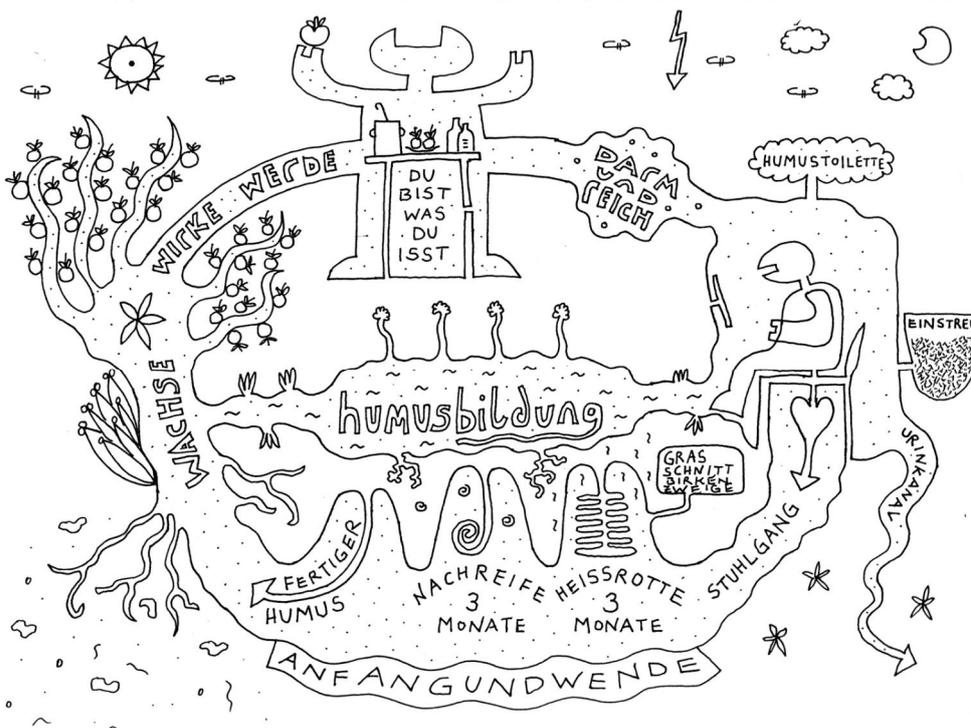
Abbildung 1: Entwurf der Toilettentüren von Bruno Nagel, Sprachbehauung.



Quelle: Bruno Nagel, Sprachbehauung.

In den Toiletten hing die nachstehende Zeichnung, um bildlich die Kreislaufwirtschaft zu erklären:

Abbildung 2: Ein-Strich-Schaubild von Bruno Nagel, Sprachbehauung.



Quelle: Bruno Nagel, Sprachbehauung.

Dieses von Bruno Nagel entworfene und gezeichnete Bild aus einem Strich hing großformatig auf jeder Toilette, um ohne große Texte – den Gang der „Dinge“ zu erklären.

Auch Postkarten wurden angeboten, so dass die Idee gleich als Kirchentagspostkarte verschickt werden konnte:

Abbildung 3: Postkarte von Bruno Nagel, Sprachbehauung.



Quelle: Bruno Nagel, Sprachbehauung.

2.4 Aufbau und Betrieb von zwei Toilettenstandorten

Auf dem Gelände Cannstatter Wasen wurden Komposttoiletten an zwei Standorten aufgestellt (hier rot markiert):

Abbildung 4: Lageplan mit rot hervorgehobenen Standorten der Komposttoiletten im NeckarPark.



Quelle: Kirchentag 2015

Ein Teil der Komposttoiletten standen in einer Reihe direkt am Eingang in der Nähe der U-Bahn-Haltestelle NeckarPark. Eine zweite Toilettenreihe wurde hinter der sogenannten Umwelthalle, in der die Themen „Mobilität, Energie und Ressourcen“ behandelt wurden, platziert. Da das Umweltzelt mit einer „MachBar“ – Ausstellungsständen von Initiativen zu diesen Themenbereichen – umgeben war, passten die Toiletten als praktische Erfahrung der Ressourcenschonung gut dazu. Bei einer „Wiederauflage“ des Projektes wäre dem Veranstalter zu wünschen, etwas mutiger die Toiletten vor die Halle zu stellen und sie nicht hinter der Halle „zu verstecken“, denn sie waren letzten Endes auch ein echter Hingucker:

Abbildung 5: Einer der Standorte für die Komposttoiletten hinter dem Umweltzelt im NeckarPark.



Quelle: Kolja Matzke, Kirchentag 2015.

Abbildung 6: Komposttoilette von Goldeimer von innen



Quelle: Kolja Matzke, Kirchentag 2015.

Als Sammelbehälter wurden 240l - Müllcontainer verwendet und mit aufgeklapptem Deckel unter den Toilettensitz gestellt, um Faeces und Urin aufzufangen. Der Urin wurde über Pumpen und Schläuche direkt in Einleitpunkte des öffentlichen Kanalisationsnetzes abgeführt. Der Bereich hinter den Toiletten war abgesperrt und diente der Goldeimer-Crew als „Arbeitsgang“ für einen eventuellen Tausch eines vollen gegen einen leeren Feststoffsammelbehälter. Volle Container – dies kam in den vier Tagen kaum vor – wurden geruchsdicht verschraubt und im Arbeitsbereich hinter den Toiletten, außerhalb des Sichtbereichs und unzugänglich für Besucher gelagert. Die Erfahrung auf Festivals hat gezeigt, dass beim Goldeimer System pro Toilette höchstens ein Wechsel der Feststoffsammelbehälter während einer Veranstaltung stattfinden muss. In der Projektplanung war überlegt worden, über eine Trenntoilette beide Fraktionen – fest und flüssig – zu sammeln und jeweils für sich wiederzuverwerten – als Kompost und als Flüssigdünger. Da dies aber ein noch höherer Aufwand für die kurze Nutzungszeit gewesen wäre und eine gewisse Nutzungsdisziplin bei den Besuchern (z.B. kein Stehpinkeln, genaues Zielen, Fehlnutzung) voraussetzt, hat man davon Abstand genommen. Eine Trenntoilette sorgt dafür, dass der Urin nicht verunreinigt wird, aufgrund der Trennung mit Hilfe einer getrennten Schüssel, vorne Urin, hinten Faeces.

Die einzelnen verschließbaren Kabinen bestanden aus zusammengeschaubten Holzelementen (Multiplex- bzw. Siebdruckplatten mit glatter, abwaschbarer Oberfläche) und waren vergleichsweise geräumig. Der Toilettensitz war in eine Holzplatte integriert, so dass der Nachwurfbecher – oder auch eine Tasche – gut abgestellt werden konnte. Eine Jumbo- Toilettenrolle, ein kleiner Müllbehälter sowie ein Kleiderhaken vervollständigten die Ausstattung. Von der Decke wurde – der Saison entsprechend – ein Sträußchen Waldmeister als Geruchsalternative in Nasenhöhe aufgehängt, was - auch trotz der großen Hitze – nicht notwendig gewesen wäre. Als Nachwurfmaterial zur Feuchtigkeitsabsorption, Geruchsminderung und optischen Abdeckung wurden vor der Kabinenreihe Hobelspäne in einem großen Bigbag mit Papierbechern zum Abfüllen bereitgestellt.

Für die Händehygiene gab es ebenfalls für alle Kabinen einen Desinfektionsmittelspender. Viele Besucher fragten nach einem Waschbecken, um sich mit Wasser und Seife die Hände zu waschen. Dies wäre – so die Besucherresonanz (siehe unten) – eine zu bevorzugende Alternative. Wie bei Großevents üblich, wurde vor Beginn des Kirchentages ein Vor-Ort-Termin mit dem Gesundheitsamt der Landeshauptstadt Stuttgart vereinbart, der am Vortag des Kirchentages (3.6.2015) stattfand und bei dem auch die Komposttoiletten in der beschriebenen Weise abgenommen wurden.

Mitarbeiter der Firma Goldeimer waren während der Öffnungszeit des Veranstaltungsgeländes anwesend – und ansprechbar, auch um die Sinnhaftigkeit der Komposttoilette zu erklären. Fortlaufend wurden die Toiletten von der Goldeimer – Crew betreut. Die Toiletten wurden regelmäßig (nach Bedarf 3 - 5 Mal pro Tag) durch Goldeimer gereinigt, Verbrauchsmaterial (Toilettenpapier, Hobelspäne und Handdesinfektionsgel) wurden regelmäßig ersetzt bzw. aufgefüllt (Verbrauch von etwa 40 Rollen a 320m Toilettenpapier, 6 Ballen Weichholzspäne á 25 kg und zwei Kanistern Braun ViscoRub a 5 l). Alle Standorte waren planmäßig betrieben und jederzeit betriebsbereit und informierten zusätzlich über die Möglichkeiten alternativer Sanitärversorgung.

2.5 Sozial-empirische Befragung zur Wahrnehmung und Akzeptanz dieser Komposttoiletten auf dem Evangelischen Kirchentag in Stuttgart 2015

Das Institut für sozialökologische Forschung (ISOE) aus Frankfurt wurde für die Nutzerbefragung beauftragt. Barbara Birzle-Harder leitete die Befragung, die während des Kirchentages als Face-to-Face Befragung von Kirchentags-BesucherInnen stattfand. Es wurden die NutzerInnen der Komposttoiletten in unmittelbarer Nähe der Komposttoiletten an zwei Standorten (Eingangsbereich und bei Halle 12) am Donnerstag und Samstag befragt. An beiden Tagen herrschten hohe Temperaturen, mittags über 30°C.

Der Fragebogen wurde durch die InterviewerInnen ausgefüllt. Dabei gab es offene und geschlossene Fragen. Ein Interview dauerte etwa 10 Minuten.

Die Stichprobe bestand aus 115 Befragten, worunter 64 Frauen (57%) und 51 Männer (43%) waren (im Alter zwischen 12 und 82 Jahren). Es wurde in drei Altersgruppen unterteilt: 12 bis 34 Jahre: 41%, 35 bis 59 Jahre: 39% sowie 60 bis 82 Jahre: 20%. Das Durchschnittsalter betrug 40,9 Jahre.

Die vollständige Auswertung der Befragung ist im Anhang 5.45.4 dokumentiert. Als Fazit aus der Befragung kann festgehalten werden:

Die Komposttoiletten stoßen auf große Begeisterung: Die Idee fasziniert, das Konzept überzeugt. Sie gelten als zukunftsweisend und eignen sich gut für Großveranstaltungen wie den Kirchentag.

Größte Zustimmung mit weit über 90% bekommen ihre offensichtliche Umweltfreundlichkeit, die Sauberkeit, die einfache und angenehme Benutzung.

Sie werden als originell und sympathisch empfunden. Etwa 95% der Befragten halten sie für eine gute Alternative zu Chemie-Toiletten. Etwa ein Fünftel der Befragten empfinden die Komposttoiletten beim ersten Eindruck als gewöhnungsbedürftig oder befremdlich. Ein Kritikpunkt ist die Händereinigung mit Desinfektionsgel. Ein knappes Drittel findet diese suboptimal. Bemängelt wird die fehlende Möglichkeit, die Hände mit Wasser waschen zu können. Manche wünschen sich eine bessere Platzierung, da das Angebot übersehen wird. Einzelne bezweifeln die Umweltfreundlichkeit des Desinfektionsgels. Daneben wird von einem guten Drittel die fehlende Barrierefreiheit thematisiert bzw. der schwierige Zugang über die Stufen für Ältere und Gehbehinderte. Ein Geländer an manchen Toiletten könnte hier Abhilfe schaffen.

Auch hinsichtlich der Gebrauchsanleitung und Informationen zu den Komposttoiletten gibt es noch Optimierungsmöglichkeiten, um die Benutzung klarer und einfacher zu gestalten.

Als Name wird eindeutig statt Trockentoiletten oder Humustoiletten der Begriff Komposttoiletten bevorzugt.

Insgesamt passt das Konzept der Komposttoiletten aus Sicht der Nutzerinnen und Nutzer hervorragend zum „Spirit“ des DEKT, sowohl hinsichtlich Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit als auch ihrer Benutzerfreundlichkeit.

2.6 Kompostierungsprozess

Die Suche nach einem geeigneten Kompostierungsplatz mit interessiertem Eigentümer war innerhalb von Stuttgart schwierig⁴, so dass auch im Umland gesucht wurde. Hier konnte im benachbarten Landkreis Ludwigsburg die Abfallverwertungsgesellschaft Ludwigsburg mbH (AVL) als kooperierender Partner gefunden werden. Die AVL stellte hierfür die etwa 40 Kilometer vom Veranstaltungsort entfernte Deponie Burghof zur Verfügung.

Abbildung 7: Lage der Deponie Burghof und Route vom Veranstaltungsort.

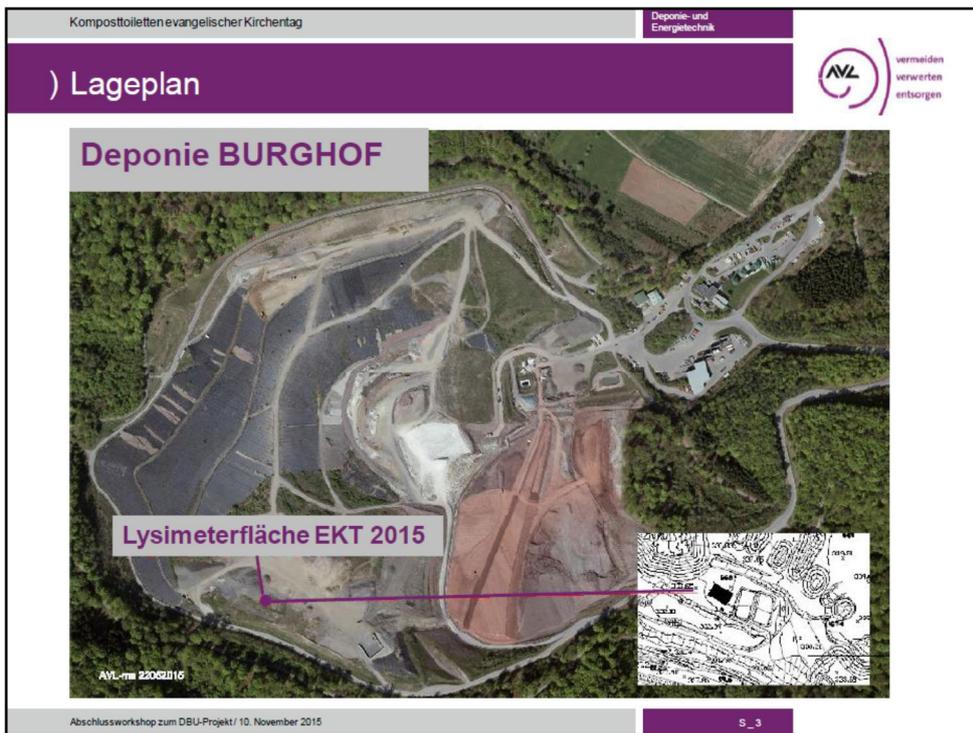


Quelle: Präsentation Tschackert, Auswertungsworkshop Stuttgart, 10.11.2015.

Auf dem Deponiegelände wurde ein Versuchsfeld ausgewiesen.

⁴ Eine stadtteigene Kompostierungsanlage wurde zum fraglichen Zeitpunkt saniert. Die sonst von der Stadt mitgenutzte Kompostierungsanlage in Kirchheim/Teck wollte das Material aufgrund eines fehlenden Abfallschlüssels nicht lagern.

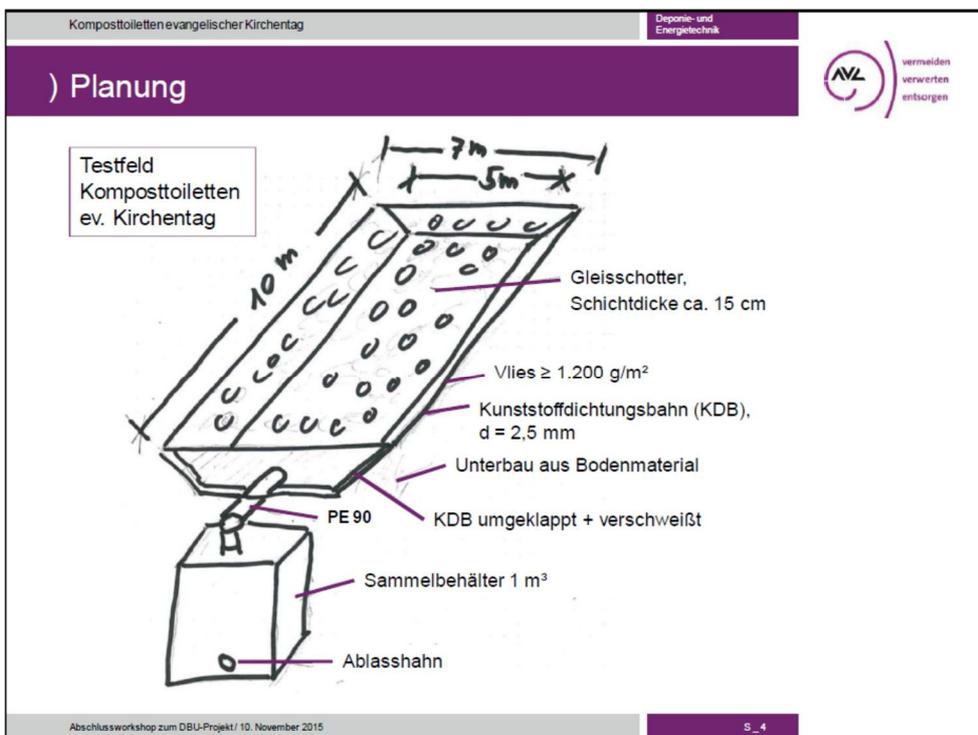
Abbildung 8: Lageplan der Versuchsfläche auf der Deponie Burghof.



Quelle: Präsentation Tschackert, Auswertungsworkshop Stuttgart, 10.11.2015.

Das Versuchsfeld war vollflächig als Lysimeter ausgeführt, um die Probenahme des Sickerwassers zu ermöglichen. Dieses wurde in Eigenarbeit durch die AVL gebaut, so dass nur die Materialkosten übernommen werden mussten.

Abbildung 9: Planung des Aufbaus der Probefläche zur Kompostierung.



Quelle: Präsentation Tschackert, Auswertungsworkshop Stuttgart, 10.11.2015.

Das Lysimeter wurde mit deponierten Eisenbahn-Schotter gefüllt und war durch Folie abgedichtet. Sickerwasser konnte so in einem Behälter aufgefangen werden. Auch der Standort selbst war nochmals durch eine Abdichtung gesichert, da es sich um ein Deponiegelände handelte.

Abbildung 10: Ablauf: Vorbereitung der Fläche. Einbau der Entwässerungsschicht, Wasserableitung.



Quelle: Präsentation Tschackert, Auswertungsworkshop Stuttgart, 10.11.2015.

Im Anschluss an die Veranstaltung wurden die verschraubten Feststoffsammelbehälter verladen und der Rohkompost durch die Goldeimer GmbH zur Deponie Burghof (Vaihingen/Enz) der AVL gebracht.

Abbildung 11: Ablauf: Anlieferung und Zwischenlagerung.



Quelle: Präsentation Tschackert, Auswertungsworkshop Stuttgart, 10.11.2015.

Vor der Kompostierung wurden noch verschiedene weitere Substanzen zum Kirchentags-„Mist“ aus Hobelspäne und Fäzes hinzugefügt:

Das Grünmaterial setzte sich zusammen aus Grasschnitt, welcher durch private oder kommunale Kunden bei der AVL angeliefert wurde und der nach Möglichkeit nicht zu nass sein durfte. Als Strukturmaterial wurde Häcksel aus Birkenzweigen untergemischt. Birkenzweige, die beim Schlussgottesdienst des Kirchentages noch als Dekoration gedient hatten, wurden dann am Sonntagnachmittag für das Projekt gehäckselt und ebenfalls zur Deponie gefahren:

Abbildung 12: Das Strukturmaterial: Nach dem Schlussgottesdienst geschreddertes Birkenreisig.



Quelle: n.n./ Kirchentag 2015.

Vor Ort wurde beim Anlegen der Kompostmiete das Material mit dem Grünmaterial gemischt. Sinnvoller ist es, die Mischung direkt in einem Trommelfahrzeug vorzunehmen. Allerdings konnte kein entsprechendes Fahrzeug beschafft werden, da am Montagmorgen nach dem Kirchentag alle Trommelfahrzeuge der unterschiedlichsten Unternehmen im Einsatz waren. Dem Kirchentags-„Mist“ wurde vor der Lagerung zur (Heiß-) Rote Pflanzenkohle aus der Produktion der Firma Fetzer in Eisingen bei Göppingen beigemischt. Bei Pflanzenkohle handelt es sich nicht um ein Düngemittel, sondern um eine Trägersubstanz, die der periodischen Aufnahme von essentiellen Nährstoffen dient und Mikroorganismen langfristig Habitate zur Verfügung stellt. Außerdem wurden 5 kg Kompostierungsmittel von TerraPellet hinzugefügt (vgl. Abbildung 15).

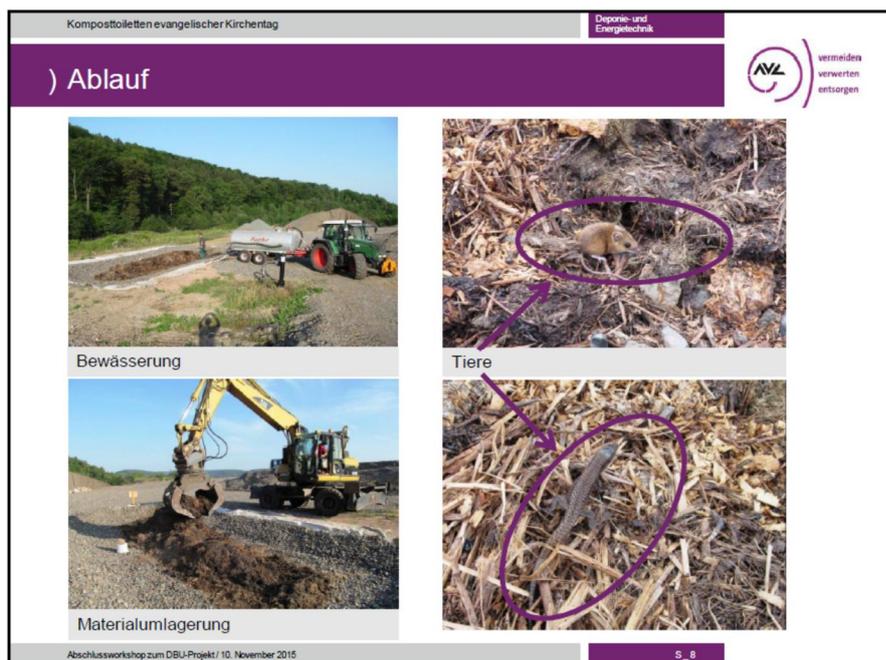
Abbildung 13: Ablauf: Einbringung des Materials, Aufbau der Miete, Sickerwasserbehälter



Quelle: Präsentation Tschackert, Auswertungsworkshop Stuttgart, 10.11.2015.

Die Rohkompost Menge war sehr gering: maximal 5 - 6m³ und ca. 640kg schwer und damit deutlich weniger als erwartet. Im Gegensatz zu Musikfestivals bei denen direkt auf dem Platz auch übernachtet wird, werden vom Kirchentagsbesucher weitere Orte für den Toilettengang angesteuert, so dass ganz überwiegend nur Urin angefallen ist, welches drainiert und abgeflossen ist.

Abbildung 14: Ablauf der Kompostierung, Bewässerung und Materialumlagerung, Tierwelt.



Quelle: Präsentation Tschackert, Auswertungsworkshop Stuttgart, 10.11.2015.

Eingesetzte Regenwürmer waren nach einigen Wochen nicht mehr auffindbar. Sie wurden entweder von Mäusen, Eidechsen etc. gefressen oder konnten dem Kompostmilieu nicht standhalten. Der Kompost wurde einige Male bewässert. Ungefähr wurden ca. 2m³ Wasser über den gesamten Zeitraum hinzugegeben. Öffentliche Reaktionen im Landkreis oder aus der Stadt Ludwigsburg gab es keine, da die AVL keine Öffentlichkeit gesucht hatte.

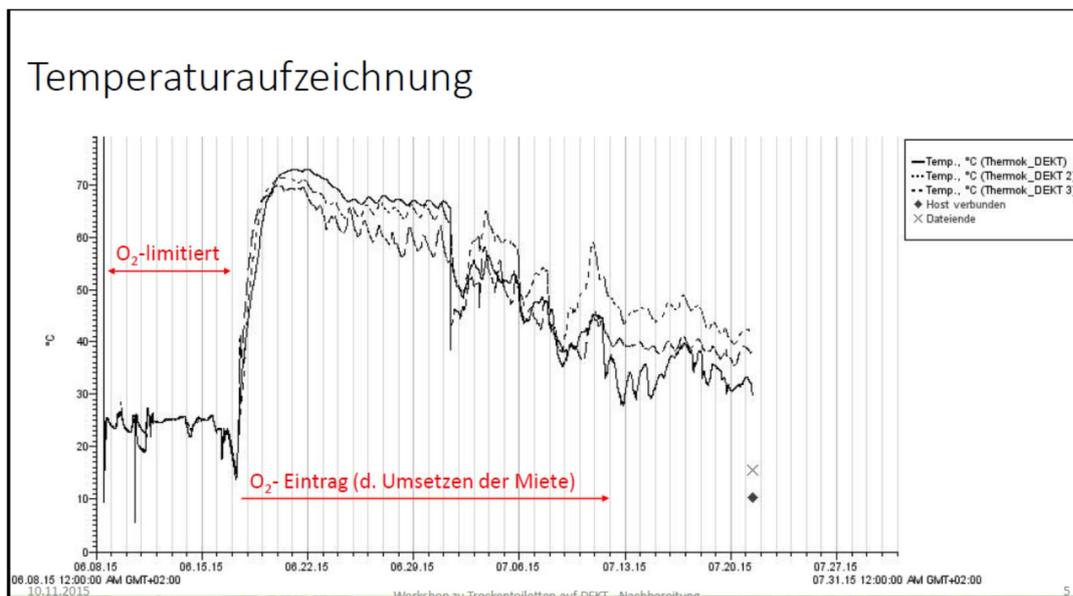
Abbildung 15: Zuschlagstoffe und Zusammensetzung des Rohkompost.



Quelle: Präsentation Bettendorf, Auswertungsworkshop Stuttgart, 10.11.2015.

Der Kompost wurde hinsichtlich der Temperatur durch Sensoren dauerhaft überwacht, um eine Hygienisierung sicherzustellen. Darüber hinaus wurde der Kompost mehrfach umgesetzt.

Abbildung 16: Temperaturofzeichnung im Kompost.



Quelle: Präsentation Bettendorf, Auswertungsworkshop Stuttgart, 10.11.2015.

Bei den aufgezeichneten Temperaturverläufen (2 Wochen über 60°C, ausgeprägte Heißrotte, siehe Abbildung 16): kann von einer hinreichenden Hygienisierung ausgegangen werden, wenngleich die geringe Menge an Material den Kompostierungsprozess diesbezüglich negativ beeinflusst hat. Nach Umsetzung und damit verbundener Sauerstoffzufuhr konnten noch höhere Temperaturen erzielt werden.

Der Kompost hatte einen leicht alkalischen pH-Wert, der auf den Holzkohleanteil zurückzuführen ist. Der hohe TKN-Wert (die Summe von organischem Stickstoff und Ammonium) fällt auf, so dass gute Düngeeigenschaften gegeben sind.

Abbildung 17: Untersuchung der Nährstoffe im Kompost

Produktcharakterisierung (2)

Probe	pH(CaCl ₂) 24°C	EC 24°C	TS	oTS	SO ₄ ²⁻ - S	PO ₄ ³⁻ - P	NH ₄ ⁺ - N	NO ₃ ⁻ - N	TKN
	[-]	[μS/cm]	[%]	[TS%]	g/kgTS				
1	8,00	1,71	49	57	1,82	2,10	0	0,78	27
2	8,26	-	48	49	1,87	2,08	0	-	29
3	7,99	-	45	50	1,87	2,10	0	-	30
4	-	-	49	47	-	-	-	-	-
Mittel	8,08		48	51	1,85	2,09	0		29

10.11.2015 Workshop zu Trockentoiletten auf DEKT - Nachbereitung

Quelle: Präsentation Bettendorf, Auswertungsworkshop Stuttgart, 10.11.2015.

Nach Abschluss der Heißrotte und zum Ende der Projektlaufzeit wurde der Kompost in Bigbags verpackt und zur Erzeugung von Terra Preta zu einem spezialisierten Fürther Unternehmen (Terra Magica) transportiert, da der Kompost so noch nicht für den vorgesehenen Zweck verwendet werden konnte.

2.6.1 Exkurs: Abfallschlüssel

Grundsätzlich regelt die Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV), welcher Abfall/Wertstoff welchen Abfallschlüssel trägt. So gibt es für fast jede Art von Abfall einen spezifischen sechsstelligen Schlüssel, der sowohl Transport als auch Entsorgung regelt.

Vor dem Aufkommen von Komposttoiletten im größeren Umfang gab es in der Entsorgungslandschaft Deutschlands nicht den Bedarf, einen Abfallschlüssel für Feststoffe aus Komposttoiletten festzulegen. Einen Abfallschlüssel, der genau auf die Eigenschaften der Feststoffe anzuwenden ist und gleichzeitig eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle dezentrale Entsorgung in Kompostieranlagen zulässt, gibt es bis heute nicht. Als weiterer Schwachpunkt ist die Entsorgerseite zu betrachten. So ist es zum einen so geregelt, dass Kompostieranlagen (wie auch alle anderen Entsorgungsanlagen) einen sogenannten Positivkatalog mit Abfallschlüsselnummern führen, der regelt, welche Abfälle/Wertstoffe bei ihnen entsorgt werden dürfen. Die Ergänzung dieses Positivkataloges mit einer bestimmten Abfallschlüsselnummer ist für die

Anlagenbetreiber in erster Linie eine Kosten/Nutzen Betrachtung, die bisher aufgrund der verhältnismäßig geringen Mengen nicht zugunsten eines Abfallschlüssels für Feststoffe auf Komposttoiletten angestellt werden konnte.

Im Rahmen des Projektes legte die AVL Ludwigsburg in Abstimmung mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg für die gesammelten Feststoffe somit den Abfallschlüssel „20 03 04 Fäkalschlamm“ fest.

Dieser Abfallschlüssel beschreibt zwar Materialien, die menschliche Fäkalien enthalten, ist aber in Bezug auf die Eigenschaften Struktur, Wassergehalt, Gehalt organischer Substanz weit von den Feststoffen aus den Komposttoiletten entfernt. Bei den Feststoffen handelt es sich um eine stichfeste Masse aus ca. 60 Vol.-% Hobelspäne, 15 Vol.-% Toilettenpapier und 15 Vol.-% Kot und 10 Vol.-% Urin.

Neben dem Abfallschlüssel 20 03 04 gibt es eine Reihe weiterer Abfallschlüssel, die möglicherweise besser geeignet wären, die Feststoffe dezentral in existierenden Kompostieranlagen zu entsorgen. Hier aber den am besten geeigneten und gleichzeitig kompatibelsten zu benennen, ist derzeit noch nicht abgeschlossen und benötigt Unterstützung von politischer und behördlicher Seite.

Beispiele sind:

- 20 03 99: Siedlungsabfälle anders nicht genannt (a.n.g.)
- 02 01 06: Tierische Ausscheidungen, Gülle, Jauche und Stallmist (einschließlich verdorbenem Stroh), Abwässer, getrennt gesammelt und extern behandelt → *obwohl die Feststoffe von den Eigenschaften diesem Abfallschlüssel nahe sind, weigern sich viele Anlagen, diesen Abfallschlüssel bei den Feststoffen anzuwenden.*
- 20 02 01: biologisch abbaubare Abfälle
- (19 08 05: Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser → *Nur wenige Kompostieranlagen führen diesen Abfallschlüssel in ihrem Positivkatalog.*)

Hauptentscheidungskriterium beim Zuordnen eines passenden Abfallschlüssels sollte die ausreichende Hygienisierung sein, die sowohl aus wissenschaftlicher Sicht, als auch nach Bio-AbfV § 3(4)2 erfolgt, sobald folgende Temperaturen über eine bestimmte Dauer erreicht werden:

- 2 Wochen: $T > 55^{\circ}\text{C}$
- 1 Woche: $T > 60^{\circ}\text{C}$
- 3 Tage: $T > 65^{\circ}\text{C}$

Ein weiteres Argument zur Verwendung von wasserlosen Sanitärkonzepten und der Kompostierung der Feststoffe anstelle der Klärung von Abwässern aus konventionellen Spültoiletten in Kläranlagen findet sich im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG):

“Kern des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist die neue fünfstufige Abfallhierarchie (§ 6 KrWG) und ihre Umsetzung im bisherigen Grundpflichtenmodell (§§ 6 bis 8 KrWG). Die neue Hierarchie legt die grundsätzliche Stufenfolge aus Abfallvermeidung, Wiederverwendung, Recycling und sonstiger, u.a. energetischer Verwertung von Abfällen fest. Vorrang hat die jeweils beste Option aus Sicht des Umweltschutzes. Dabei sind neben den ökologischen Auswirkungen auch technische, wirtschaftliche und soziale Folgen zu berücksichtigen. Die Kreislaufwirtschaft wird somit konsequent auf die Abfallvermeidung und das Recycling

ausgerichtet, ohne etablierte ökologisch hochwertige Entsorgungsverfahren zu gefährden.⁵

2.6.2 Exkurs: Kompostierung von Fäkalstoffen bei der Abfallwirtschaft Rendsburg-Eckernförde GmbH (AWR) (Dezember 2015)

Die bisherigen Ergebnisse (vgl. 2.6.) basieren auf einem Versuch, der aus folgenden Gründen unter suboptimalen Bedingungen stattgefunden hat:

- Geringe Größe der Miete (vgl. Abbildung 15) führt dazu, dass die Miete stärker auskühlt und nur im Zentrum die zur Hygienisierung nötigen Temperaturen erreicht werden.
- Die Homogenisierung des Materials aus den Toiletten mit den Zuschlagstoffen wie auch die Umsetzung wurde mithilfe eines Baggers durchgeführt. Besser geeignet ist ein Mietenumsetzer, der vor Ort nicht verfügbar war.

Um repräsentativere Ergebnisse zu erhalten und in die Diskussion mit einzubringen, wurde daher bei der AWR ein Versuch durchgeführt, dem eine größere Menge an Feststoffen aus dem Betrieb von Goldeimer Toiletten zu Grunde lag und der von der professionellen Infrastruktur einer Kompostieranlage profitierte.

Die Fäkalstoffe, eine Mischung aus Fäzen und Sägespänen, wurden im Dezember 2015 bei der AWR in Mulden angeliefert. Die Fäkalstoffe wurden über einen längeren Zeitraum auf verschiedenen Festivals 2015 gesammelt. Bei dem Ausgangsstoff war zu erkennen, dass bereits biologische Abbauprozesse stattgefunden hatten. Es konnte eine deutliche Volumenreduzierung festgestellt werden. Des Weiteren war die gemessene Temperatur in dem Material angepasst an die Außentemperatur. Wenn es sich um frisches Material gehandelt hätte, wäre eine durch Abbauprozesse stattfindende Selbsterhitzung festzustellen gewesen.

⁵ <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/abfallpolitik/kreislaufwirtschaft/eckpunkte-des-neuen-kreislaufwirtschaftsgesetzes/>

Abbildung 18: Gesammeltes Fäkalstoffe von verschiedenen Festivals in 2015 zur Kompostierung mit Grünschnitt



Quelle: AWR GmbH

Das angelieferte Material (ca. 6,15 Mg) wurde durch einen Radlader mit frisch gehäckseltem Grünschnitt (ca. 12,25 Mg) gemischt und zu einer Miete aufgesetzt. Nach dem Aufsetzen der Miete wurde diese mit einem Mietenumsetzer der Firma Backhus homogenisiert. Danach wurden 3 Temperaturlogger in der Miete eingegraben, um die Temperaturentwicklung kontinuierlich aufzuzeichnen.

Abbildung 19: Miete mit Fäkalstoffen und Grünschnitt nach dem Homogenisieren mit dem Mietenumsetzer



Quelle: AWR GmbH

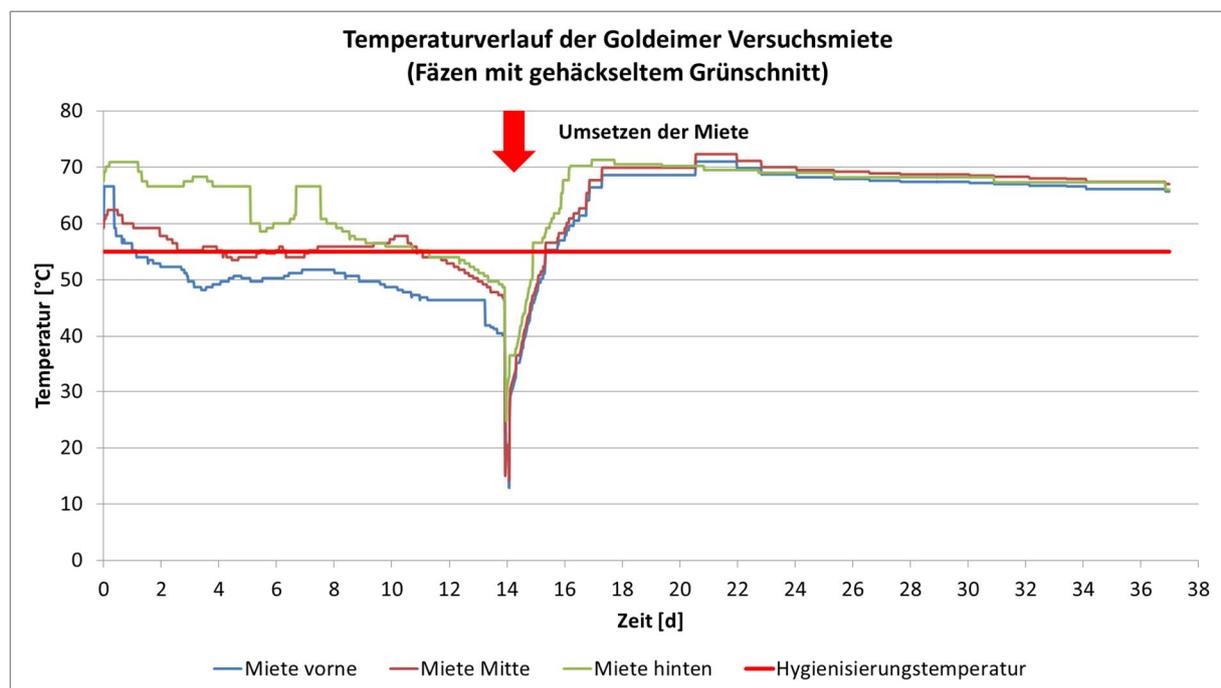
Vor dem nächsten Umsetzen der Miete nach 14 Tagen erfolgte an verschiedenen Stellen der Miete eine Probenahme. Die Einzelproben wurden zu einer Sammelprobe gemischt und homogenisiert. In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Analysenergebnisse dargestellt:

Parameter	Ergebnis	Einheit
Trockenrückstand	32,6	%-FM
pH-Wert	6,9	-
Glühverlust	69,1	%-TM
Salmonellen	Neg.	
E.coli	5.000.000	KBE/g

Coliforme Keime	1.000.000	KBE/g
Phosphor	1,68	%-TM
Kaliumoxid	0,90	%-TM
Magnesiumoxid	0,65	%-TM
Ammonium-N	12,3	mg/l FM

Die folgende Abbildung zeigt den Temperaturverlauf an drei Stellen in der aufgesetzten Miete. Nach dem Umsetzen der Miete an Tag 14 ist eine deutliche Heissrottephase zu erkennen, die die Hygienisierung des Materials sicherstellt.

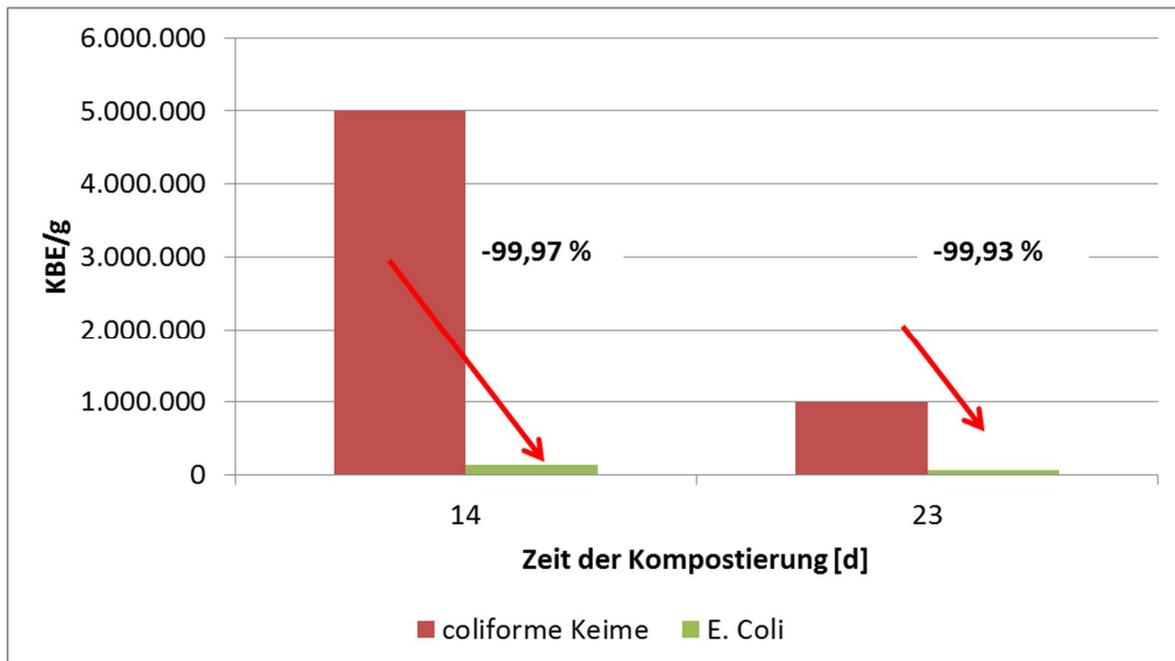
Abbildung 20: Temperaturverlauf in der Miete über den Versuchszeitraum (3 Temperaturlogger)



Quelle: AWR GmbH

Nach weiteren 9 Tagen wurde das Mietenmaterial erneut auf den E.coli-Gehalt und den Gehalt an coliformen Keimen untersucht. Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse:

Abbildung 21: E.coli-Gehalt und Gehalt an coliformen Keimen nach 14 bzw. 23 Tagen Kompostierung



Quelle: AWR GmbH

Sowohl der E.coli-Gehalt als auch der Gehalt an coliformen Keimen konnte durch die Kompostierung um mehr als 99 % reduziert werden. Die Kompostierung kann die Hygienisierung des Materials sicherstellen und stellt eine sinnvolle Verwertungsmöglichkeit dar. Durch die während der Kompostierung erreichten Temperaturen kann die hygienische Unbedenklichkeit des Materials erreicht werden.

Es wird an dieser Stelle also deutlich, dass durch eine größere Miete und eine optimierte Homogenisierung mittels Mietenumsetzer, sogar ohne Komposthilfsmittel und Pflanzenkohle, eine vollständige Hygienisierung des Materials erreicht wird und das Material als hygienisch unbedenklich zu betrachten ist.

2.7 Auswertungsworkshop am 10.11.2015

Zum Projektabschluss wurde ein Auswertungsworkshop durchgeführt, der am 10. November 2015 in Stuttgart stattfand. Die Tagesordnung sah folgende Programmpunkte vor:

- 11:30 Uhr Begrüßung durch Dr. Jörg Kopecz, Geschäftsführung Kirchentag
- 11:35 Uhr Einführung zum Projekt und der dahinterstehenden Intention (Christof Hertel/ Jobst Kraus und Dipl. Ing. Franz-Peter Heidenreich)
- 11:45 Uhr ein Kurzfilm zum Projekt
- 11:50 Uhr Rück-Blicke: Erfahrungen und Präsentation der wissenschaftlichen Ergebnisse
 - Trockentoiletten auf dem DEKT: Enno Schröder, Goldeimer, Hamburg
 - Erfahrungen mit der Kompostierung: Albrecht Tschackert, Ludwigsburg
 - Umsetzung von Fäkalstoffen und Einordnung des Wertstoffpotentials: Torsten Bettendorf, Hamburg

- Schadstoffgehalte in Fäkalien und im Kompost: Prof. Dr. Heidrun Steinmetz, Homa-Seyednejadian, ISWA, Stuttgart
- Kunst und Öffentlichkeitsarbeit und Befragung der Nutzer, Dr. Martina Winker, ISOE, Frankfurt, Bruno Nagel, Adelberg)
- Erfahrungen mit mitgenommenen Proben: Prof. Michael Weiß, Tübingen

13:30 Uhr kurze gemeinsame Mittagspause im Weltcafe

14:00 Uhr Stuttgart und wie weiter? Empfehlungen und Perspektiven, u.a.

- „Stuttgarter Lösung“ verallgemeinerbar für Kirchentag und andere Events?
- Was ist zu optimieren?
- Empfehlungen an Veranstalter, Kommunen und Politik,
- Verabredungen für den Leitfaden

15:45 Uhr Verabredungen

16:00 Uhr Ende des Workshops mit dem Kaffeetrinken

Aufgrund von Terminschwierigkeiten und Krankheit konnten nicht alle Eingeladenen teilnehmen (u.a. Bruno Nagel, so dass dieser Tagesordnungspunkt nur durch Dr. Winker bestritten wurde).

Schließlich nahmen folgende Personen teil:

- Kirchentag: Christof Hertel, Marian Ritter (jetzt Reformationsjubiläum 2017)
- Ständiger Ausschuss Umwelt des Kirchentages: Jobst Kraus
- Abfallverwertungsgesellschaft Landkreis Ludwigsburg: Albrecht Tschackert
- Bioland-Landwirt im Schwäbischen Wald, früherer Brot für die Welt Referent: Berthold Burkardt
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt: Franz-Peter Heidenreich
- Evangelische Akademie Bad Boll: Carmen Ketterl
- Goldeimer: Enno Schröder
- ISOE - Institut für sozial-ökologische Forschung: Dr. Martina Winker
- Stadt Ludwigsburg, Nachhaltige Stadtentwicklung: Friedrich Mainsch
- Stadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz: Peter Bühle
- Steinbeis-Innovationszentrum Organismische Mykologie und Mikrobiologie, an der Universität Tübingen: Prof. Dr. Michael Weiß
- Terra Pellet: Torsten Bettendorf
- Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau-, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA): Prof. Dr. Heidrun Steinmetz

Der Auswertungsworkshop diente zum gegenseitigen Kennenlernen und zur Diskussion der bis dahin vorgelegenen Erkenntnisse. Diese Erkenntnisse sind bereits zu großen Teilen in die Kapitel und Anhänge des hier vorliegenden Abschlussberichtes eingeflossen.

Gemeinsam wurde eine Veröffentlichungsstrategie entwickelt, damit die gewonnenen Erkenntnisse über den Erfahrungsbericht (vgl. das folgende Kapitel 2.8) hinaus publiziert werden können. Das Protokoll des Workshops ist im Anhang 5.3 zu finden.

2.8 Erstellung eines kleinen Abschlussberichtes (Leitfaden)

Die Veröffentlichung eines Erfahrungsberichtes wurde vorbereitet. Da auch noch Erkenntnisse integriert werden sollen, die erst nach dem Projektende gewonnen werden konnten, ist die aktualisierte Veröffentlichung noch nicht erfolgt.

2.9 Wissenschaftliches Begleitprogramm zur Bestimmung und Bewertung von Arzneimittelreststoffen aus Urin und Komposttoiletten von Großveranstaltungen

Da sowohl dem Kirchentag als auch der DBU sehr daran lag, die Frage der Rückstände (Medikamente, Schwermetalle) in den Fäkalien der Kirchentagsbesucher zu klären, wurde das Institut für Siedlungswasserwirtschaft an der Universität Stuttgart beauftragt, das Projekt wissenschaftlich zu begleiten und die Belastung und den Verbleib von Arzneimittelrückständen während des Kompostierungsprozesses und im Endprodukt zu erheben. Die Kompostierung wurde fortlaufend beprobt.

Abbildung 22: Probennahme durch das Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISWA) der Universität Stuttgart.



Quelle: Kirchentag 2015

Nach dem Analysestand ist der Kompost hinsichtlich Medikamenten unbedenklich. Die Schwermetallkonzentrationen im Kompost unterschreiten die Grenzwerte der BioAbfV. deutlich. Die Keimzahl im Kompost und Sickerwasser muss bei der Weiterverwendung des Kirchentagskompostes beachtet werden. Die Substanzen, die ggf. durch Zuschlagsstoffe eingebracht werden, können relevant sein (Bsp. Schwermetalle, aber z.B. PAK in Holzkohle, nicht gezielt untersucht).

Der detaillierte Bericht des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft (ISWA) der Universität Stuttgart kann der Anlage 5.5 entnommen werden.

2.10 Exkurs: Erfahrungen mit Proben am Steinbeis-Innovationszentrum Organismische Mykologie und Mikrobiologie

Wenngleich nicht Bestandteil des Projektes, gab es die Anfrage von Prof. Dr. Michael Weiß vom Steinbeis-Innovationszentrum Organismische Mykologie und Mikrobiologie an der Universität Tübingen nach organischem Probenmaterial des Kirchentages. Im Rahmen des Auswertungsworkshops berichtete Prof. Weiß von seinen Untersuchungen im Bereich der Mykologie und Mikrobiologie. Von der Veranstaltung erhielt er acht 60l-Fässer Biomasse, wovon 3 Fässer organische Abfälle des Gläsernen Restaurants des Kirchentages enthielten und fünf Fässer „Kirchentagsmist“. Drei Fässer (2 Toilettenabfall, 1 organischer Abfall) gingen nach Berlin und werden dort zu Wittenberger Schwarzerde umgewandelt. Der Prozess dauerte bis ins Frühjahr 2016. Die restlichen fünf Fässer (3 Toilettenabfall, 2 organischer Abfall) werden in Tübingen zu Württemberger Schwarzerde verwandelt. Dieser Prozess endete im November 2015. Der Prozess in Tübingen sieht eine Fermentation bei Raumtemperatur vor, wobei eine Probenahme kontinuierlich läuft. Diese Proben wurden eingefroren und am Ende abschließend gemeinsam ausgewertet. Die Populationsentwicklung läuft über PCR (Polymerase Chain Reaction). Eine semi-quantitative Analyse wird durchgeführt.

2.11 Diskussion der Ergebnisse

Die ursprüngliche Zielsetzung des Vorhabens konnte weitestgehend umgesetzt werden. Es wurden während des Kirchentages Komposttoiletten aufgestellt, genutzt und Nachhaltigkeitskommunikation in den Bereichen Ressourcenschonung, Stoffstrommanagement, Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz umgesetzt. Die Komposttoilettennutzung wurde auch im Rahmen des EMAS-Umweltmanagements des Kirchentages betrachtet.

Im Laufe des Projektes konnte auf der technisch-praktischen Ebene

- die Tauglichkeit dieser umweltfreundlichen Alternativ-Lösung vor allem auch für kommende Kirchentage und das Reformationsjubiläum erprobt werden,
- die Mengen- und Schadstoffbilanz mobiler Toilettennutzung nur für die Komposttoiletten erfasst werden,
- die Vor- und Nachteile von Kompost im Vergleich zu sogenannten Chemietoiletten zusammengestellt und bewertet werden,
- die Verwendungsmöglichkeit von NASS Produkten (Clemens u.a.) als Düngemittel konnte im Rahmen des Projektes nur angerissen werden. Hier besteht noch großer Klärungsbedarf.
- die Weiterverwendung der NASS – Produkte (Londong) für die sehr geringe Menge geklärt und praktisch umgesetzt werden, allerdings ist diese Lösung nicht für den Regeleinsatz skalierbar, auch wurde auf die Sammlung von Urin verzichtet, da eine Kanalisation am Standort vorhanden ist. Auch in diesem Fall herrscht Klärungsbedarf.
- der Betreuungs- und Kostenaufwand der unterschiedlichen Systeme miteinander verglichen werden,
- die Wahrnehmung und Akzeptanz von Komposttoiletten durch die Besucher/Nutzer erhoben werden,
- die gastgebende Stadt Stuttgart für eine Kooperation insofern gewonnen werden, dass das Gesundheitsamt sich die Komposttoiletten vorab angeschaut und überprüft hat. Bei der Bereitstellung von Material und Fläche für die Kompostierung und der Weiterverwendung des Kompostes konnte jedoch nur im benachbarten Landkreis

Ludwigsburg ein Kooperationspartner (AVL GmbH) gefunden werden. Die AVL organisierte eigenständig die Abstimmung mit dem Regierungspräsidium Stuttgart und stellte eine Versuchsfläche auf der Deponie Am Burghof zur Verfügung.

- exemplarisch eine nachhaltige Entwicklung bei mobilen Toilettenanlagen bei Großveranstaltungen und Events jenseits von Open-Air – Festivals angestoßen werden;
- die Organisation der tatsächlichen Schließung der Nährstoffkreisläufe, bzw. der Organisation der Weiterverwendung getestet werden.
- im Rahmen der Workshops auch bei konventionellen Techniken wie auch Anbietern (z.B. TOI-TOI/DIXI) ein Prozess zur Veränderung in Gang gesetzt werden (ADCO),
- langfristig dazu beigetragen werden, dass Stoffkreisläufe wieder geschlossen und keine unnötigen Umweltbelastungen verursacht werden.

Die Zielsetzungen im Blick auf die unterschiedlichen Akteure wie Kirchentagsteilnehmende (100.000 Dauerteilnehmende), Kirchentags-Helfende (5.000) wie auch sonstige Mitwirkende und die breite Öffentlichkeit konnten größtenteils erreicht werden. Diese waren:

- Die Bekanntmachung eines alternativen Ressourcen schonenden Toilettenkonzepts als Teil eines umfassenden Ressourcenmanagements gegenüber einer breiteren Öffentlichkeit sowie besonders gegenüber Akteuren im Bereich kommunaler Abfallwirtschaft, Landschaftspflege und Groß-Event – Betreuung;
- Die Sensibilisierung für den Umgang mit Wasser und Abwasser und dessen ökologische, soziale und globale Implikationen.
- Die Sensibilisierung für einen in der gegenwärtigen westlichen Industrie-Kultur eher tabuisierten Bereich und der Wiederentdeckung von Zusammenhängen an einzelnen Stoffströmen (Phosphor als „Lebensmittel“ und knapper Rohstoff, Trennung von landwirtschaftlicher Produktion und organischen Abfällen).
- Einen Anstoß zu geben, das eigene Nutzerverhalten und die damit verbundene Sanitärkultur – die „flush and forget“ - Mentalität und die entsprechende Haltung zu verändern.
- Die Informationsvermittlung zu Funktionsweise und Sinnhaftigkeit von Komposttoiletten und deren Beitrag zu Ressourcenschonung und Klimaschutz.
- Die Vermittlung, dass Urin und Faeces keine Abfälle, sondern erhaltenswerte Wertstoffe sind und in Klär-Anlagen längst nicht alles geklärt wird und es daher wichtig ist, was in den Abfluss kommt.
- Wahrnehmung der Toilettenprodukte als Wert- und Nährstoffe - statt als Abwasser und Entsorgung und Verweis auf den Kreislauf „vom Essen zum Essen“.
- Initiierung eines Fach- wie auch öffentlichen Diskurses über Perspektiven einer nachhaltigen technisch wie sozial-innovativen Entwicklung in einem eher tabuisierten Bereich privater Hygiene.
- Vermittlung konkreter „Transformationsimpulse“ im Bereich kommunaler Abfall- und Abwasserwirtschaft, bei Kompostierbetrieben und Eventorganisationen, aber auch im Bereich des ökologischen Landbaus, dem jährlich ca. 4.000 Tonnen Phosphor über die Nahrungsmittelproduktion entzogen werden (Fischinger⁶).
- Da der Kirchentag auch Referenten und Gäste aus aller Welt anzieht, konnte auch hier ein internationaler Impuls gesetzt werden, über eine angepasste Sanitärtechnologie und das Recycling der anfallenden Stoffe neu nachzudenken.

⁶ Fischinger/Möller/Römer/Steffens, Phosphor im Kreislauf in BIOLAND.

Unter ökologischen Gesichtspunkten können die Vorhabensergebnisse im Rahmen des Pilotprojektes als Erfolg gewertet werden, wenngleich der Energieaufwand für Transport und Begutachtung höher waren als dies im Regelbetrieb der Fall sein wird. Es konnte gezeigt werden, dass im Gegensatz zur Klärschlammverbrennung die Komposttoilette einen Beitrag zum Humusaufbau des Bodens leisten kann.

Unter technologischen Gesichtspunkten kann gesagt werden, dass in allen Bereichen der Komposttoilettenkette Verbesserungspotentiale vorhanden sind, die insbesondere durch das Wachstum aus der Nische heraus möglich sein sollten. Einerseits hält der deutsche Markt nur sehr geringe Kapazitäten von Komposttoiletten vor, was sich aber sicherlich mit einem Anziehen der Nachfrage ändern würde. Die Toilette des genutzten Anbieters selbst bietet Design- und Funktionalitätspotentiale hinsichtlich der Barrierefreiheit der Toiletten. Andererseits hinken die gesetzlichen Regelungen diesem schnell wachsenden Marktsegment hinterher, da hier traditionell von Abwasser ausgegangen wird, es sich aber zu einem Abfall wandelt. Die Fäzes wird nicht heruntergespült, sondern als Feststoff weiterverwendet. Hier muss für die Anbieter von Komposttoiletten Rechtssicherheit hinsichtlich der Abfallschlüssel und weiterer gesetzlicher Anforderungen getroffen werden.

Überraschenderweise waren in der Kommunikation insbesondere Entscheidungsträger, nicht nur des Kirchentages, von der Sinnhaftigkeit des Konzeptes zu überzeugen. Die Nutzer gingen eher pragmatisch und auch neugierig mit den Komposttoiletten um. Allerdings konnten auch bei allen beiden Standorten konventionelle Toiletten in etwa 150 Metern Entfernung erreicht werden.

Ökonomische Gesichtspunkte sind aufgrund des Pilotcharakters und der fehlenden flächendeckenden Anbieter von Toiletten und Kompostierungsmöglichkeiten schwierig zu betrachten. Da es sich um ein sehr hohes Servicelevel gehandelt hat, war die durchaus kostenintensivere Leistung, die mit Hilfe der Komposttoiletten erbracht wurden, nachvollziehbar.

Die Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse können zusammengefasst werden in weiteren Aktionen und Präsentationen, weiteren Forschungen und den Publikationsvorhaben.

Der Kirchentag selbst publiziert das Projekt über die Internetseite kirchentag.de/humusbildung sowie über den herauszugebenden Erfahrungsbericht. Ansonsten wird das Projekt als ein Abschnitt im Rahmen von Artikeln und Präsentationen, die von verschiedenen Umweltprojekten des Kirchentages handeln, beschrieben. Besonders hinzuweisen ist auf die Veröffentlichung im Rahmen der Umwelterklärung (Kirchentag, 2015), sowie im Rahmen des Dokumentarbandes des Kirchentages (Kraus & Terodde, 2016). Im Rahmen eines Vortrages auf der Best-of-Events am 20. Januar 2016 in Dortmund wurde u.a. das Komposttoilettenprojekt vorgestellt. Unter dem Motto „Aus Mist wird Most“ wurde nach Projektende am 28. November 2016 mit einer öffentlichkeitswirksamen Baumpflanzaktion im Gemeinschaftsgarten "Niemand's Land", hinter der Kapelle der Versöhnung, Bernauer Str. 4, 10115 Berlin durch den 36. Deutsche Evangelische Kirchentag Berlin 2017 e.V. mit Komposttoiletterde der Abschluss des Kreislaufes symbolisch dargestellt (vgl.). Bei verschiedenen Projektbeteiligten gibt es Interesse an einer weiteren Fortführung der Forschungen. Neu hinzugekommen ist das Steinbeis-Innovationszentrum Organismische Mykologie und Mikrobiologie, welches Proben des Mistes für weitere Langzeituntersuchungen vom Kirchentag erhalten hat.

Abbildung 23: „Aus Mist wird Most“ war nach Projektende das Motto am 28. November 2016 bei der Baumpflanzaktion mit Kirchentagskompost im Gemeinschaftsgarten "Niemand's Land" in Berlin



Quelle: Kirchentag 2016

Abschließend sind die Publikationsüberlegungen, die im Rahmen des Auswertungsworkshops besprochen und durch Martina Winker am 10.12.2015 zusammengestellt worden sind, dokumentiert:

Publikationen zu einzelnen inhaltlichen Bausteinen:

Martina Winker, Barbara Birzle-Harder. Nutzererfahrungen im Umgang mit Komposttoiletten auf einer deutschen Open-Air Großveranstaltung.

Ort: Stadt und Grün, oder auch zeo2, taz

Inhaltliche Idee: Kurze Vorstellung des Gesamtkonzepts, Detaillierte Darstellung der Befragungsergebnisse

Heidrun Steinmetz, Timo Pittmann, Bertram Kuch, Homa Seyednejadian. Heavy metals, organic micropollutants and pathogens in public fecal matter collected at a large German open air exhibition and their behavior during composting. Englische Publikation.

Inhaltliche Idee: Vorstellung der zentralen Ergebnisse aus den Stuttgarter Analysen, flankiert durch Vorstellung des Gesamt-/Untersuchungskonzepts

Kürzere Publikationen:

Zielgruppenorientierte Vorstellung Gesamtkonzept und Ergebnisse

Enno Schröder, Torsten Bettendorf, Albrecht Tschackert, Martina Winker, Heidrun Steinmetz, Marian Ritter. Komposttoiletten auf dem Stuttgarter Kirchentag: Technisches Konzept, Erfahrungen, Produkte. Wasser & Abfall bzw. Müll + Abfall.

Martina Winker, Jobst Kraus. Alternativen in der Planung von städtischen Großveranstaltungen – Ressourcenschonung durch wasserlose Toiletten. Erfahrungen vom Stuttgarter Evangelischen Kirchentag. Die Planerin bzw. AKP.

Torsten Bettendorf, Enno Schröder, Albrecht Tschackert, Martina Winker, Heidrun Steinmetz, Christof Hertel. Inwiefern sind Komposttoiletten eine gute Alternative in der Durchführung städtischer Großevents: ein neues Sanitärkonzept entsteht. der Gemeinderat bzw. Magazin des Landkreistages Baden-Württemberg, VKS news – Magazin des Verbandes kommunaler Unternehmen (Sparte Abfallwirtschaft und Städtereinigung)
Inhaltlicher Vorschlag TB: Den Bogen vom DEKT aus weiter spannen bzgl. anderer Einsatzmöglichkeiten in der Stadt.

Enno Schröder, Jobst Kraus, Christof Hertel, Marian Ritter. Komposttoiletten – die umweltfreundliche Sanitäre Lösung für Großveranstaltungen und Open-Air-Events.
<http://www.musikmarkt.de/> / <http://www.musikexpress.de/> / <http://www.production-partner.de/>.

Jobst Kraus, Christof Hertel, Enno Schröder, Martina Winker. Wie können wir Großveranstaltungen der Kirchen noch nachhaltiger gestalten. Das „stille Örtchen“ im Blick. Chrismon bzw. Kirchentagsmagazin.

Diskursanregung bei Urban Gardening – Initiativen und Schrebergärtnern:

Siehe: http://www.kleingartenbund.de/publikationen/gruene_schriftenreihe/gruene_schriftenreihe_235;
Ggf. hierzu über Blogs gehen zu urban gardening in Stuttgart.

3. Fazit

Die Komposttoiletten waren stets funktionsbereit und wurden an allen Tagen des Kirchentages ausgiebig genutzt.

Der Schwerpunkt der Arbeiten lag einerseits in der Kommunikation über das Konzept der Komposttoilette und den damit zusammenhängenden Fragestellungen. Die Kommunikation mit Hilfe einer praktischen Anwendung und einer eher unüblichen, auch künstlerischen Gestaltung war gelungen und konnte seinen Kommunikationszweck in vielen Dimensionen erfüllen.

Da es sich, anders als bei mehrtägigen Musikfestivals, um Tagesgäste im NeckarPark handelte, wurde die Menge an Fäzes, auch im Vergleich zu Urin im Vorfeld überschätzt.

Die Kompostierung funktionierte jedoch trotz der geringen Menge gut. Die Ergänzung um einen weiteren Versuch, der unter repräsentativeren Bedingungen (mit größeren Mengen) bei

einer Kompostieranlage in Rendsburg (AWR) stattgefunden hat, konnte sogar eine vollständige Hygienisierung bestätigen. Die Untersuchungsergebnisse der Uni Stuttgart bilden eine sehr gute Grundlage für die Bewertung von Kompost aus Fäzes. Leider nicht umsetzbar war die Gewinnung von Struvit oder die getrennte Sammlung von Urin zur Herstellung von Düngemittel.

Das Konzept Komposttoilette bedarf der anwendungsorientierten Weiterentwicklung auf verschiedenen Ebenen:

Die Toilettenkabinen aller Anbieter sind unter Funktionalitätsaspekten noch nicht mit den herkömmlichen Toilettensystemen aufgeschlossen. Die Weiterentwicklung zu Toiletten, die beispielsweise auch von Menschen im Rollstuhl/Rollator genutzt werden können, steht noch aus. Auch sollte der Toilettengang selbsterklärend und einfach sein (z.B. mit Einstreu direkt in der Kabine).

Darüber hinaus erscheint es notwendig, dass die Branche weiter wächst und höhere Kapazitäten anbieten kann, um überhaupt in relevante Marktsegmente einsteigen zu können.

Für eine glaubwürdige Kommunikation ist es notwendig, dass die gesamte Verwertungskette nachhaltig und nachvollziehbar ist und am Ende ein Produkt entsteht, das der Bodengesundheit und dem Humusaufbau dient. Gerade auch im Bereich des Urins sollten Lösungen gefunden werden, die beispielsweise eine Abscheidung von Struvit vor Ort ermöglichen und so den Phosphorkreislauf schließen helfen.

Am Wichtigsten erscheint jedoch eine konsistente, anwendungsfreundliche Regulierung hinsichtlich des zu verwendenden Abfallschlüssels (derzeit gibt es ca. 880 verschiedene Abfallschlüssel) oder die Entwicklung eines neuen Abfallschlüssels. Es besteht konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der nicht privatwirtschaftlich geleistet werden kann, sondern durch ein ökologisches Forschungsinstitut das in der Zusammenarbeit mit der Verwaltung, Entsorgungsbetrieben und Komposttoilettenverleiher Vorschläge erarbeitet, die in die Abfallverzeichnis-Verordnung aufgenommen werden. Damit ist die Frage verbunden, welche Kompostierungsanlagen für die Annahme des Mistes geeignet und sinnvoll sind. So könnte ein deutschlandweites Netz von Kompostierungsanlagen entstehen, die diesen Abfallschlüssel entgegennehmen. Lange Anfahrtswege könnten vermieden werden. Dabei ist auch zu klären, ob es weitere Anlagen gibt, wie beispielsweise Biovergärungsanlagen, die für eine sinnvolle Verarbeitung geeignet sind. Am Ende muss ein stabiles Produkt entstehen, um eine Düngemitteldeklaration (wie etwa das Produkt MAP, Magnesiumammoniumphosphat⁷) für diesen Kompost zu beantragen und zu bekommen können. Keine Lösung kann sein, dass der Mist, wie heutzutage z.T. auch praktiziert, in einer Kläranlage und anschließend in einer Klärschlammverbrennungsanlage entsorgt wird.

Auch die Ableitung von unbehandeltem Urin in die Kanalisation sollte nicht auf Dauer Teil eines Komposttoiletten-Konzeptes sein. Auch hier bedarf es der Entwicklung von anwendungsorientierten Lösungen.

⁷ Vgl. z.B. www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2016/Juni/ifat2016-duenger-aus-abwasser.html

4. Literaturverzeichnis

- (ADCO) Firma ADCO Umweltdienste Holding, Gespräche mit einem Vertreter dieser Firma, die selbst auch Weiterentwicklungen im Blick hat, die aber derzeit unrentabel sind und von Kunden nicht akzeptiert werden
- (Albrecht), Bernhard Albrecht, Die Notdurft, die erfinderisch macht, in GEO 6/2012
- (BiogaST) BiogaST der TU Berlin "CaSa" - Carbonization and Sanitation " siehe: <http://www.ingenieure-ohne-grenzen.org/de/Regionalgruppen/Berlin/Projekte/Biogas-support-for-Tanzania-BiogaST>
- (Bodenatlas), Heinrich Böll-Stiftung, BUND u.a. Bodenatlas Berlin 2015
- (Clemens u.a.) Produkte aus neuartigen Sanitärsystemen in der Landwirtschaft, in KA Korrespondenz Abwasser, Abfall · 2008 (55) · Nr. 10
- (Düngeverordnung - DüV) Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV), DüV vom 10.01.2006
- (Fischinger) Fischinger, Möller, Römer, Steffens, Phosphor im Kreislauf. Um die Phosphorversorgung des ökologischen Landbaus nachhaltig zu sichern, muss heute wieder über die Nutzung von kommunalen Abwässern nachgedacht werden; in Bioland 12/2014.
- (GCSM) Global Conference on Sustainable Manufacturing: GCSM Blue Responsibility Award: Manufacturing for a Sustainable Terra Preta Sanitation System; Berlin 2014; siehe auch Seliger, Sustainable manufacturing – A German perspective on shaping global value creation; Berlin 2014
- (Kirchentag 2015) 35. Deutscher Evangelischer Kirchentag Stuttgart 2015 e.V. (Hrsg.): Umwelterklärung. www.kirchentag.de/fileadmin/dateien/zzz_NEUER_BAUM/Ueber_uns/Umweltengagement/PDF/Umweltmanagement/DEKT35_Umwelterklaerung.pdf
- (Kraus & Terodde, 2016) Kraus, Jobst & Karin Terodde: „Die meinen es ernst!“ – Einblicke in das Umweltmanagement des Kirchentages in Stuttgart. In: Deutscher Evangelischer Kirchentag et al. (Hrsg.): Deutscher Evangelischer Kirchentag Stuttgart 2015: Dokumente. S.632-637. Gütersloh.
- (Londong), Jörg Londong, Was sind Neuartige Sanitärsysteme(NASS), Weimar
- (Natural Event), Exposee Natural Event siehe
- (Schmidt) Schmidt, HP: Terra Preta, Pflanzenkohle, Klimafarming, Ithaka-Journal, 2009, ISSN 1663-0521
- (SANIRESCH), gleichnamiges Projekt bei der Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit GIZ, Erfahrungsberichte siehe auf der Projekt-Web-Seite: www.saniresch.de
- (Wagner) Wagner, König, Schatten, Rößler, Terytze: Utilization of organic waste in the Botanic Garden Berlin by producing and applying biochar substrates - Introduction and first results of the terraboga –project; Download über: <http://www.terra-pretas-sanitation.net/cms/index.php?id=58>
- (Ministerium für Umwelt) Ministerium für Umwelt, Klima und Energie Baden-Württemberg, Phosphorrückgewinnungsstrategie

5. Anhang

Inhalt des Anhangs

5.1 HUMUSBILDUNG oder auf „stillen Örtchen“ die Welt bewegen

5.2 Protokoll Auftaktworkshop

5.3 Protokoll Auswertungsworkshop

5.4 Anhang Nutzerbefragung

5.5 Abschlussbericht der Projektergänzung

5.1 HUMUSBILDUNG oder auf „stillen Örtchen“ die Welt bewegen

Ein Projekt des Kirchentages zur Wiederentdeckung von Ressourcenschonung, Kreislaufwirtschaft, CO₂ Speicherung und Humusgewinnung - eine Einladung zum (Mit-)Machen

WAS sind Sie gewohnt

Ihre eigene Toilette zu Hause - ein vertrauter Ort. Eine Komposttoilette erinnert stattdessen an früher und wird nur „zur Not“ aufgesucht. Im Unterschied zu Ihrem Klo zu Hause wird hier nicht mit Wasser gespült. In Ihrem Zuhause sind die Toiletten – wie 95 % aller Toiletten in Deutschland – an eine zentrale Kläranlage angeschlossen, in der alles zusammenkommt, Abwasser aus Haushalten und Betrieben, Chemikalien, Fette, Arzneimittelreste – und das Wenigste wird dabei geklärt. Mit jeder Spülung heißt es: „Aus den Augen, aus dem Sinn“. Kläranlagen sorgen anschließend mit viel Aufwand und dennoch niemals vollständig dafür, dass die miteinander vermischten Nährstoff- und Wasser-Kreisläufe wieder voneinander getrennt werden. Übrig bleiben gering belastetes Wasser und die Reste unserer Fäkalien als ein Abfallprodukt, das nur bedingt nutzbar ist. Da die in unseren Ausscheidungen enthaltenen Nährstoffe nach der Behandlung in Kläranlagen größtenteils entsorgt oder verbrannt werden, finden sie nicht den Weg zurück auf die Felder. Durch das Fehlen der Nährstoffe ist der Kreislauf auf den landwirtschaftlichen Flächen unterbrochen und muss stattdessen mit energetisch aufwendig produzierten chemischen Düngern (fast 2 % des weltweiten Energieverbrauchs) künstlich geschlossen werden. Daran möchte das Projekt durch die Verwendung einer Trocken-Toilette und einer Trennung von Fäzes und Urin und die Weiterverarbeitung Ihrer Fäkalien zu Humus etwas ändern.

WAS Sie machen – Ihr Geschäft

Jeder Mensch produziert pro Tag ca. 1,5 kg Fäkalien, bestehend aus 1,3 Liter Urin und ca. 200 g Fäzes. Stünden die in Deutschland anfallenden Fäkalien vollständig als Düngemittel zur Verfügung, könnten zwischen 20 bis 30 Prozent der Phosphor-, Stickstoff- und Kaliummineraldünger ersetzt werden. Dies entspräche in Deutschland einem potenziellen Wert von etwa 730 Millionen Euro pro Jahr und einer jährlichen Einsparung von ca. 2 Mio. Tonnen CO₂ durch den geringeren Einsatz von Mineraldünger. Urin ähnelt aufgrund des geringen Anteils organischer Substanz und hohen Harnstoffgehalts eher einem Mineraldünger, während ein Kompost aus Fäkalien ein organischer Dünger mit hohem Humusgehalt ist. Im Rahmen des Projektes wird nur der Urin in das Klärsystem abgeleitet. Dies hat den Vorteil, dass sich die Feststoffe einschließlich der Wertstoffe Phosphor, Kalium und Stickstoff und der von Ihnen nachgeworfenen Hobelspäne und Pflanzenkohle besser zu Kompost verarbeiten lassen. Pflanzenkohle dient hierbei nicht nur zur Hygienisierung und Geruchsdämpfung, sondern auch der Kohlenstoffanreicherung im fertigen Humus. Sie hinterlassen also Wertstoffe, die der Kirchentag der Natur als HUMUS wieder zurückgibt.

WAS macht der Kirchentag aus Ihrem Mist?

Der Kirchentag nutzt schon lange mobile Toilettenanlagen für den „Abend der Begegnung“, den Schlussgottesdienst und für seine Zeltstadt. Anlässlich des Internationalen Jahres des Bodens werden erstmals auch etwa 50 Komposttoiletten eingesetzt, um aus dem „Mist“ der Kirchentagsgäste Humus herzustellen. Normalerweise werden die mit Duft- und Desinfektionsmitteln behandelten Fäkalien aus den Chemietoiletten abgepumpt und in eine Kläranlage

gefahren. Zur Ressourcenschonung (kein Wasser, keine Chemie), Rohstoffnutzung (Phosphor, Kalium, Stickstoff) und Kreislaufwirtschaft (Humusgewinnung) werden die mit Toilettenpapier und Holzkohle durchsetzten Fäzes mit gehäckselten Birkenzweigen und Grasschnitt vermischt kompostiert und so etwa 10 bis 20 Kubikmeter Humus produziert. Vor und nach der etwa sechsmonatigen Kompostierung wird der Kompost auf Arzneimittelrückstände untersucht. Weiterhin ist für die Verwertung des Komposts die Frage nach der hygienischen Unbedenklichkeit und eventuellen Schwermetallbelastungen bedeutsam. Der fertige Humus kann dann beispielsweise zur Pflanzung von Apfelbäumen genutzt werden.

WOZU das Ganze?

Seit Jahren versucht der Kirchentag, sich nachhaltig weiterzuentwickeln. Neben Projekten wie dem Gläsernen Restaurant mit einer öko-fairen Verpflegung, dem Einsatz von Lastenrädern, der Stromproduktion von kirchentagseigenen Windanlagen u.v.a. mehr möchte der Kirchentag auch in einem eher tabuisierten Bereich neue Wege gehen und auf Probleme aufmerksam machen, die mit der üblichen Praxis der Wasserspültoilette und der sich anschließenden Schwemmkanalisation verbunden sind. Die Praxis der Wasserspülung ist angesichts global wachsender Wasserknappheit bei gleichzeitig dramatischem Rückgang fruchtbarer Böden kritisch zu betrachten. Angesichts der Vielzahl globaler Herausforderungen wie Klimawandel, Bodendegradation, Endlichkeit der Phosphor- und Kaliumvorkommen, Kostbarkeit von sauberem Trinkwasser und bestehenden Hygieneproblemen braucht es neuartige Sanitärsysteme (NASS), die Trinkwasser sparen und die vorhandenen Wertstoffe in den Kreislauf zurückführen. Der Bau und der Einsatz von Trockentoiletten mit der Nutzung der Fäzes zur HUMUSBILDUNG kann - bei sachgemäßer Anwendung – sozial und ökologisch sinnvoll sein. Es gibt zahlreiche Anwendungsbereiche, in denen eine Chemie- oder Wassertoilette durch Komposttoiletten sinnvoll ersetzt werden könnte.

Es gibt schon erste kommunale und private Projekte u.a. im botanischen Garten in Berlin.

Mit seinem Projekt HUMUSBILDUNG möchte der Kirchentag zu Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft öffentlich anregen.

Am Projekt HUMUSBILDUNG des Deutschen Evangelischen Kirchentages sind beteiligt: AVL Abfallverwertungsgesellschaft des Landkreises Ludwigsburg mbH, Goldeimer GmbH, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Stuttgart, ISOE - Institut für sozial-ökologische Forschung, Bruno Nagel - Sprachbehäusung, Terrapelle. Finanziell gefördert wird das Projekt durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (AZ 32799/01).

Ergebnisse des Projektes werden unter www.kirchentag.de/humusbildung veröffentlicht.

Ansprechpartner: Christof Hertel, umwelt@kirchentag.de

5.2 Protokoll Auftaktworkshop

Auftaktworkshops zum Projekt „Nutzung von Komposttoiletten auf dem Stuttgarter Kirchentag“

Ort Geschäftsstelle des Kirchentages (Raum Karlshöhe im 2.Stock)

Datum 22/04/2015

Zeit 10.00 bis 16:00 Uhr

Teilnehmer:

Evangelischer Kirchentag: Christof Hertel, Jobst Kraus, Marian Ritter (nachmittags)

Bundesministerium für Umweltschutz und Reaktorsicherheit: Dr. Haiko Pieplow

Goldeimer: Enno Schröder

Terra Pellet: Torsten Bettendorf, Thomas Voß

ISOE - Institut für sozial-ökologische Forschung: Dr. Martina Winker

Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau- Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA): Prof. Dr. Heidrun Steinmetz (vormittags), Homa Seyednejadian

Privat: Peter-Nils Grönwall (ehemals BSU, Hamburg)

Steinbeis-Innovationszentrum Organismische Mykologie und Mikrobiologie, an der Universität Tübingen: Prof. Dr. Michael Weiß

Amt für Umweltschutz: Peter Bühle

ADCO Umweltdienste : Andre Bohnewitz (Leiter der Entwicklungsabteilung)

Bruno Nagel, Künstler

Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften: PD Dr. Kurt Möller (nachmittags)

Hinweis: die Kürzel aus Vornamen und Nachnamen werden im Protokoll selbst als Abkürzungen für die jeweiligen Personen verwandt. Beispiel: CH = Christof Hertel.

Top 1: Begrüßung

Carsten Kranz, Geschäftsführung Deutscher Evangelischer Kirchentag.

Top 2: Vorstellungsrunde

Gegenseitige Vorstellung der Teilnehmer.

Top 3: Projektintention und –genese (C. Hertel und J. Kraus)

Siehe PPP.

Standorte:

einer direkt am Haupteingang und einer in der Nähe des grünen Zeltes und eine Modell-Toilette ohne Benützung als „Klugscheißerecke“ in die MachBar integriert.

Verteilung der Toiletten nach Geschlecht: Komposttoiletten als Unisextoiletten, 179 Damentoiletten, 86 Herrentoiletten, 200 Urinale

Gründe für den Kirchentag (KiTa):

- Prüfung des Konzepts für weitere Veranstaltungen; Testlauf für Wittenberg
- Ausstrahlung auf andere Event-Bereiche und Anwendungsmöglichkeiten
- Kritik an der expansiven Moderne, Beispiel für eine reduktive Moderne mit Ressourcenschonung, Kreislaufwirtschaft, Stoffstrommanagement

Auf dem Kirchentag thematisch begleitet durch die MachBar mit einer „Klugscheißerecke“. Hier findet die Ö-Arbeit zum Projekt/Thema statt. -> Tabuisierten Bereich ins Gespräch bringen. Umweltprojekt in Verbindung mit „Nachhaltigkeitskommunikation“. Kirchentag als wanderndes Innovationszentrum und Reallabor für die Städte.

Weiteres Ziel: Leitfaden zur Nutzung von Komposttoiletten auf Veranstaltungen (auch für weitere Kirchentage) zum Abschluss des Projektes

Input:

Richtung Terra preta weiterzudenken. Beispielprojekt: Berliner Festival von H. Pieplow begleitet. Berliner Senat hatte keine Bedenken. Einstieg über Küchenabfälle erfolgt (einfacher). Nicht für Stuttgart, aber möglicherweise in Berlin/Wittenberg realisierbar.

Top 4 – Komposttoiletten (Enno Schröder)

Siehe PPP.

Weitere Punkte aus dem Vortrag:

Verwendung von Einstreu führt zur Geruchsbindung und bedeckt (Ästhetik). Desto besser beleuchtet, desto sauberer bleiben die Toiletten im Betrieb. „Splash-Effekt“ ist geringer im Vergleich zu Chemietoiletten (sagen die Nutzer).

Rückfragen:

Urin? Warum keine wasserlosen Urinale? Großer Urinanfall weniger Feststoffe. – CH: 200 Urinalplätze beim Kirchentag vorgesehen (geht direkt in die Kanalisation), 300 Toilettenplätze, 50 davon sind Komposttoiletten. Optimal wäre es, Urinalplätze neben den Komposttoiletten anzubieten für die bessere Lenkung der „Nutzerströme“.

Behindertengerechte Toilette? Noch nicht im Konzept. Wie steht das im Einklang mit dem Anspruch des Kirchentags? – zu klären: andere behindertengerechte Toilette in der Nachbarschaft oder aber umgebaute Komposttoilette (ist das noch machbar?)

Paletten unter den Toiletten – wie auf dem Foto in der PPP geht nicht. Stufen mit Handgeländer (Unfallverhütung/Sicherheit) sind wichtig. Stufen sind „einschränkend“ für Menschen mit Behinderung. – ES: aktuelles Modell hat 3 Treppenstufen mit genormten Stufen, rutschfest. Geländer und Handgriffe gibt es nicht, es sind jedoch betreute Stationen, wo Personen gegebenenfalls zur Verfügung stehen.

Weitere Punkte aus der Diskussion:

Andere Rest-/Feststoffe, die in den Toiletten gefunden wurden: Abfall, Spritzen (Drogen), etc. schwierig für die Weiterbehandlung.

Exzellente Trockentoiletten im öffentlichen Bereich gibt es in USA, NL und den Niederlanden.

Einstreu: warum Sägespäne? Warum nicht Kohlenstoff/Holzkohlestaub?

Für die Durchführung des Kirchentags nochmals zu prüfen/klären:

Sicherheitsstandards, Urinalangebot, Behindertengerechte Toilette am Stellplatz

Top 5 – Überlegungen aus wissenschaftlicher Sicht **5a. Kompostierung / Weiterverwertung (Thorsten Bettendorf)**

Siehe PPP; Weitere Punkte aus dem Vortrag:

In der Produktaufbereitung werden Störstoffe und große Materialteile wieder entfernt. Erfolgreiche Kompostierung wird über die Zuschlagstoffe gesteuert.

Diskussion:

Heißrotte ist das adäquate Verfahren (H. Pieplow). Holzkohlestaub besser als Sägespäne. Sind auf dem Markt erhältlich. Es gibt keinen Abfallschlüssel für Fäkalien. Man braucht keinen separaten Platz sondern nur separate Mieten. Gegebenenfalls Zusammenarbeit mit Landwirt sonst anstreben

Exkurs - Stand der „Platzsuche“ in Stuttgart:

Kompostplatz in Zuffenhausen wird umgebaut; andere Plätze sind schwierig zu bekommen, noch offen; eventuell. in Backnang möglich. Wilhelma nochmals ansprechen über Schreiben des Umweltministeriums BaWü

Wichtig: über Platz auf der gleichen Platte suchen, nicht nach Sonderplatte; ca. 30m² benötigt

Landwirte suchen: Landwirtschaftsämter ansprechen

H. Pieplow unterstützt gerne beim Finden eines Verwerters über das Umweltministerium BaWü (Themen Ressourceneffizienz, Nachhaltigkeit), muss ein anderer Ansprechpartner als H. Kneissl sein.

Hinweis: H. Pieplow stellt weitere Fotos zur Umsetzung und Ö-Arbeit zur Verfügung (Fotos auf dem WS gezeigt)

Für die KiTa-Durchführung:

Sinnvoll hier die Küchenabfälle des KiTa (Gläsernes Restaurant – alles bio) zur Kompostierung verwenden?

C, N, P Analysen (Standardparameter) klären. Wird bei Terra Pellet gemessen? Wie wird Messprogramm/Probenbezug aufeinander koordiniert?

Bilanzierung der Drainageflüssigkeit (Klärung über Goldeimer und Uni Stuttgart)

5b. Arzneimittelrückstände und Probenahme (Heidrun Steinmetz)

Mündlicher Input:

Team: Heidrun Steinmetz, Homa Seyednejadian (Masterarbeit im Projekt) und Bertram Kuch (Hydrochemie). Bertram Kuch hat Analyseerfahrung im Kompostbereich.

Ziel: Nachweis des alternativen Verfahrens bzgl. der Belastung aus diesen Spurenstoffen im Vgl. zu konventionellen Verfahren

Parameter: Arzneimittel (aus verschiedenen Stoffgruppen / mit verschiedenen Stoffeigenschaften, wie z.B. Antibiotika, Beruhigungsmittel, Betablocker, Coffein), Schwermetalle (ein paar mitlaufen lassen), Hygiene (während der Kompostierung, event. in Kooperation mit Prof. Weiß, Uni Tübingen – offene Überlegung, die noch zu klären ist); Östrogene Aktivität wird in ausgewählten Proben auch getestet

Analysepunkte/Probenentnahmepunkte: Rohprodukt (Probenahme hier?), Entwässerungsfraktion (wo geht das hin?), Zuschlagsstoffe, Material aus Chemietoilette (AOX?), Kompostierung (Anfang und Ende)

Ergebnisse entstehen aus der Messkampagne und über Literaturrecherchen.

Für KiTa-Durchführung zu beachten / anschließende Diskussion:

Analysepunkte: Details der Probenahme; Mengenerfassung nach Volumen macht Goldeimer (nach Drainage), Drainagewasser ist permanent an den Kanal angeschlossen (Bilanzierung nicht möglich?), Goldeimer kümmert sich um einen Probenentnahmepunkt für Beprobung des Drainagewassers an einer Toilette

Probennahme des Rohmaterials: in der Tonne am Ort der Produktion vor Zugabe der Zusatzstoffe (Montag nach dem Kirchentag) oder besser am Kompostplatz nachdem alle Tonnen ausgeleert wurden?

Goldeimer rechnet mit 60-65 Behälter und daraus wird sich HS eine Mischprobe zusammensetzen, bevor Zugabe der Zuschlagsstoffe / Abtransport erfolgt.

Wichtig: Beprobung aller Eintragspfade vor Anwendung

Dauer der Kompostierung: drei Monate min., halbes Jahr (sollte sicher sein)

Hinweise:

Messung von Faden- und Spulwürmer; spannende Medikamentengruppe: Beruhigungsmittel

Einstreu: nur zertifiziertes Einstreu (Datenblatt mit Schadstoffgehalten gelistet), nicht auf Kleinanbieter setzen; gibt 5 Anbieter aktuell

Vergleichsproben aus dem Botanischen. Garten in Berlin können zur Verfügung gestellt werden.

Über dieses Verfahren ist keine „saubere“ Bilanzierung des Drainagestroms möglich. Weiter zu klären zw. ES und HS

5c. Erfahrungen aus anderer Kommunen (Peter-Nils Grönwall)

Siehe PPP und Bericht „Trinkwasser kein Vehikel für Abfalltransporte“ (Installation DKZ 2010, S. 11-12) – Praxisbeispiele aus Hamburg

Weitere Punkte aus dem Vortrag:

Terra preta wäre auch ein interessanter Ansatz für den Kirchentag. Leicht zu verarbeiten, tolles Produkt für Gärten etc.

Urin aus der HH Hauptbahnhofanlage wurde 1:8 und 1:10 verdünnt auf Hamburger Grünanlagen verbracht. Nicht in Schutzwasserzonen und nicht in Nutzungsflächen.

Für die Veranstaltung sollte man wasserlose Urinale aufstellen. Überwiegend wird gepinkelt.

Toilettenanlagen dort hinstellen, wo die Leute sind. Nicht verstecken.

5d. Öffentlichkeitsarbeit und Befragung der Nutzer (Martina Winker)

Siehe PPP

Diskussion:

Warum nutzen die Nutzer diese Toilette? Gründe, warum sie kommen, erfragen.

Name: Warum Komposttoilette und nicht Humustoilette? Image/Touch? Humus positiver besetzt als Kompost? Ist das auch die Wahrnehmung der Nutzer? Ggf. nochmals über den Namen, unter denen die Toilette kommuniziert wird, nachdenken. Frage an die Nutzer stellen.

Welches Wort wird in der Nutzung bevorzugt: Komposttoiletten oder Chemietoiletten. Nutzer hierzu befragen.

Es ist wichtig, weitere Themen in der Kommunikation/Ö-Arbeit rund um das Thema aufzugreifen: Arzneimittelkonsum, „Selbstreflexion auf der Toilette durch Spiegel“, Kreislaufkonzept „vom Essen zum Essen“

Spannender und attraktiver Aspekt ist es, in der Toilette „Kunst zu haben“. Nutzer nehmen etwas beim Toilettengang (eher unterbewusst) wahr und fangen an darüber nachzudenken, wenn sie die Toilette wieder verlassen. Sie nehmen dann Dinge mit. (H. Pieplow)

Ideensammlung für die Ausgestaltung der Toiletten während des Termins: Begriffe über mehrere Toiletten laufen lassen: HumusBildung, Kreislaufgedanken in die Toiletten hängen, Info als Postkarte zum Mitnehmen (erst nach Hygienestation), Stercutius (röm. Gott der „Fäkalien“), Losung ist die Lösung, drastische Sprache Luthers, Hundertwasser; gute Anregungen bietet hier auch das Kommunikationsmuseum Köln zu „Scheiße“

Schulung der Befrager kann auch in einigen weiteren Aspekten wie Hygiene sinnvoll sein. Frage nach der grundsätzlichen Auskunftsfähigkeit zu den Toiletten gegenüber den Nutzern.

Top 6 – Tatsächliche Umsetzung auf dem Kirchentag

Hygieneprobleme:

Befürchtung der DBU, dass es zu Hygieneproblemen kommen kann. Daher ist die Projektbewilligung an eine offizielle Bescheinigung des Stuttgarter Gesundheitsamtes gebunden worden. Der KiTa ist im Kontakt mit dem Gesundheitsamt in Stuttgart. (Nachtrag vom 4.5.2015: Schreiben des Gesundheitsamtes liegt der DBU vor.)

Verweis ans BMUB kann hier gerne erfolgen, wenn es nötig wird. BMUB kann hier eine fachlich fundierte Stellungnahme geben. H. Pieplow hat dem Hygieneamt in Berlin die entsprechenden Studien vorgelegt, dann wurde Betrieb einer Humustoilette im Berliner Garten genehmigt. Hierauf kann im Gespräch mit dem Gesundheitsamt verweisen werden (Experten, die hierzu angebunden werden können: Prof. Krüger, Grüne Liga zu Berliner Erfahrungen; Prof. Londong – H. Heidenreich kennt die Debatte)

Chemietoiletten: hier ist nichts Besonderes in der Vorbereitung zu beachten oder nötig. Während des Betriebs sind nur die normalen Hygieneauflagen und der Arbeitsschutz zu beachten.

Zusatzstoffe:

Terra Pellet will keine Pflanzenkohle verwenden, da sie in Deutschland nicht zugelassen ist. Holzkohle ist das Mittel der Wahl.

Goldeimer arbeitet als Einstreu normalerweise mit Hobelspänen. Denken hier gerne weiter.

Sinnvoll wäre es, zertifizierte Holzkohle als Einstreu zu verwenden. Streckung mit Kaffeesatz im Einstreu ist möglich – muss vermischt werden. Ggf. in der Umsetzung (Logistik und Durchmischung) schwierig. Dieser Schritt ist noch zu klären.

Terra Pellet stellt eigene Holzkohle (nicht zertifiziert, aber erfüllt die Daten zertifizierter Kohle) in ausreichender Menge auf dem Kirchentag zur Verfügung (etwas mehr als 100 ml pro Nutzung). Absprache mit Goldeimer läuft.

Toilettenbetrieb:

Die Verwendung von Kaffeesatz im Einstreu wird schwierig, da der Aufwand das Material mit der sonstigen Einstreu gut zu mischen zu hoch ist (nochmals Abstimmung Goldeimer, H. Pieplow).

Hinweis noch zum Einstreu (Goldeimer, Terra Pellet, HS): Nutzer gehen mit einem Becher Einstreu in die Toilette bereits hinein. Info zum richtigen Toilettenbetrieb durch die Nutzer erfolgt folgendermaßen: Goldeimer stellt Schilder auf. Außerdem erfolgt die Betreuung der Standorte durch 1 bzw. 2 Personen, die die Nutzer zusätzlich auf das richtige Handling hinweisen.

Abstimmung Kommunikation: Goldeimer, Bruno Nagel, Kirchentag, ISOE

Drainage, qualitative und quantitative Erfassung: wird gemeinsam von Goldeimer und HS angegangen.

Beprobung von Chemietoiletten am Kirchentag: Abstimmung erfolgt zwischen HS und H. Bohnewitz

Goldeimer betreibt Toiletten und übergibt den Rohkompost nach Ende der Veranstaltung auf der Anlage an den weiteren Betreiber bzw. in diesem Falle an den Betreiber und Terra Pellet.

Behandlung

Organismengesellschaften der Proben analysieren: H. Weiß. Er hätte gern für Tübingen eine Probe (1 m³ ??). JK fragt bei Herrn Weiß an in welcher Gebindegröße er die Probe braucht.

Abstimmung der Probenahmen und -analysen zw. Terra Pellet, HS, H. Weiß, event. Berliner (über H. Pieplow).

Behandlung des Kirchentagsmaterials erfolgt über Heißrotte; ggf. wird in einem alternativen Verfahren (Fermentation und Vererdung) mit einem Teilstrom (1m³) in Berlin erprobt. Abstimmung über H. Pieplow; Koordination der Proben und Analysen für den Berliner Teil sind noch zu klären. Frage ist hier auch, was ist durch HS noch leistbar und wo werden andere (finanzielle) Mittel zur Analyse benötigt?

Kompostierungsdauer: 3 Monate; Reifezeit des Komposts ist nach 3 Monaten erfolgt. Dann gegebenenfalls bis ins Frühjahr 2016 noch liegen lassen – wenn Pflanzzeit ist. Die letzten Probenahmen durch HS erfolgen nach Abschluss der Kompostierungsdauer von 3 Monaten.

Erste Probenahme des Rohmaterials: doch eher auf der Kompostieranlage nach der Durchmischung der Fässer und vor Zugabe der Zuschlagstoffe entgegen der am Vormittag mit HS erfolgt Abstimmung. Dies ist nochmals zu klären. Die Berliner holen dann gerne 4 x 60l Fässer (mit Holzkohle bedeckt) für die Berliner Teilstrombehandlung ab – nach der durchmischten Probe auf dem Gelände

Behandlungskosten bei Kompostierung zu zahlen an den Anlagenbetreiber: 30-50 EUR/t ; Goldeimer zahlt 61,50 EUR/t;

Menge, die wahrscheinlich anfallen werden: 15-20 t Fäkalien plus 15-20t Zuschlagsstoffe = 30-40 t, die zu behandeln sind

Klärung, ob Behandlung zur Not in Leipzig möglich ist, erfolgt als Backup durch Enno Schröder.

Kompost ist normalerweise 50-60 EUR/t wert.

Top 7 – Weitere Punkte und Ausblick

Man könnte den produzierten Kompost auf den nächsten KiTa nach Wittenberg transportieren und dort einen Baum damit pflanzen. Ein schönes Symbol wäre es auch, einen Baum in Wittenberg und einen Baum in Stuttgart zu pflanzen. Event. dritter Baum im Parlament der Bäume (Ben Wagin) in Berlin, zumal dort ja 2017 der Kirchentag stattfindet.

Spannend wäre es, hier an einen Maulbeerbaum zu denken. Seidenraupen produzieren viel Kot und werten somit unfruchtbare Böden auf. (H. Pieplow) www.etracker-journal.net

Rückgabe an die ehemaligen Produzenten beim KiTa: Eine Möglichkeit wäre ein Pflänzchen im Produkt (Komposterde). Auch hier war die Anregung, an einen Maulbeerbaum zu denken. Alternativ wird eine Linde vorgeschlagen (eher standortgemäß).

Zeitleiste und Zuordnung der Arbeiten zur Zeitleiste: Martina Winker und Jobst Kraus

Weitere Tipps und Hilfestellung: Haiko Pieplow jederzeit gerne ansprechen

Hinweis: 23.-24.6.2015 in Berlin – Abschlussveranstaltung Terra Boga in Berlin. H.Pieplow schickt Programm herum.

JK und CH danken allen Beteiligten für ihre engagierte Mitwirkung. Protokoll und PPP werden zugeschickt und der Kreis über den weiteren Stand der Dinge informiert.

Ausblick: Auswertungsworkshop im Herbst – auch im Blick auf die Erstellung des Leitfadens wäre sinnvoll.

JK bittet TB um die Erstellung eines Handzettel für den Kompostierer

MW und JK, 04.05.2015

5.3 Protokoll Auswertungsworkshop

Ort Stuttgart, „Globales Klassenzimmer“, Welthaus

Datum 10.11.2015

Zeit 11:00 bis 16:00 Uhr

Teilnehmende:

Kirchentag: Christof Hertel, Marian Ritter (jetzt Reformationsjubiläum 2017)

Ständiger Ausschuss Umwelt des Kirchentages: Jobst Kraus

Abfallverwertungsgesellschaft Landkreis Ludwigsburg: Albrecht Tschackert

Bioland-Landwirt im Schwäbischen Wald, früherer Brot für die Welt Referent:
Berthold Burkardt

Deutsche Bundesstiftung Umwelt: Franz-Peter Heidenreich

Evangelische Akademie Bad Boll: Carmen Ketterl

Goldeimer: Enno Schröder

ISOE - Institut für sozial-ökologische Forschung: Dr. Martina Winker

Stadt Ludwigsburg, Nachhaltige Stadtentwicklung: Friedrich Mainsch

Stadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz: Peter Bühle

Steinbeis-Innovationszentrum Organismische Mykologie und Mikrobiologie, an der Universität Tübingen: Prof. Dr. Michael Weiß

Terra Pellet: Torsten Bettendorf

Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau-, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA):
Prof. Dr. Heidrun Steinmetz

Hinweis: die Kürzel aus Vornamen und Nachnamen werden im Protokoll selbst als Abkürzungen für die jeweiligen Personen verwandt. Beispiel: CH = Christof Hertel.

Entschuldigt:

Kirchentag: Dr. Jörg Kopecz; ADCO Umweltdienste: Andre Bohnewitz (Leiter der Entwicklungsabteilung); Bruno Nagel, Künstler; ISWA: Timo Pittmann und Homa Seyednejadian; Bauhaus Universität Weimar: Prof. Dr. Jörg Londong;

Top 1: Begrüßung (Christof Hertel)

Dr. Jörg Kopezc richtet Grüße aus und wünscht eine gute Sitzung.

Top 2: Einführung zum Projekt und der dahinterstehenden Intention (Christof Hertel, Jobst Kraus, Franz-Peter Heidenreich)

Christof Hertel:

Siehe angehängte ppt.

Intention des Kirchentags, Jobst Kraus:

Nachhaltige Aspekte ausprobieren und umsetzen – glaubwürdig handeln im eigenen Umfeld -> möglichst geringer Fußabdruck beim Kirchentag hinterlassen -> Kirchentag als nachhaltiges Reallabor

Reformationsjubiläum Wittenberg (220.000 Personen beim Abschlussgottesdienst): Implementierung von Komposttoiletten wäre als Folgeprojekt wünschenswert. Losung dort: Du siehst mich

Verweis Stuttgarter Zeitung auf die innovative Lösung des Kirchentags – siehe Anlage zum Protokoll

Sicht der DBU, Franz-Peter Heidenreich:

fügt sich ein in Förderungen, die die DBU bereits gemacht hatte: z.B. Projekt Goldgrube, Terra Preta-Tagung in Hamburg 2013, Schrebergartenprojekt in Leipzig der Uni Weimar,

Schwerpunkt der DBU im Bereich anthropogene Spurenstoffe / Nachhaltige Pharmazie -> Arzneimittelreststoffe in der aquatischen Umwelt ist ein wichtiges Thema für sie, daher Interesse an deren Verhalten im Kompost;

Top 3: Kurzfilm zum Projekt

Filmemacher Matthias Sabelhaus

Endabnahme erfolgt nach dem heutigen Tag. Anmerkungen und Hinweise bzgl. der richtigen Darstellung können noch zeitnah an Christof Hertel zurückgemeldet werden.

Top 4: Rückblicke: Erfahrungen und Präsentation der wissenschaftlichen Ergebnisse

4a) Trockentoiletten auf dem DEKT (Enno Schröder)

Siehe ppt.

Erfahrungen und Vorschläge:

- eine behindertengerechte an jedem Standort wäre gut, ansonsten müsste die Beschilderung nochmals explizit auf barrierefreie Toiletten hinweisen, damit die entsprechenden Toiletten zielgerecht gefunden werden.

- Beschilderung: „Toilettenorte“ an sich besser ausschildern, WC-Schild eher etwas unpassend, Frage: will man auf Unterschiede zwischen verschiedenen Toilettentypen hinweisen? Personen haben die „besonderen Komposttoiletten“ nur schwer gefunden, wenn sie explizit danach gesucht haben.

- Alternative Sanitärversorgung ganzheitlich in eine Veranstaltung integrieren. DEKT produziert Erde. Geeignete Kompostflächen vorab zu suchen. Idealerweise alle organischen Stoffströme des DEKT dort gemeinsam kompostieren. Co-Kompostierung von 180 - 200 Litern organischer Abfälle (leider erst am letzten Öffnungstag) aus dem Gläsernen Restaurant wurde mitbeprobte in der Kompostierung von H. Weiß und H. Pieplow.

- Einbindung der Pfadfinder vor Ort in das Toilettenkonzept/-betrieb.

Diskussion:

Piktogramm „WC“ (Hintergrundinformation von Marian Ritter): Was verstehen die Leute? Sichtbarkeit in Übersichtsplänen. Lange Diskussions- und Entscheidungsprozess beim DEKT.

Reicht ein Becher Späne wirklich aus? BB stellt das aus seiner eignen Erfahrung in Frage (hatten früher eine Komposttoilette auf dem Wacholderhof, dem eine kleine Tagungsstätte angeschlossen war)

4b) Erfahrungen mit der Kompostierung (Torsten Bettendorf, Albrecht Tschackert)

Siehe ppt von Albrecht Tschackert.

„Mitarbeiter auf der Deponie haben sich nicht über fäkale Gerüche beklagt.“

Rohkompostmenge war sehr gering: ca. 5-6m³. Deutlich weniger als erwartet. Eingesetzte Würmer waren nach einigen Wochen nicht mehr auffindbar. Ggf. durch Mäuse, Eidechsen etc. gefressen?

Kompost wurde einige Male bewässert: ca. 2m³ Wasserzugabe über den gesamten Zeitraum.

Reaktionen aus Landkreis oder Stadt Ludwigsburg: es gab keine Reaktionen, da die AVL keine Öffentlichkeit gesucht hat.

Wichtig wäre es für die Zukunft, eine dafür zugelassene Kompostierungsanlage zu haben. Sich ein „deutschlandweites“ Netz hierfür zulegen. Wichtig ist es, auf die Abfallkategorisierung zu achten (880 Arten). Einen passenden Abfallschlüssel für solch ein Material: reicht H. Tschackert gerne nach. Wichtige Information für Goldeimer, aber auch der Leitfaden des DEKT.

Sickerwassererfassung und -behandlungsanlage ist notwendige Vorbedingung bei der Auswahl der Kompostierungsfläche/anlage.

Material nicht für eine Biogas-, eher für eine Biovergärungsanlage geeignet. So die Einschätzung von AT.

Siehe ppt von Torsten Bettendorf

Wichtig: Hobelspäne und nicht Sägespäne in der Zugabe in den Toiletten.

Menge Rohkompost: ca. 2t. Gründe für geringe Menge: Nutzerzahlen aufgrund der Lage ggf. geringer als in „besserer Lage“, meiste Nutzer haben nur uriniert (ca. 90 % nur Flüssigkeitseintrag wird von TB vermutet, konnte jedoch nicht sicher gemessen werden. Aufgrund der Erfahrungswerte aus anderen Projekten kann es jedoch in diese Richtung gehen).

Fäkalstoffe: 640kg Ausgangsmaterial. Zuschlagmaterial waren gehäckselte Birkenzweige und Grasnchnitt. Außerdem 5 kg Kompostierungsmittel (Geheimrezept TerraPellet)

Achtung, genannte Zahlen zur Kompostmenge passen nicht zusammen. Sind nochmals nachzuklären mit AT, TB und ES.

Bei den aufgezeichneten Temperaturverläufen (2 Wochen über 60°C, ausgeprägte Heißrotte): hinreichende Hygienisierung wird damit eigentlich erreicht. Nach Umsetzung und damit verbundener Sauerstoffzufuhr höhere Temperaturen.

Leicht alkalischer pH-Wert des Komposts ist auf den Holzkohleanteil zurückzuführen. Auffallend hoher TKN-Wert, gute Düngeeigenschaft gegeben.

Schadstoffe (Schwermetalle) vermutlich durch das Toilettenpapier (Recyclingqualität)

Für die Kompostierung ist es günstig, wenn viel Material vorhanden ist.

4c) Schadstoffgehalt in Fäkalien und im Kompost (Heidrun Steinmetz)

Siehe ppt.

Mengenbestimmung der Urindrainage direkt nach den Toiletten über MID hat leider nicht sauber funktioniert. Daher sind die Ergebnisse an dieser Stelle nicht aussagekräftig.

Hinweis: Abstimmung der Standardparameter muss noch zwischen Terra Pellet und ISWA erfolgen, war noch nicht möglich. Terra Pellet fehlen auch noch die letzten Temperaturlaufzeichnungen.

Konzentrationen von Ibuprofen (Antirheumatika/Antiphlogistika; umgangssprachlich auch als Schmerzmittel bekannt), Diclofenac (Antirheumatika/Antiphlogistika, umgangssprachlich auch als Schmerzmittel bekannt), Carbamazepin (Antiepileptikum) in Urin nochmals nachschlagen (M. Winker) und dem ISWA zukommen lassen.

Nachweisgrenzen der Wirkstoffe in den Feststoffen und in der flüssigen Phase? Medikamente in den Feststoffen gar nicht nachweisbar.

Grenzwerte der Bioabfallverordnung, Düngemittelverordnung, Bioland: der produzierte Kompost liegt immer darunter, erfüllt die Normen der Verwertung

Auch nach der Hygienisierungsphase wurden noch Fäkalindikatoren in deutlicher Höhe nachgewiesen.

Keimzahlen im Fäkalkompost: Vergleichswerte z.B. im Klärschlamm

4d) Erfahrungen mit mitgenommenen Proben (Michael Weiß)

8 mal 60l Fass von der Biomasse wurde einer Schwarzerdenproduktion zugeführt. 5 Fässer davon beinhalteten Toilettenabfälle, 3 Fässer organische Abfälle des Gläsernen Restaurants.

3 Fässer (2 Toilettenabfall, 1 organ. Abfall) gingen nach Berlin und werden dort zu Wittenberger Schwarzerde. Prozess dauert noch bis ins Frühjahr 2016 (finalen Zeitpunkt ist mit den Berliner nochmals rückabzustimmen).

5 Fässer (3 Toilettenabfall, 2 organ. Abfall) werden in Tübingen zu Württemberger Schwarzerde. Prozess endet bis Ende November 2015. Analyseergebnisse liegen sicher erst Anfang 2016 vor, ggf. nochmals nachfragen.

Prozess in Tübingen: Fermentation läuft bei Raumtemperatur, Probenahme läuft kontinuierlich, werden eingefroren und am Ende abschließend gemeinsam ausgewertet.

Populationsentwicklung läuft über PCR (Polymerase Chain Reaction) – Abstimmungsinteresse seitens ISWA bei den Ergebnissen ist gegeben. Hierbei ist ein Screen nach einzelnen Arten, die ggf. kritisch sind, möglich. Es ist eine semi-quantitative Analyse.

4e) Kunst und Öffentlichkeitsarbeit und Befragung der Nutzer (Martina Winker)

Siehe ppt

mit zusätzlichen Interviewern (Hilfskräften) gearbeitet). Befragung gender- gleich. Becher für Hobelspane auch als Hygieneproblem wahrgenommen. Sauberkeit wurde geschätzt.

Kann das ISOE Aussagen über Besucherzahlen im Befragungszeitraum machen?
Insgesamt eine sehr positive Rückmeldung durch die Nutzer

Toilettenstandort am Eingang hatte die doppelte Reststoffmenge in der Sammlung als die hinter Zelt 12.

4f) Ökonomische Aspekte und Zwischen-Fazit

Toilettenschüssel kostet normalerweise zwischen 50-100 EUR plus Kosten für Reinigung, Entsorgung ist enthalten, Strom und Wasser kommen noch dazu, Komposttoiletten sind teurer. Dixies kosteten 55 EUR/Veranstaltung (auch aufgrund der Mengenzahl), keine Reinigung im Tagesverlauf.

Enno Schröder: rechnet 200 EUR/Schüssel bei Spültoilettencontainer in seiner Rechnung, Goldeimer liegt bei 250 EUR/Schüssel (bei Komplettservice).

Top 5: Stuttgart und wie weiter? Empfehlungen und Perspektiven, u.a.

Perspektive Kirchentag: Berlin ist der nächste, er wird dort auf dem Messegelände stattfinden und mobile Toiletten beim Abend der Begegnung geben (nur ein Abend) – daher für Berlin nicht interessant, Komposttoiletten dort einzusetzen.

Reformationsjubiläum in Wittenberg, hier findet auch der Abschlussgottesdienst des Berliner Kirchentags statt. Besonders interessant ist der viel längere Zeitraum (4 Monate) und größere Gruppen (Helfer, Konfirmanden, Jugendliche), wofür sowieso mobile Toiletten benötigt werden. In Wittenberg befindet sich auch der deutschlandgrößte Stickstoffhersteller SKW. Vielleicht könne diese Firma gewonnen werden, den Urin zu Struvit zu verarbeiten oder ähnliches (Aufstellung von speziellen Urinalen). Von Anfang an Faezes der Besucher und Küchenabfälle zusammen verwerten. Eine entsprechende Firma müsste für die Kompostierung gewonnen werden. Ein Knackpunkt, der gelöst werden muss, ist der Preis der Komposttoiletten. "Gegengerechnet" werden müssten die vermiedenen Umweltkosten

Gibt es noch Restriktionen des Produkts / Verwertbarkeit:

Albrecht Tschackert geht jedoch auch davon aus, dass die schlechte Hygienisierung an der zu geringen Gesamtmenge liegt. Es gibt keine Kompostierungsanlage, die nur Komposttoiletten behandelt. Das heißt, es braucht eine Definition/Beschreibung des Rohprodukts (sauber angelegt), dann kann es deutschlandweit verwertet werden. Saubere Definition über den Abfallschlüssel, ggf. in Rücksprache mit dem Baden-Württemberger Umweltministerium für die richtige Einordnung. Dann sollte die Rückführung in die Kompostierung problemlos möglich sein.

Heidrun Steinmetz: es braucht ein stabiles Produkt, um eine Düngemitteldeklaration (wie etwa das Produkt MAP (Magnesiumammoniumphosphat) für diesen Kompost beantragen und bekommen zu können.

Umgang mit dem Endprodukt:

Am Ende waren es 3m³ Kompost. Der Stuttgarter Kompost würde, wenn es keine andere höherwertige Verwendung gibt, auf der Deponie für die Pflanzung eines Baums erfolgen.

Zentrale Frage der AVL: wie geht es weiter? Was passiert mit dem Kompost? Wann ist die Fläche wieder frei? Abstimmung zwischen AVL und DEKT muss erfolgen.

Ausblick in die DEKT-Zukunft:

Frage von Jobst Kraus: Wäre es möglich, über eine Projektskizze für Wittenberg dort einen Kompostierer gewinnen zu können, der dann alles gemeinsam kompostiert und das Produkt überprüft wird (inkl. Zuordnung des Abfallschlüssels etc.).

Spannend wäre es auch, sich zukünftig nochmals der flüssigen Phase anzunehmen.

Wittenberg: Konfi-Camp würde sich anbieten, stetiges Konzept nötig. Hier müssten Zugang und Ableitung von Wasser/Abwasser sowieso komplett neu eingerichtet werden.

Top 6: Verabredungen

Publikationsstrategie und Abstimmung im Verbund, Aufschlag für alle durch Martina Winker, dann Abstimmung im Projektverbund: Wasser & Abfall; Korrespondenz Abwasser, Abfall; Stadt und Grün; der Gemeinderat etc.

Englische Publikation (Summary)

Ausstellung/Vorstellung auf der IFAT (Ende Mai 2016), ggf. über DBU möglich. Sonst wäre Alternative für die IFAT: der Stand von German Water Partnership

Rücksprache für den Leitfaden bzgl. der Kompostierung etc. ist mit Albrecht Tschackert gut möglich. Leitfaden hat die Zielgruppe: Event-Veranstalter (Katholikentag, regionale Kirchentage, Sportveranstaltungen, etc.), Kommunen, Initiativen (Urban Gardening, etc.)

Leitfaden wird nochmals im Verbund auch bzgl. der Inputs durch die Projektpartner abgestimmt. Unterstützung durch die Projektpartner ist nötig. Herr Heidenreich betont, dass der Leitfaden lieber gut werden sollte und deswegen auch noch Zeit brauchen kann.

Christof Hertel bedankt sich bei allen Akteuren für Ihre engagierte Mitarbeit und der DBU für die finanzielle Unterstützung.

Protokoll: Christof Hertel, Jobst Kraus, Martina Winker

Stand: 10.11.2015

5.4 Anhang Nutzerbefragung

Wahrnehmung von Komposttoiletten im Rahmen des Deutschen Evangelischen Kirchentags 2015 in Stuttgart

Ergebnisse einer quantitativen Befragung

Barbara Birzle-Harder

ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung, Frankfurt am Main

Frankfurt, August 2015



Face-to-Face Befragung von Kirchentags-BesucherInnen

- Mit NutzerInnen der Komposttoiletten
- In unmittelbarer Nähe der Komposttoiletten an zwei Standorten (Eingangsbereich und bei Halle 12)
- An zwei Tagen: 2. und 4. Kirchentag
- An beiden Tagen hohe Temperaturen, mittags über 30°C

Fragebogen zum Mitschreiben durch die InterviewerInnen

- Offene und geschlossene Fragen
- Dauer: ca. 10 Minuten

2

Die Stichprobe

Gesamt: 115 Befragte

- 64 Frauen (57%) und 51 Männer (43%)
- Im Alter zwischen 12 und 82 Jahren
 - Drei Altersgruppen:
 - 12 bis 34 Jahre: 41%
 - 35 bis 59 Jahre: 39%
 - 60 bis 82 Jahre: 20%
 - Durchschnittsalter: 40,9 Jahre

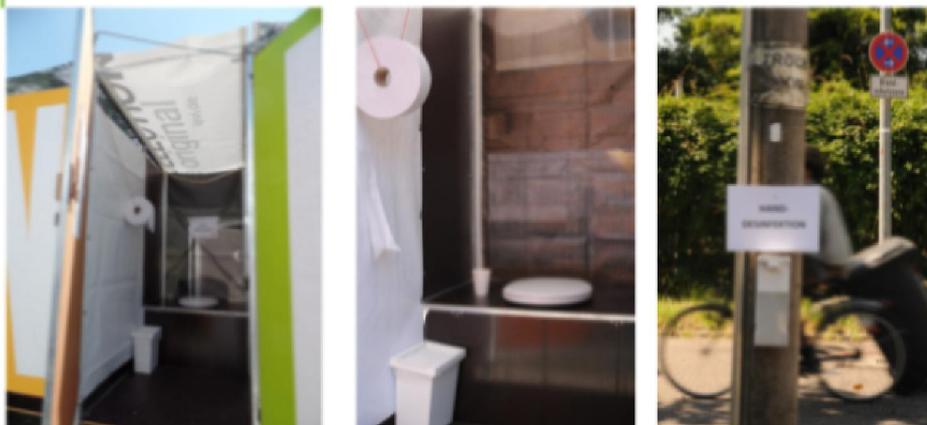
3

Die Komposttoiletten



4

Die Komposttoiletten



So geht's:
Kleines Geschäft → keine Spülung notwendig
Großes Geschäft → mit Holzspänen abdecken
Becher bitte zurückbringen
Vielen Dank ☺



5

Die Ergebnisse

6

Gründe für die Nutzung der Komposttoiletten

Offene Frage: Warum benutzen Sie hier auf dem Kirchentag diese Komposttoiletten und nicht einen der anderen Toilettentypen?

- Reiner Zufall, war die nächstliegende Toilette, bin gerade daran vorbeigekommen, keine Schlangen davor (73)*
- Aus Neugierde, Interesse, wollte sie ausprobieren (23)
- Tolles Konzept, imponierende Idee: Wasserersparnis, Ressourcen schonend (17)
- Einladender, netter Eindruck: wirkt luftig, großzügig (12)
- Auf DEKT davon gehört (5)
- Gute Erfahrungen damit (4)

*jeweils in Klammern: Anzahl der Nennungen

7

Bekanntheit von Komposttoiletten

Haben Sie Komposttoiletten wie diese schon vor dem Kirchentag gekannt?



*jeweils in fett: Hauptnennungen

8

Offene Frage: Erster Eindruck der Komposttoiletten

Ein weitgehend überzeugender erster Eindruck...

- **Sauber**, gepflegt, ordentlich (27)*
- **Kein Geruch / Gestank**, riechen nicht unangenehm – gegen alle Vorurteile, überraschend geruchsneutral (27)
- **Faszinierende, clevere Idee** begeistern d, genial, toll, spannend, erstaunlich, super, großes Lob (21)
- **Angenehm**, positive Überraschung (13)
- **Besser als DIXIS**, „wie ein Dixi-Klo – nur sauberer und nicht deutlich weniger“ (11)
- **Nachhaltig**, ökologisch bestechend, ohne Chemie, ohne Wasser, ressourcenschonend, Wasser muss nicht sein (9)
- **Überzeugendes Konzept**, bestechend einfach, „liebervoll und durchdacht umgesetzt“ (7)
- **Innovativ**, kreativ, modern, bunt, witzig, wundervoll (7)
- **Komfortabel**, viel Platz (6)
- **Natürlich**, ländlich, nostalgisch, „bestes Plumpsklo ever“ (6)
- **Gute Hinweisschilder**, leicht zu verstehen (4)
- **Kein großer Unterschied zu normaler Toilette** (4)
- **Nachahmenswert**, sollte es überall geben (3)
- **Bunte Türen, tolle Bilder**, machen neugierig (3)

*jeweils in Klammern: Anzahl der Nennungen

9

Offene Frage: Erster Eindruck der Komposttoiletten

Für manche gewöhnungsbedürftig ...

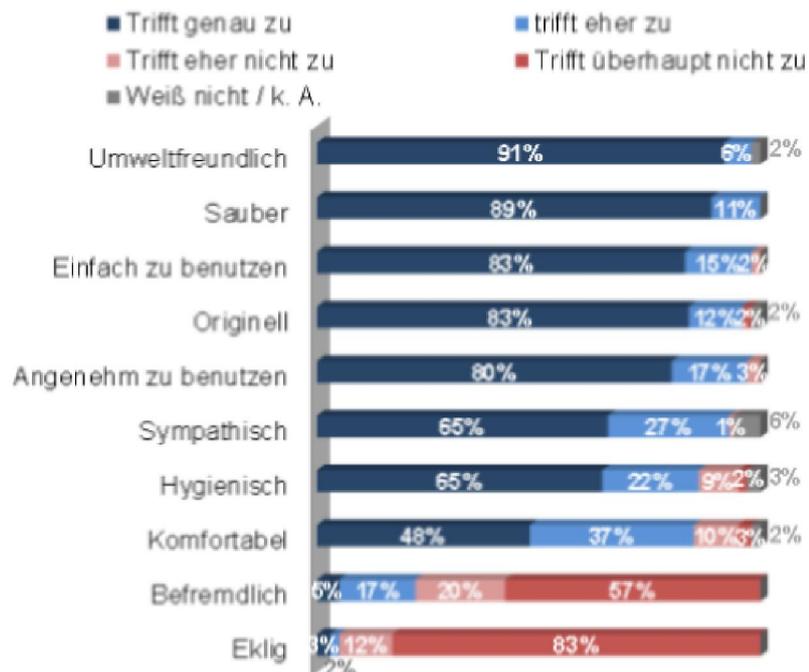
- **Befremdlich**, irgendwie komisch, (am Anfang) ungewohnt, irritierend, „wie ein Plumpsklo, nicht wie ein normales Klo“ (17)
- Ungewohnter Geruch nach Holz, Schreinerei, Pferde- oder Kaninchenstall (6)
- Verwirrend: „Sieht eher wie ein Kiosk, eine Kinobox aus als eine Toilette“ (2)

Einzelnenungen

- Zweifel: „Man müsste abends schauen, wie sie dann aussehen“ (1)
- „3. Welt Lösung“, Realisierbarkeit hier schwer vorstellbar (1)
- „Kein Geruch, aber Fliegen“ (1)
- Irritiert: Becher / großes und kleines Geschäft (1)
- Händedesinfektion unklar (1)

10

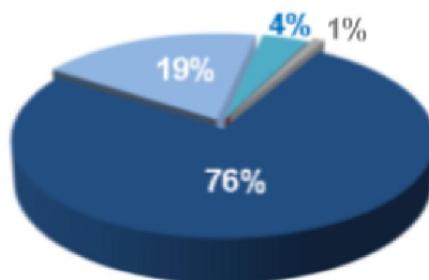
Eigenschaften der Komposttoiletten



11

Vergleich Komposttoiletten mit Chemietoiletten

Diese Komposttoiletten sind...



- wesentlich besser
- besser
- gleich gut
- schlechter
- wesentlich schlechter
- keine Angabe

... als Chemietoiletten

12

Positives an Komposttoiletten Offene Frage: Was gefällt daran?

- **Die Umweltfreundlichkeit:** Ressourcensparend, nachhaltig, Recycling, kompostierbar (45)
- **Keine Geruchsbelästigung,** der fehlende Gestank (28)
- **Wassersparend,** braucht kein Wasser, keine Wasserverschwendung (25)
- **Die Sauberkeit:** das Gepflegte, nicht eklig (22)
- **Die Geräumigkeit:** viel Platz, das Luftige (11)
- **Die Einfachheit:** wenig Technik, unkompliziert, schlicht, simpel (10)
- **Das Design:** ansprechend, sieht gut aus, witzig, schön bunt, tolle Türen (9)
- **Die innovative Idee,** das Gesamtkonzept (9)
- Gutes Konzept für **Großveranstaltungen** (5)
- **Die Späne** als Abdeckung (5)
- **Die Hände-Desinfektion** (5)
- **Retro:** Rückkehr zum Ursprünglichen, Natürlichen (4)
- Die Sprüche, coole Beschreibung (3)
- Die Materialien, hochwertig, kein Plastikklowie Dixi (3)
- Bewusstsein schaffen - passt gut zum Kirchentag (2)
- Die Ruhe: keine Spülung (2)
- Die kleinen Details: Duftpflanze, Kreislaufposter ... (2)

13

Negatives an Komposttoiletten Offene Frage: Was missfällt daran?

- **Die Hände nicht mit Wasser waschen können** (16)
 - Kein fließendes Wasser, Hände richtig waschen wollen, unangenehmes Desinfektionsmittel, bei heißem Wetter nicht ausreichend
- **Probleme mit dem Becher** (11)
 - Umständlich den Becher mitnehmen zu müssen, wird vergessen, muss sich vorher entscheiden, besser innen platzieren
 - Becher mitnehmen in der Öffentlichkeit: Scheu / Hemmschwelle öffentlich zu kacken
 - Becher zu klein, deckt Hinterlassenschaft nicht ganz ab
- **Hygiene-Bedenken** (4)
 - Mehrfach-Becher, fehlende Wasserspülung, kein Wasser wenn etwas daneben geht, Gefahr der Übertragung von Krankheiten durch menschliche Fäkalien
- **Unangenehm: die sichtbaren Hinterlassenschaften** (6)
- **Sich hinsetzen müssen, fehlende Pissoirs** (6 männlich)
- **Fehlende Barrierefreiheit, nicht behindertengerecht, nichts für Kniekranke** (5)
- **Informationen werden leicht übersehen, besser platzieren, fehlen des großes Schild „Toilette“** (4)
- **Fehlender Kleiderhaken** (2)
- **Fehlende Intimität: zu hellhörig, zu dünne Wand** (2)
- **Fliegen** (2)
- **Fehlende Lektüre** (1)
- **Bei Regenwetter??** (1)

14

Beurteilung verschiedener Aspekte nach Schulnoten

Schulnoten: 1=sehr gut; 6= ungenügend



15

Kritikpunkte Begründung der Noten 3 und schlechter

MWS Händereinigung mit Desinfektionsgel

Gesamtnote: 2,1

Knapp ein Drittel vergibt die Schulnote 3 oder schlechter

- Händereinigung mit Wasser wird bevorzugt (22)
- Schmierige Hände (vor allem bei Hitze), unangenehmes Gefühl, kein sauberes Gefühl hinterher (8)
- Wenig ökologisch, Chemie (3)
- Angebot des Desinfektionsgels wurde nicht gesehen, zu versteckt platziert (10)

Die Zugänglichkeit über Stufen

Gesamtnote: 2,3

Ein gutes Drittel der Befragten vergibt die Schulnote 3 oder schlechter

- Für Ältere und Gehbehinderte problematisch (24)
- Nicht barrierefrei, kein Zugang für Rollstuhlfahrer (21)
- Zu steil, Stufen zu kurz (4)

16

Kritikpunkte Begründung der Noten 3 und schlechter

Gestaltung der Wände mit Kunst

Gesamtnote: 1,9

Etwa ein Fünftel der Befragten vergibt die Schulnote 3 oder schlechter

- Welche Kunst? Da war keine Kunst, ist nicht aufgefallen, „da waren nur Farben“ (25)
- Langweilig, zu wenig künstlerisch, könnte man mehr daraus machen, es gibt bessere Kunst (7)
- Innen keine Kunst (3)

Betreuungs- und Erklär-Service

Gesamtnote: 1,8

Etwa ein Fünftel der Befragten vergibt die Schulnote 3 oder schlechter

- Persönlichen Service gab es nicht (10)
- Nicht ausreichende Beschilderung, zu knapp (5)
- Unklar, nicht richtig verstanden (3)

17

Offene Frage: Optimierungsvorschläge

- **Barrierefreiheit** ermöglichen (30)
 - Ebenerdig oder Rampe, extra Behindertentoiletten
 - **Geländer** als Führung (zumindest an einigen Toiletten) (8)
- Stufen breiter, weniger steil (2)
- **Hände mit Wasser reinigen**, Handwaschbecken (22)
- Information**
 - Verbesserte Anleitung und mehr Infos (14)
 - Späne / Becher / Sinn und Zweck
 - Bessere Beschilderung der Händedesinfektion
 - Deutliche Beschilderung „TOILETTEN“ (3)
- Becher / Einstreu**
 - Größere Becher, mehr Einstreu (7)
 - Einstreu in Kabine platzieren (4)
 - Stabilere Becher (2)
 - Becher aus Hygienegründen nicht wiederverwenden, besser Spender für Einstreu (3)

- Ausstattung**
 - Extra Pissoir / Urinal (7)
 - Kleiderhaken (7)
 - Spiegel (3)
 - Desinfektionsmittel in Kabine, um Klobrille zu reinigen (3)
 - Lektüre, mehr Bilder, Comics (3)
 - Dichtere / festere Trennwände (2)
 - Türverriegelung
 - einfacher (3)
 - weniger wackelig / locker (2)
- Sonstiges**
 - Bessere Durchlüftung bei Hitze (3)
 - Nach Frauen und Männern trennen (z. B. über Türfarben) (1)
 - Besetztzeichen außen (1)
 - Haltegriffe (damit Frauen in Stehen pinkeln können) (1)

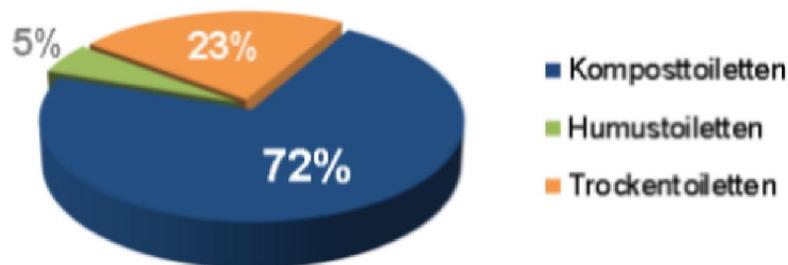
18

Große Begeisterung für Komposttoiletten...



19

Präferierter Name



Eindeutige Zustimmung für den Begriff
KOMPOSTTOILETTE

20

Fazit

- Die Komposttoiletten stoßen auf große Begeisterung: Die Idee fasziniert, das Konzept überzeugt. Sie gelten als zukunftsweisend und eignen sich gut für Großveranstaltungen wie den Kirchentag.
- Größte Zustimmung mit weit über 90% bekommen ihre offensichtliche Umweltfreundlichkeit, die Sauberkeit, die einfache und angenehme Benutzung.
- Sie werden als originell und sympathisch empfunden.
- 95% der Befragten halten sie für eine gute Alternative zu Chemie-Toiletten.

21

Fazit

- Etwa ein Fünftel der Befragten empfinden die Komposttoiletten beim ersten Eindruck als gewöhnungsbedürftig oder befremdlich.
- Ein Kritikpunkt ist die Händereinigung mit Desinfektionsgel. Ein knappes Drittel findet diese suboptimal. Bemängelt wird die fehlende Möglichkeit, die Hände mit Wasser waschen zu können. Manche wünschen sich eine bessere Platzierung, da das Angebot übersehen wird. Einzelne bezweifeln die Umweltfreundlichkeit des Desinfektionsgels.
- Daneben wird von einem guten Drittel die fehlende Barrierefreiheit thematisiert bzw. der schwierige Zugang über die Stufen für Ältere und Gehbehinderte. Ein Geländer an manchen Toiletten könnte hier Abhilfe schaffen.
- Auch hinsichtlich der Gebrauchsanleitung und Informationen zu den Komposttoiletten gibt es noch Optimierungsmöglichkeiten, um die Benutzung klarer und einfacher zu gestalten.

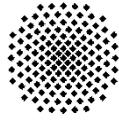
22

Fazit

- Als Name wird eindeutig statt Trockentoiletten oder Humustoiletten **KOMPOSTTOILETTEN** bevorzugt.
- Insgesamt passt das Konzept der Komposttoiletten aus Sicht der Nutzerinnen und Nutzer hervorragend zum „Spirit“ des DEKT, sowohl hinsichtlich Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit als auch ihrer Benutzerfreundlichkeit.

23

5.5 Abschlussbericht der Projekterganzung



Universität Stuttgart



**Institut für Siedlungswasserbau,
Wassergüte- und Abfallwirtschaft**

**Wissenschaftliches Begleitprogramm zur
Bestimmung und Bewertung von Arzneimittelreststoffen
aus Urin und Komposttoiletten von Großveranstaltungen**

**Abschlussbericht als Projektergänzung zum Projekt AZ 32799, gefördert von
der Deutschen Bundesstiftung Umwelt:**

**„Nutzung von Komposttoiletten auf dem Stuttgarter Kirchentag 2015 als prakti-
sches Beispiel von Nachhaltigkeitskommunikation in den Bereichen Ressour-
censchonung, Stoffstrommanagement, Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz
des deutschen Kirchentags“**

Bearbeitet von:

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Wasserrecycling

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz

Projektbearbeitung: Dr.-Ing. Timo Pittmann

Lehrstuhl für Hydrochemie und Hydrobiologie

Projektbearbeitung: Dr. rer.nat. Bertram Kuch

Stuttgart, Dezember 2015

Inhalt

Inhalt	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
Zusammenfassung	1
1. Einleitung und Motivation, Stand der Technik	2
2. Ziele und Arbeitsprogramm	3
2.1 Ziele und Vorgehensweise	3
2.2 Arbeitsprogramm	3
2.2.1 Probennahme während des Kirchentages	3
2.2.2 Probennahme während der Kompostierung	3
2.2.3 Analyse der Proben	3
2.2.4 Interpretation der Ergebnisse	3
3. Material und Methoden	4
3.1 Probennahme	4
3.1.1 Urindrainage	4
3.1.2 Sickerwasser	4
3.1.3 Toilettenzuschlagstoffe	5
3.1.4 Faeces, Kompostzuschlagstoffe und Kompost	5
3.1.5 Vergleichsproben	6
3.2 Analytierte Parameter	6
3.2.1 Chemisch-physikalische Parameter	6
3.2.2 Medikamente	9
3.2.3 Hormone	9
3.2.4 Mikrobiologie	9
4. Ergebnisse	10
4.1 Standardparameter	10

4.2	Schwermetalle	12
4.3	Pharmazeutische Wirkstoffe	14
4.3.1	Urindrainage	16
4.3.2	Inhalt der Komposttoiletten	21
4.3.3	Verhalten der Substanzen während der Kompostierung	23
4.4	Mikrobiologie	27
5.	Fazit	29
6.	Tabellenanhang	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 24: Probennahme während des Kirchentags	4
Abbildung 25: Prozentuale Zusammensetzung des Rohkomposts	5
Abbildung 26: Probennahme beim Ansatz des Komposts	6
Abbildung 27: Sickerwasser – Änderungen der Verhältnisse CSB/TOC, Pges/PO4-P, TKN/NH4-N	11
Abbildung 28: Urindrainage-Proben - Pharmazeutische Wirkstoffe und Metabolite Mittlere Konzentrationen mit Standardabweichung; AAAP: Acetamidoantipyrin (Metamizol-Metabolit)	16
Abbildung 29: Urindrainage-Proben – Estrogene Gesamtaktivität	18
Abbildung 30: Urindrainage-Proben – Korrelationen von Coffein mit ausgewählten Standardparametern	19
Abbildung 31: Urindrainage-Proben – Korrelation des EEQ mit Phosphat-P	19
Abbildung 32: Urindrainage-Proben – Vergleich mit Kläranlagenzuläufen	20
Abbildung 33: Trockentoiletteninhalt – Konzentrationen ausgewählter Analyten	22
Abbildung 34: Trockentoiletten – Prozentuale Frachtanteile von Urindrainage und Feststoffen	23
Abbildung 35: Kompostierung – Zeitlicher Konzentrationsverlauf	24
Abbildung 36: Keimbelastung im Kompost: Zeitlicher Verlauf von links (Faeces vor dem Ansatz) nach rechts (nach der Wurmzugabe)	28
Abbildung 37: Keimbelastung im Sickerwasser: Zeitlicher Verlauf von links nach rechts	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Analyseverfahren zur Untersuchung der flüssigen Proben	6
Tabelle 2: Analyseverfahren zur Untersuchung der Feststoffe	8
Tabelle 3: Urindrainage und Trockentoiletteninhalt – Anteilige C-, N- und P-Frachten	10
Tabelle 4: Metallgehalte in den untersuchten Proben, sowie kompostbezogene Grenzwerte und Vergleichswerte im Klärschlamm	13
Tabelle 5: Vergleich ausgewählter Substanzen in Schwarzwasser, Kläranlagen und der Urindrainage	20
Tabelle 6: Elimination ausgewählter Substanzen während des Kompostierungsprozesses	25
Tabelle 7: Sickerwasser – Konzentrationen ausgewählter Analyten	26
Tabelle 8: Keimzahl der untersuchten Proben in KBE/mL (wässrige Proben) bzw. KBE/g Feuchtmasse	27
Tabelle 9: Urindrainage-Proben - Standardparameter	31
Tabelle 10: Sickerwasser - Standardparameter	32
Tabelle 11: Feststoffe – Ausgewählte Standardparameter	32
Tabelle 12: Feststoffe – Ausgewählte Kompostparameter	33
Tabelle 13: Pharmazeutische Wirkstoffe und weitere Substanzen in den untersuchten Matrices	34

Abkürzungsverzeichnis

Begriff	Einheit	Beschreibung
AFS	mg/L	Abfiltrierbare Stoffe (Membran mit 0,45µm)
BioAbfV	-	Bioabfallverordnung
CSB	mg/L	Chemischer Sauerstoffbedarf
DBU	-	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DüMV	-	Düngemittelverordnung
EEQ	ng/L	17β-Estradiol-Äquivalentkonzentration
GC	-	Gaschromatograph
MS	-	Massenspektrometrie
NASS	-	Neuartige Sanitärsysteme
RPE	%	Relative proliferative Effekte
TS	g/L	Trockensubstanzgehalt einer wässrigen Lösung, Gewicht der abfiltrierbaren getrockneten Feststoffe

Zusammenfassung

Im Sinne eines nachhaltigen Umgangs mit Toilettenabwasser wurden auf dem Kirchentag 2015 in Stuttgart im Rahmen eines von der DBU geförderten Projektes (32799) versuchsweise Komposttoiletten aufgestellt, um die Fäkalien nach Kompostierung einer Wiederverwertung zuführen zu können. Dabei stellt sich die Frage nach der Belastung und dem Verbleib von Arzneimittelrückständen während des Kompostierungsprozesses und im Endprodukt.

Die auf dem Kirchentag verwendeten Komposttoiletten wurden ohne Wasserspülung betrieben. Während die Feststoffe (Faeces), mit Zuschlagsstoffen versetzt, in Tonnen gesammelt wurden, wurde der Urin nach Passage der Tonnen (Urindrainage) in die Kanalisation abgeleitet. Die gesammelten Feststoffe wurden nach Ende der Veranstaltung einer Kompostierung zugeführt. Im Rahmen des Projektes wurden während des Kirchentages täglich Proben der Urindrainage aus den Komposttoiletten und im Verlauf der Kompostierung Sickerwasserproben und Proben des Komposts genommen.

Alle Proben wurden auf den Schwermetallgehalt, die Konzentration an Arzneimittelrückständen und hinsichtlich der Keimbelastung untersucht. Die Schwermetallkonzentration im Sickerwasser und im Kompost erweisen sich unter Berücksichtigung der aktuellen Gesetzgebung als unbedenklich. Eine Substitution des landwirtschaftlich genutzten Klärschlammes durch Kompost aus Trockentoiletten würde nach dem Kenntnisstand der durchgeführten Untersuchungen zu einer Verbesserung hinsichtlich der Ausbringung von Schwermetallen führen.

Arzneimittelrückstände befinden sich vor allem in der flüssigen Phase (Urindrainage), einige Substanzen konnten jedoch auch in den Trockentoiletteninhalten bzw. im Kompost nachgewiesen werden. Eine Frachtabschätzung ergab, dass lediglich Ibuprofen in der Urindrainage und den Feststoffen zu etwa gleichen Anteilen gefunden wurde. Alle anderen Substanzen wiesen in der Feststofffraktion einen Anteil von maximal 20 % (Diclofenac) oder deutlich weniger auf. Naproxen, Metoprolol, Sulfamethoxazol und die estrogenen Gesamtaktivität finden sich zu über 99 % in der Urindrainage und sind in den Trockentoiletteninhalten nur in geringen Konzentrationen oder gar nicht nachzuweisen.

Die meisten zu Beginn im Kompost vorhandenen Arzneimittel und die Estrogene Gesamtaktivität wurden durch Abbauprozesse (biologisch oder chemisch) weitgehend verringert. Der Kompost kann somit nach dem derzeitigen Wissensstand als weitgehend unbedenklich hinsichtlich Arzneimittelrückständen eingestuft werden. Die hormonelle Aktivität der Urindrainage liegt unterhalb erwarteter Bereiche. Im Sickerwasser konnten ebenfalls nur geringe Estrogene Aktivitäten festgestellt werden, so dass nennenswerte Effekte in der Umwelt nicht zu erwarten sind. Bezüglich der Keimbelastung sind sowohl der Kompost als auch das Sickerwasser nicht unbedenklich, was bei weiterer Verwendung berücksichtigt werden muss.

1. Einleitung und Motivation, Stand der Technik

Der Stuttgarter Kirchentag 2015 wurde von über 100.000 Dauerteilnehmenden und täglich bis zu 15.000 Tagesgästen besucht. Zu Beginn des fünftägigen Events fand in der Innenstadt der sogenannte Abend der Begegnung statt, an dem etwa 200.000 BesucherInnen teilnahmen.

Seit Jahren bemüht sich der Kirchentag, die negativen Umweltfolgen seiner Großveranstaltung zu minimieren und lässt sich dazu unter anderem sowohl die eigene Organisation als auch die Veranstaltung regelmäßig EMAS zertifizieren.

Für Großveranstaltungen, wie es beispielsweise auch Kirchentage sind, wurden bisher mobile Toilettenanlagen direkt an die Kanalisation angeschlossen und/oder auf den Veranstaltungsgeländen chemische Toiletten verwendet. Für letztere erfolgt die Entsorgung über Pumpwagen und Klärwerke und gilt als wenig umweltfreundlich. Ein Direktanschluss an die Kanalisation kann zu einer Überlastung der vorhandenen Kläranlage führen. Von daher weisen beide Möglichkeiten Probleme auf.

Im Rahmen eines Projektes des Kirchentags, unterstützt durch die DBU, wurden versuchsweise an zwei Standorten Komposttoiletten in mobilen Toilettenanlagen mit dem Ziel der Ressourcenschonung, des Bodenschutzes, des lokalen Ressourcenmanagements, des Klimaschutzes und zur Erarbeitung von Nachhaltigkeitsstrategien im Abfall- und Abwasserbereich für Kommunen und künftige Großveranstaltungen eingesetzt. Die Idee ist, dass lokale Akteure die anfallenden Substrate nach Kompostierung als Kompost und Dünger nutzen. Die Fach- wie Kirchentagsöffentlichkeit soll für einen nachhaltigen Umgang mit neuartigen Sanitärsystemen und deren Produkte gewonnen werden und Kreislaufsysteme wiederentdecken.

In der konventionellen Abwasserentsorgung ist derzeit das Thema organische Spurenstoffe mit Fokus auf Arzneimittelrückstände in der aktuellen Diskussion. Einige Kläranlagen insbesondere in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen sind oder werden aktuell mit einer entsprechenden zusätzlichen Reinigungsstufe ausgestattet. Daher stellen sich die Fragen, wie stark Faeces und Urin im Eintrag mit Arzneimittelrückständen belastet sind, ob diese Stoffe im Verarbeitungsprozess (Kompostierung) zumindest teilweise entfernt werden beziehungsweise wie groß eine eventuelle Restbelastung im fertigen Produkt ist. Weiterhin ist für die Verwertung des Kompostes die Frage nach der hygienischen Unbedenklichkeit und eventuellen Schwermetallbelastungen bedeutsam. Diesen Fragen wurde im Rahmen des Projektes nachgegangen.

2. Ziele und Arbeitsprogramm

2.1 Ziele und Vorgehensweise

Im Rahmen des Projektes wurde die Belastung von Urin und Faeces aus Komposttoiletten mit ausgewählten Arzneimittelrückständen untersucht. Weiterhin wurde anhand von Stichproben untersucht, wo die Schadstoffe während der Kompostierung verbleiben. Damit soll eine grobe Abschätzung ermöglicht werden, ob eine Verarbeitung von Faeces zu einer Verringerung der Schadstoffeinträge in die Umwelt beitragen kann. Ergänzend wurden in ausgewählten Proben auch Schwermetalle bestimmt. Hiermit sollte ein Vergleich mit den für die Klärschlammausbringung üblichen Werten ermöglicht werden.

Das Rohmaterial (Faeces) und der Kompost wurden auf die Keimbelastung untersucht. Neben der Gesamtkeimzahl wurden Fäkalindikatoren (E. Coli, intestinale Enterokokken) bestimmt, um so Aussagen über den hygienischen Status des Kompostes treffen zu können.

2.2 Arbeitsprogramm

2.2.1 Probennahme während des Kirchentages

MitarbeiterInnen des Instituts für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) waren bereits beim Aufbau der Komposttoiletten vor Ort, um in Absprache mit den Toilettenbetreibern geeignete Probennahmestellen festzulegen und Proben der Toilettenzuschlagsstoffe (Spülspäne, Klopapier, Drainagestroh, Desinfektionsmittel) zu nehmen. Während des Kirchentags wurden täglich Proben aus den festgelegten Urindrainagesammelstellen entnommen.

2.2.2 Probennahme während der Kompostierung

MitarbeiterInnen des ISWA waren bei der Anlieferung der Faeces und beim Ansetzen des Komposts auf der Deponie Burghof, um Proben des Kompostrohmaterials (Faeces), sowie der Kompostzuschlagstoffe (Gras, Birkenzweige, Kohle, Hackschnitzel) und eine Nullprobe des Sickerwassers zu nehmen.

Zudem wurden in ca. monatlichem Abstand Proben aus dem Kompost, sowie Sickerwasserproben genommen.

2.2.3 Analyse der Proben

Alle Proben wurden am ISWA untersucht. Die unterschiedlichen Untersuchungsverfahren werden in Kapitel 3.2 genauer erläutert.

2.2.4 Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Analytik werden in Kapitel 4 detailliert dargestellt und erläutert.

3. Material und Methoden

3.1 Probennahme

Proben wurden sowohl von Flüssigkeiten als auch von Feststoffen genommen. Im Folgenden werden die einzelnen Probenahmen genauer beschrieben.

3.1.1 Urindrainage

Bei der Benutzung der Komposttoiletten sickert der anfallende Urin durch die bis dahin in die Toilette eingebrachten Schichten aus Faeces, Spülspänen und Toilettenpapier, sowie durch eine am Boden der Toilette befindliche Schicht aus Drainagestroh. Durch den Kontakt mit diesen Materialien wird der Urin unter anderem mit Faeces verunreinigt, so dass im Folgenden nicht mehr von Urin, sondern von Urindrainage gesprochen wird.



Abbildung 24: Probennahme während des Kirchentags

Die Urindrainage wurde einmal täglich an zwei Standorten entnommen (Abbildung 1). In diesen sammelte sich der durch die jeweilige Komposttoilette drainierte Urin aller Toiletten des Standorts. Beim Erreichen eines festgelegten Füllstandes (ca. 40-50 L) wurde die Urindrainage aus dem Sammelbehälter in die vorhandene Kanalisation gepumpt. Die entnommenen Proben wurden in Einliter-Glasflaschen gefüllt, das Probenvolumen betrug jeweils 1-2L.

3.1.2 Sickerwasser

Das Sickerwasser wurde mittels eines von Mitarbeitern der Deponie Burghof errichteten Lysimeters aufgefangen und in einem 1000 L fassenden Probennahmebehälter (ICP-Container) gesammelt. Dort wurde sowohl vor der Kompostierung (Nullprobe Sickerwasser) als auch im

Abstand von ca. einem Monat jeweils 1-2 L Probe entnommen. Die Proben wurden ebenfalls in Einliter-Glasflaschen gefüllt. Danach wurde der Behälter vollständig entleert, um eine zeitliche Veränderung der Sickerwasserzusammensetzung erfassen zu können.

3.1.3 Toilettenzuschlagstoffe

Die Toilettenzuschlagstoffe (Drainagestroh, Spülspäne, Kloppapier) und auch das zur Handreinigung zur Verfügung stehende Desinfektionsmittel wurden direkt am Kirchentag in verschließbare Plastikeimer (5 L) gefüllt, so dass eine ausreichende Probenmenge vorhanden war.

3.1.4 Faeces, Kompostzuschlagstoffe und Kompost

Vor dem Ansatz des Komposts wurden jeweils Proben der Faeces, sowie aller Kompostzuschlagstoffe (Gras, Hackschnitzel, Birkenzweige, Kohle) in verschließbare Plastikeimer (5 L) gefüllt. Dabei wurden Proben aus 10-15 Stellen entnommen und zu einer Mischprobe vermengt. In Abbildung 25 ist die Zusammensetzung des Trockentoiletteninhalts und des Rohkomposts dargestellt.

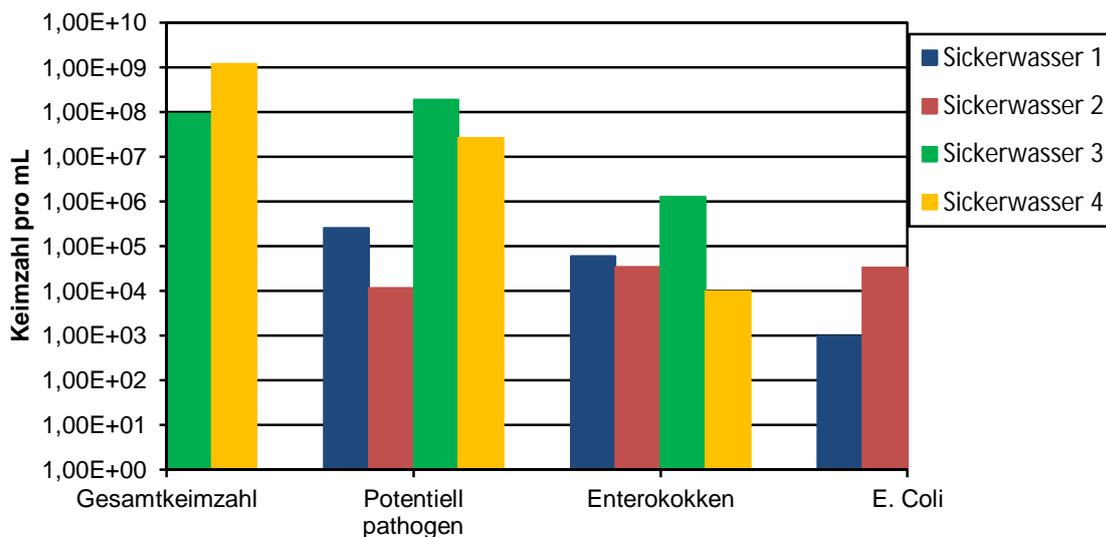


Abbildung 25: Prozentuale Zusammensetzung des Rohkomposts

Auch für die Probenahme im Kompost wurde an 10 bis 15 Stellen Teilproben entnommen und zu einer Probe vereint, um eine möglichst repräsentative Probe zu erhalten. Abbildung 3 verdeutlicht die Probenahme des Rohkompostgemisches.



Abbildung 26: Probennahme beim Ansatz des Komposts

3.1.5 Vergleichsproben

Als Vergleichsproben wurde bei der Deutschen Bahn AG Schwarzwasserproben aus Zugtoiletten genommen, sowie Erfahrungswerte zum Vorkommen pharmazeutischer Wirkstoffe in Zuläufen kommunaler Kläranlagen (unveröffentlichte eigener Messungen auf unterschiedlichen Kläranlagen und über längere Zeiträume) herangezogen.

3.2 Analyisierte Parameter

Neben Medikamenten und deren Abbauprodukten wurden auch Hormone und mikrobiologische Parameter untersucht. Des Weiteren wurden über den Projektantrag hinaus auch chemisch-physikalische Standardparameter bestimmt. Die Analyseverfahren werden im Folgenden genauer erläutert.

3.2.1 Chemisch-physikalische Parameter

Untersuchungen der flüssigen Proben (Urindrainage, Sickerwasser) konnten nach im Abwasserbereich gängigen Untersuchungsmethoden durchgeführt werden (Tabelle 1).

Die Analysen der Feststoffe (Faeces, Kompost, Zuschlagstoffe) wurden nach dem Methodenbuch zur Analyse von Kompost der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. durchgeführt (Tabelle 2).

Tabelle 1: Analyseverfahren zur Untersuchung der flüssigen Proben

Urindrainage und Sickerwasser			
Parameter	Einheit	Verfahren	Datum
pH		DIN 38404-5	07/2009
LF	mS/cm	DIN EN 27888	11/1993
AFS	mg/L	DIN 38409-2-2	03/1987
Hac*	mg/L	Hausmethode	
Chlorid	mg/L	DIN 38405-1	12/1985
CSB	mg/L	DIN 38409-41	12/1980
TOC	mg/L	DIN EN 1484	08/1997
TC	mg/L		
P _{ges.}	mg/L	Hausmethode, in Anlehnung an DIN EN ISO 6878	09/2004
TKN	mg/L	DIN EN 25663	11/1993
Phosphat-P	mg/L	DIN EN ISO 6878	09/2004
Ammonium-N	mg/L	DIN 38406-5-2	10/1983
(Schwer)Metalle	mg/L	DIN ISO 17294	02/2005

*Hac: Essigsäure-Äquivalente

Tabelle 2: Analyseverfahren zur Untersuchung der Feststoffe

Originalprobe + getrocknete Probe			
Parameter	Einheit	Verfahren	Datum
Rohdichte	g/L	Methodenbuch zur Analyse von Kompost HRSG. Bundesgütegemeinschaft Kompost	07/1998
GT	g/kg	DIN 38409-1	01/1987
GV	%		
CSB	g/kg	DIN 38409-41	12/1980
TOC	g/kg	DIN EN 13137	12/2001
TKN	g/kg	Methodenbuch zur Analyse von Kompost HRSG. Bundesgütegemeinschaft Kompost	07/1998
P _{ges.}	g/kg	Hausmethode, in Anlehnung an DIN EN ISO 6878	09/2004
(Schwer)Metalle	g/kg	DIN ISO 17294	02/2005
Messungen in Extrakten			
Parameter	Einheit	Verfahren	Datum
CSB	mg/L	DIN 38409-41	12/1980
LF	mS/cm	DIN EN 27888	11/1993
Salzgehalt	g/L FS	Methodenbuch zur Analyse von Kompost HRSG. Bundesgütegemeinschaft Kompost	07/1998
Chlorid	mg/L FS	DIN EN ISO 10304-1	07/2009
Nitrat-N	mg/L FS	DIN 38405-9	09/2011
Ammonium-N	mg/L FS	DIN 38406-5-2	10/1983
Mg	mg/L FS	E. MERCK "Untersuchungen von Wasser" 11. Aufl.	
Phosphat als P ₂ O ₅	mg/L FS	DIN EN ISO 6878	09/2004

3.2.2 Medikamente

Ausgewählte Arzneimittelwirkstoffe und deren Abbauprodukte wurden mittels HRGC-LRMS (hochauflösende Gaschromatographie mit direkt gekoppelter niederauflösender massenselektiver Detektion) oder HPLC-MSMS (Hochleistungsflüssigchromatographie mit MS/MS-Kopplung) bestimmt. Für die Aufarbeitung der flüssigen Proben (z.B. Urin) wurden Flüssig/flüssig-Anreicherungsverfahren (Extraktion mit Dichlormethan) angewendet bzw. Festphasenanreicherungen durchgeführt (SPE-Kartuschen TELOS ENV). Feste Proben wurden nach der Gefriertrocknung einer Extraktion mit Dichlormethan unterworfen. Die Quantifizierung der ausgewählten Zielanalyten erfolgte über die Isotopenverdünnungsmethode (Einsatz isotopenmarkierter Standardverbindungen).

3.2.3 Hormone

Die Estrogene Aktivität wurde mit dem E-Screen-Assay bestimmt. Dieser in-vitro Test basiert auf dem zunehmenden Wachstum menschlicher Brustkrebszellen (MCF-7) bei Anwesenheit von hormonaktiven Substanzen. Die quantitative Auswertung erfolgt über den Wendepunkt der Dosis-Wirkungs-Kurve (EC_{50} -Wert). Die Zellen werden dabei mit einer Verdünnungsreihe des Probenextrakts inkubiert. Die Berechnung der Estrogenen Aktivität einer Probe erfolgt aus dem Abgleich des EC_{50} -Wertes der Probe und des EC_{50} -Wertes einer Verdünnungsreihe der Referenzsubstanz 17β -Estradiol. Die Aktivität der Probe wird als 17β -Estradiol-Äquivalentkonzentration (EEQ) in Konzentrationseinheiten der Bezugssubstanz 17β -Estradiol angegeben.

3.2.4 Mikrobiologie

Die in den Proben vorhandenen Keime wurden durch Ausplattierung bestimmt. Dabei wurden verschiedene Verdünnungen der Originalprobe untersucht. Nach einer Inkubationszeit auf Platten mit unterschiedlichen Nährmedien von 48 h wurden die vorhandenen koloniebildenden Einheiten ausgezählt und so auf die Keimzahl pro mL Flüssigkeit oder pro g Feuchtmasse geschlossen. Zur Ermittlung der Gesamtkeimzahl wurden die Mikroorganismen bei 30 °C aufbewahrt, während das Wachstum der potentiell pathogenen Keime, der Enterokokken und der E.-coli bei 37 °C stattfand.

4. Ergebnisse

4.1 Standardparameter

Die im Rahmen der Projektierung ermittelten Standardparameter sind im Anhang in Tabelle 9 ff. aufgeführt. Im Folgenden erfolgt eine kurze Übersicht über die Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorbilanzen von der Trockentoilette bis zum fertigen Kompost. Die Kohlenstoffbilanzen wurden teilweise über den CSB der Proben zurückgerechnet.

Von den C-,N-,P-Gesamtfrachten, die durch die Toilettenbenutzung erzeugt werden, sind aufgrund der Separation der flüssigen Phase (Urindrainage) 75 % der Kohlenstofffracht, 22 % der Phosphorfracht und lediglich 3,6 % der insgesamt anfallenden Stickstofffracht in den Feststoffen der Trockentoilette fixiert (Tab. 3). Die C-, N-,P-Anteile der verschiedenen in den Toiletten verwendeten Materialien sind hierbei mit berücksichtigt. Eine entscheidende Reduktion der P- und N-Frachten, die z.B. in eine Kläranlage gelangen, ist damit - auf Basis der während des Untersuchungsprogramms erhobenen Daten - durch das im Rahmen der Projektierung untersuchte Verfahren nicht zu erreichen. Dies ist plausibel, da Urin, welches weitgehend abgeleitet wird, mit ca. 90% den höchsten Stickstoffanteil an Schmutzwasser hat und auch einen erheblichen Anteil an P enthält. Umgekehrt findet eine Anreicherung der Nährstoffe N und P in den Feststoffen des Trockentoiletteninhalts in untergeordnetem Maßstab statt.

Tabelle 3: Urindrainage und Trockentoiletteninhalt – Anteilige C-, N- und P-Frachten

Basis für Kohlenstoff TOC, für Stickstoff TKN, für P Gesamtphosphor

	C	N	P
Urindrainage	26,3 kg	43,1 kg	2,13 kg
Feststoffe Trockentoilette	80,7 kg	1,59 kg	0,58 kg
Feststoffgebundener Anteil	75 %	3,6 %	22 %

Auch in der Urindrainage sind Partikel in gewissem Umfang enthalten. 86 % der in der Urindrainage ermittelten Phosphorfracht (P_{ges}) ist in der wässrigen Phase (membranfiltriert) lokalisiert, dieser Frachtanteil besteht vollständig aus Phosphat-P (PO_4^{3-} -P). Der Anteil von Ammonium-N an der N_{ges} -Fracht der Urindrainage beträgt 93 %.

Im Ausgangsmaterial für den Kompostierungsprozess beträgt der prozentuale Anteil der Trockentoiletteninhalt 23 % (Massenanteil). Bezogen auf den Trockensubstanzanteil des Ausgangsmaterials, das aus dem Trockentoiletteninhalt, Grobhäckseln, Birkenzweigen und zu ca. 50 % aus Rasenschnitt besteht (siehe Abbildung 25) bleibt der C-Gehalt aufgrund der C-Zufuhr durch die Zuschlagsstoffe nach der Vermischung vergleichbar, die N- und P-Gehalte werden

durch die Zuschlagsstoffe erniedrigt. So beträgt der P-Inhalt im Inhalt der Trockentoiletten 1,9 g/kg TS, im Grasschnitt, der anteilig zu 50 % zugemischt wird, nur 0,4 g/kg TS.

Über das während der Kompostierung anfallende Sickerwasser wurden insgesamt 0,05 kg Kohlenstoff (TOC), 0,004 kg Phosphor (als P_{ges}) und 0,08 kg Stickstoff aus dem Kompostmaterial ausgetragen. Für alle untersuchten Standardparameter wurden die höchsten Konzentrationen in der dritten von insgesamt vier Sickerwasserproben (genommen am 01.07., 21.07., 07.08. und 16.09.2016) festgestellt.

Das Verhältnis des CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) zum TOC (Organischer Gesamtkohlenstoff) verringerte sich in den Sickerwasserproben über die Zeit; dies ist ein Hinweis auf den zunehmenden Oxidationsgrad der eluierten Substanzen. Der Anteil von Phosphat-P am eluierten Gesamtphosphor erhöhte sich in den unfiltrierten Proben über die Zeit von anfänglich 20 % auf ca. 55 % in der letzten Sickerwasserprobe, beim Vergleich der membranfiltrierten Probenpaare konnte eine Erhöhung des Phosphat-P-Anteils von anfänglich 34 % auf ca. 70 % festgestellt werden. Im Gegensatz dazu verringerte sich der Anteil von Ammonium-N am eluierten Gesamtstickstoff von anfänglich 91 % auf 28 % in der letzten Sickerwasserprobe vom 16.09.2015. Diese Änderungen, die in Abbildung 4 dargestellt sind, weisen insgesamt auf die während der Kompostierung ablaufenden Abbau- und Sorptionsprozesse hin.

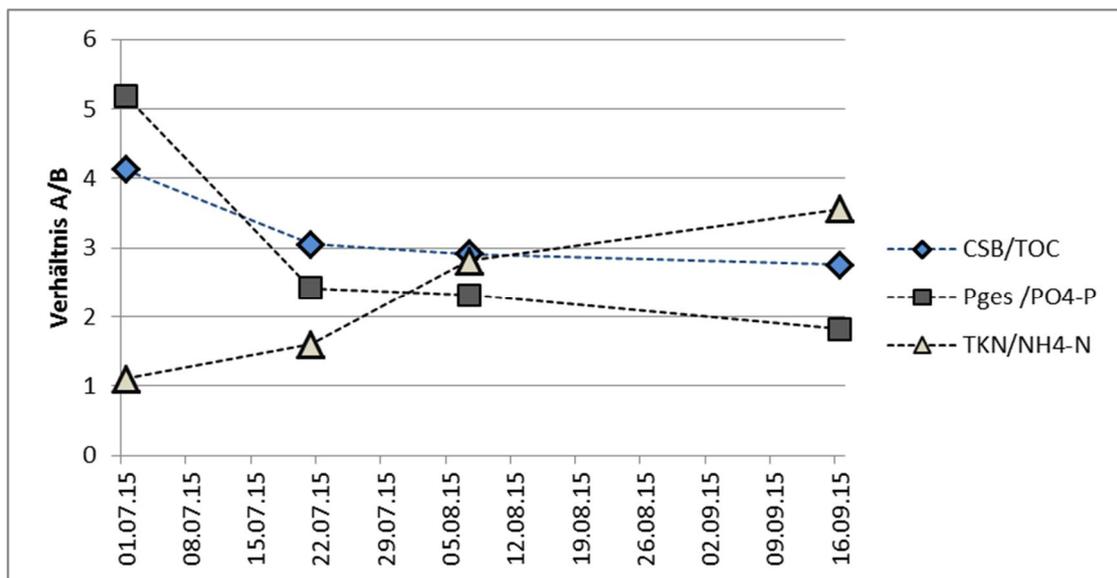


Abbildung 27: Sickerwasser – Änderungen der Verhältnisse CSB/TOC, $P_{ges}/PO_4\text{-P}$, TKN/ $NH_4\text{-N}$

Am Anfang der Kompostierung wurde ein Kohlenstoffanteil von ca. 360 g/kg TS ermittelt, der Stickstoffgehalt (TKN) der Trockensubstanz betrug ca. 20 g/kg TS, der Phosphorgehalt (P_{ges}) ca. 0,3 g/kg TS. Am Ende der Kompostierung betrug der Kohlenstoffanteil (TOC) ca. 260 g/kg TS, der Stickstoffgehalt (TKN) lag bei ca. 20 g/kg TS, der Phosphorgehalt (P_{ges}) bei ca. 0,5 g/kg TS. Der Anteil der über das Sickerwasser ausgetragenen Komponenten (siehe oben) ist

sehr gering. Unter Vernachlässigung der Unsicherheiten, die sich aus der Inhomogenität der Proben ergeben, weisen insbesondere die Änderungen der Kohlenstoffwerte auf die Abbauprozesse während der Kompostierung hin.

4.2 Schwermetalle

Die Bestimmung von (Schwer-)Metallen wurde in zwei Urindrainageproben, zwei Sickerwasserproben, sowie in den Faeces-, Toilettenzuschlagstoff-, Gras- und Kompostproben durchgeführt.

Die Urindrainage-Proben enthielten mit Ausnahme von Nickel (ca. 160 µg/L) und Zink (ca. 220 µg/L) die relevanten Schwermetalle in niedrigen Konzentrationsbereichen von weniger als 100 µg/L. Höhere Konzentrationen im Bereich von 1 – 20 mg/L wurden für Magnesium und Calcium gefunden, für Natrium und Kalium im g/L-Bereich.

Die in den Trockentoiletten und bei der Kompostierung eingesetzten Zuschlagsstoffe wiesen im Allgemeinen keine auffälligen Befunde auf. Allerdings scheinen die verwendeten Hack-schnitzel (siehe Tabelle 4) einen wesentlichen Eintragspfad für Arsen, Chrom, Blei und Zink darzustellen, der sich mit der Auswahl geeigneter Ersatzstoffe vermeiden ließe.

Das während der Kompostierung anfallende Sickerwasser stellt keinen relevanten Austragspfad für die untersuchten Schwermetalle dar.

Die im Kompost gefundenen Konzentrationen der in Tabelle 4 aufgeführten umweltrelevanten Metalle (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Tl, Zn) unterschreiten sowohl die Grenzwerte der Klärschlammverordnung als auch der Düngemittelverordnung (DüMV) und der Bioabfallverordnung (BioAbfV) deutlich; die Vorgaben zur „BioLand“-Zertifizierung werden ebenfalls alle eingehalten.

Der Vergleich mit landwirtschaftlich verwertetem Klärschlamm (Tab. 4) zeigt, dass sämtliche in diesem Projekt gemessene Schwermetallkonzentrationen weit unterhalb derer im Klärschlamm liegen. Vor allem die hinsichtlich einer landwirtschaftlichen Verwertung des Komposts wichtigen Resultate am Ende der Kompostierung (nach Wurmzugabe) zeigen für jedes Schwermetall deutlich geringere Konzentrationen, so dass durch die Ausbringung des Fäkalienkomposts an Stelle des Klärschlammes eine Verbesserung hinsichtlich der Schwermetallkonzentrationen auftreten würde.

Tabelle 4: Metallgehalte in den untersuchten Proben, sowie kompostbezogene Grenzwerte und Vergleichswerte im Klärschlamm

Probenbezeichnung	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn	Na	K	Mg	Ca
	Konzentrationsangaben in mg/L											
Urindrainage, 06.06.	0,02	<0,001	0,02	0,06	0,15	0,01	<0,001	0,20	721	805	1,17	23,2
Urindrainage, 07.06.	0,01	<0,001	0,01	0,05	0,17	0,01	<0,001	0,24	1234	1594	1,87	20,7
Sickerwasser 2	0,20	0,04	0,03	0,11	<0,001	0,16	0,005	0,07	160	98,0	43,7	279
Sickerwasser 4	0,01	<0,001	0,02	0,13	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	19,1	113	10,1	60,4
Probenbezeichnung	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn	Na	K	Mg	Ca
	Konzentrationsangaben in mg/kg Trockensubstanz											
Faeces	0,012	0,011	0,125	0,335	3,622	0,097	0,001	4,81	487	737	101	808
Spülspäne	0,013	0,012	0,353	1,235	0,461	0,156	0,002	3,10	24,8	102	42,8	220
Stroh	0,014	0,011	0,524	0,125	0,435	0,228	< 0,001	2,03	14,9	832	74,9	404
Gras	0,050	0,075	0,619	0,217	0,443	0,159	0,002	5,72	22,9	3231	408	1131
Hackschnitzel	0,431	0,020	2,444	0,565	1,373	1,373	0,014	14,9	74,9	821	652	2042
Kompost n. Umsetzung	0,210	0,014	1,207	0,334	1,013	0,748	0,007	7,18	90,6	1508	558	1617
Kompost n. Abdeckung	0,139	0,034	0,689	0,589	1,174	0,554	0,008	13,7	163	4049	525	2082
Kompost n. Wurmzugabe	0,271	0,022	1,799	0,599	1,062	1,021	0,007	10,2	1740	15936	637	3482
Klärschlamm 2012*	-	0,97	33	292	25	34	-	762	-	-	-	-
Grenzwert DüMV	40	1,5	-	-	-	150	1,0	-	-	-	-	-
Grenzwert BioAbfV	-	1,0	70	35	100	100	-	300	-	-	-	-
Grenzwert Bioland	-	0,7	70	70	25	45	-	200	-	-	-	-

* Auszug aus der Entwicklung der Schwermetallkonzentrationen landwirtschaftlich verwerteter Klärschlämme in Deutschland, Abwasser und Klärschlamm in Deutschland – statistische Betrachtungen, Statistisches Bundesamt und DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.2 "Statistik"; Korrespondenz Wasser, Abfall 2014 (61) Nr.12 und 2015 (62) Nr.1.

4.3 Pharmazeutische Wirkstoffe

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Vorkommen und Verhalten der ausgewählten pharmazeutischen Wirkstoffe, einiger Metaboliten, der Indikatorsubstanzen Coffein und Nikotin und des Summenparameters Estrogene Gesamtaktivität, der über ein biologisches Testsystem (E-Screen-Assay) bestimmt wurde, dargestellt. Vorangestellt ist eine kurze Diskussion der Eigenschaften der Substanzen und mögliche Auswirkungen auf den Verbleib der Verbindungen.

Ausscheidung

Die Ausscheidung von oral eingenommenem Ibuprofen erfolgt mit bis zu > 90 % hauptsächlich über den Urin. Nur geringere Anteile werden in freier Form oder als Konjugate ausgeschieden. Das Verhältnis des ausgeschiedenen Ibuprofens zu seinen über den gleichen Pfad ausgeschiedenen, inaktiven Hauptmetaboliten Hydroxy-Ibuprofen und Carboxy-Ibuprofen beträgt ca. 1:2:3. Die Schmerzmittel Diclofenac und Naproxen werden zu ca. 70 % bzw. 95 % über den Urin ausgeschieden, der β -Blocker Metoprolol zu 95 % und das Antibiotikum Sulfamethoxazol nahezu vollständig über den Urin. Gleiches gilt für Acetamidoantipyrin, einen Metaboliten des Wirkstoffs Metamizol und die Indikatorsubstanzen Coffein und Nicotin.

Phasenverteilung

Der Phasenverteilungskoeffizient ($\log K_{ow}$) einer Substanz gibt Hinweise auf die Verteilung einer Substanz zwischen einer wässrigen/lipophoben und einer lipophilen Phase und damit in erster Näherung auch Hinweise auf die Sorptionsneigung einer Verbindung. Eine ausgeprägte Sorptionsneigung und damit verbunden ein gesteigertes Potential zur Bioakkumulation ist bei $\log K_{ow}$ -Werte von $\gg 3$ zu erwarten.

Der Phasenverteilungskoeffizient von Ibuprofen ist stark pH-Wert-abhängig; ab einem pH-Wert von > 6 liegt die Carbonsäure Ibuprofen nahezu vollständig ionisch vor. Dies führt zu einer starken Verringerung des Phasenverteilungskoeffizienten ($\log K_{ow(pH\ 6)}$: 2,62, $\log K_{ow(pH\ 8)}$: ca. 1,0). Dies bedeutet, dass die Sorptionsneigung von Ibuprofen in diesen pH-Wert-Bereichen gering sein sollte. Vergleichbar verhalten sich die Metaboliten Hydroxy-Ibuprofen und Carboxy-Ibuprofen, die ebenfalls zur Gruppe der Carbonsäuren gehören. Die Phasenverteilungskoeffizienten der Carbonsäuren Diclofenac und Naproxen sind ebenfalls pH-abhängig. Bei beiden Substanzen ist bei pH-Werten > 6 mit einer geringen Sorptionsneigung zu rechnen.

Der β -Blocker Metoprolol weist einen sehr niedrigen Phasenverteilungskoeffizienten (pH-abhängiger $\log K_{ow} < 1$ bei pH-Werten < 8) auf; damit ist zu erwarten, dass die Substanz ausschließlich in der wässrigen Phase eines Zweiphasensystems lokalisiert ist. Der pH-abhängige Phasenverteilungskoeffizient des Antibiotikums Sulfamethoxazol liegt über den gesamten pH-

Bereich unterhalb von 1. Der Metamizol-Metabolit Acetamidoantipyrin und die Indikatorsubstanzen Coffein und Nicotin zeigen ebenfalls keine ausgeprägte Sorptionstendenz. Das Antiepileptikum Carbamazepin weist über einen weiten pH-Bereich den höchsten $\log K_{ow}$ der untersuchten Substanzen auf; eine im Vergleich höhere Neigung zur Sorption an Feststoffe ist möglich.

Das eingesetzte biologische Testsystem auf Basis von menschlichen Brustkrebszellen erfasst die estrogenen Aktivität einer Probe als Summenkonzentration der Aktivitäten aller in einer Probe enthaltenen estrogenaktiven Verbindungen. Die Antwort des E-Screen-Assays – vermehrtes Zellwachstum bei Anwesenheit estrogenaktiver Substanzen – weist ein ausgeprägtes Ranking auf. Natürliche und synthetische Sexualhormone (z.B. 17β -Estradiol und dessen Metabolit Estron oder das Kontrazeptivum 17α -Ethinylestradiol) verursachen starke Effekte bei den Brustkrebszellen, Xenoestrogene wie z.B. Bisphenol A sind um mehrere Zehnerpotenzen weniger wirksam. Antworten des Zellsystems auf aktive Substanzen in z.B. Urin reflektieren damit in erster Linie das Vorhandensein natürlicher und synthetischer Sexualhormone. Die chemisch-physikalischen Eigenschaften implizieren für die genannten Substanzen eine Tendenz zur Sorption an Feststoffen.

Die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Substanzen beeinflussen damit maßgeblich das Verhalten der Substanzen in Zweiphasensystemen. Ergebnisse aus der Untersuchung des Verhaltens der Substanzen in den verschiedenen Prozessstufen kommunaler Kläranlagen bestätigen die wenig ausgeprägte Sorptionsneigung der Verbindungen: Sie werden über die Wasserphase in die Kläranlage eingetragen und werden selbst bei höheren Partikel- bzw. Schlammkonzentrationen wenig sorbiert (geringere Mengen sind allenfalls durch den Restwassergehalt mit den Partikeln assoziiert).

Eine Übertragung auf die Verhältnisse bei den Trockentoiletten lässt erwarten, dass die ausgewählten Zielanalyten nur wenig an die Feststoffe sorbieren und größere Frachtanteile über die Urindrainage entfernt werden.

Abbaubarkeit

Prinzipiell sind pharmazeutische Wirkstoffe strukturell so konzipiert, dass sie bevorzugt unter aeroben Bedingungen biologisch metabolisiert oder unter oxidativen Bedingungen chemisch abgebaut werden (können). Der pharmazeutische Wirkstoff Ibuprofen wird unter den Bedingungen des kommunalen Klärprozesses rasch biologisch abgebaut (Elimination im Belebungsverfahren > 97 %); gleiches gilt für die Metaboliten Hydroxy-Ibuprofen und Carboxy-Ibuprofen. Der Metamizol-Metabolit Acetamidoantipyrin und die Indikatorsubstanzen Coffein und Nicotin werden ebenfalls rasch über biologische Abbauewege eliminiert. Das natürliche Hormon 17β -Estradiol wird ebenfalls rasch über Estron und Estratriol abgebaut. Der Übergang von 17β -Estradiol zur inaktiveren Komponente Estron führt bei dem im Rahmen der Projektierung

eingesetzten biologischen Testsystem (E-Screen-Assay) schon zu einer Verringerung der Estrogenen Gesamtaktivität um einen Faktor 200. Das synthetische Hormon 17α -Ethinylestradiol weist eine bei Weitem geringe Abbaubarkeit als 17β -Estradiol auf. Wenig abbaubar im konventionellen Klärprozess sind der β -Blocker Metoprolol und das Antibiotikum Sulfamethoxazol.

4.3.1 Urindrainage

Insgesamt wurden sieben Urindrainageproben untersucht. Die einzelnen Proben wiesen teilweise erhebliche Unterschiede in den Konzentrationen auf, die aber ebenfalls bei den konventionellen Parametern festgestellt werden konnten. Insbesondere bei den am ersten Tag genommenen Urindrainageproben wurden im Vergleich zu den später genommenen Proben geringere Wirkstoffkonzentrationen ermittelt. Die Abweichungen der ersten Proben lassen sich auf die Verdünnung der Urindrainage mit Restwasser aus den durchgeführten Pumpentests vor der Inbetriebnahme der Toiletten zurückführen. Zum anderen wurde am ersten Tag kaum Urin in die Sammelstellen drainiert, da dieser durch Drainagestroh, Spülspäne und Toilettenpapier aufgesaugt wurde. Für die Berechnungen der mittleren Konzentrationen wurde der erste Tag deshalb nicht berücksichtigt. Die ermittelten Einzelkonzentrationen sind in Tabelle 13 (Anhang) aufgeführt, die mittleren Konzentrationen für die pharmazeutischen Wirkstoffe und ihre Metaboliten in Abbildung 28 dargestellt.

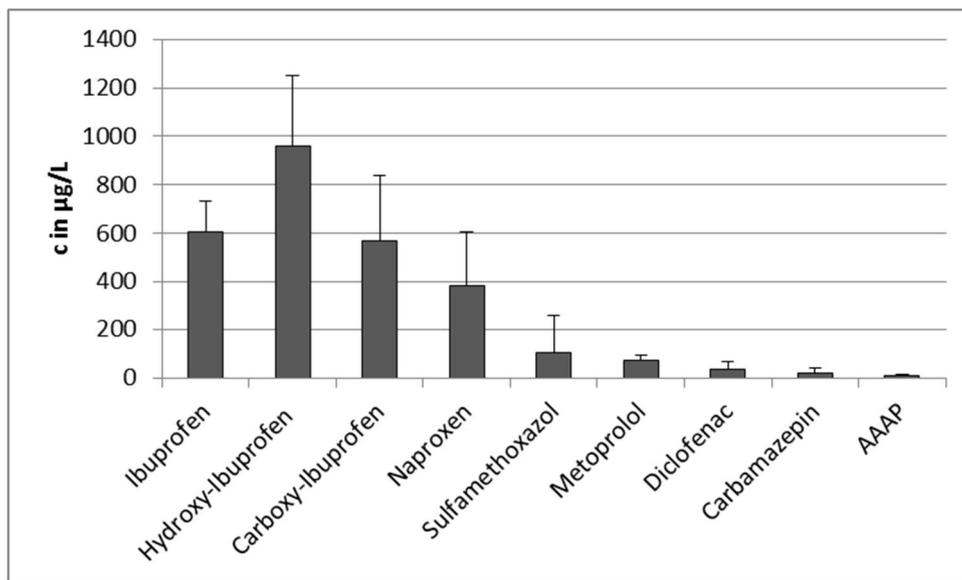


Abbildung 28: Urindrainage-Proben - Pharmazeutische Wirkstoffe und Metabolite
Mittlere Konzentrationen mit Standardabweichung; AAAP: Acetamidoantipyirin (Metamizol-Metabolit)

Als dominierender Wirkstoff wurde das Schmerzmittel Ibuprofen ermittelt. Die Konzentrationen des in allen Proben vorhandenen unveränderten Wirkstoffs Ibuprofen und seiner Metaboliten Hydroxy-Ibuprofen und Carboxy-Ibuprofen lagen im Mittel bei 600 µg/L, 1000 µg/L und 600 µg/L. Das Schmerzmittel Naproxen und der β -Blocker Metoprolol konnten ebenfalls in allen

untersuchten Proben mit mittleren Konzentrationen von 390 µg/L bzw. 73 µg/L bestimmt werden. Das Antibiotikum Sulfamethoxazol konnte in vier der untersuchten Proben in erheblich unterschiedlichen Konzentrationen von 50 µg/L bis zu 340 µg/L bestimmt werden (Mittelwert ca. 100 µg/L). Ebenfalls große Konzentrationsunterschiede wurden beim Schmerzmittel Diclofenac (15 µg/L bis 89 µg/L) und dem Antiepileptikum Carbamazepin (4 µg/L bis 55 µg/L) festgestellt werden (Abb. 5).

Die Estrogene Aktivität der Urindrainageproben des Kirchentags (Abb. 6) wurde mit einem biologischen Testsystem auf Basis menschlicher Brustkrebszellen bestimmt. Die Aktivität der Proben liegt zwischen 150 – 700 ng/L (17β-Estradiol-Äquivalentkonzentration). Unter Berücksichtigung einer Verdünnung um einen Faktor von ca. 100 im Kläranlagenzulauf errechnen sich Konzentrationsbereiche zwischen 1,5 und 7 ng/L. Üblicherweise liegen in Zuläufen kommunaler Kläranlagen mit dem biologischen Testsystem ermittelte Konzentrationen zwischen 20 ng/L und bis zu 100 ng/L (ISWA-Messungen, intern). Die in den Drainageproben ermittelte Estrogene Aktivität liegt damit deutlich niedriger als erwartet.

Die relativen Proliferationseffekte (RPE: maximal durch eine Probe induzierbares Zellwachstum/maximal durch 17β-Estradiol induzierbares Zellwachstum) sind ein Maß für die Art der Substanzen, die die estrogenen Effekte auslösen. RPE-Werte von > 70 % werden beim eingesetzten Testsystem ausschließlich von natürlichen und synthetischen Sexualhormonen ausgelöst, während Xenoestrogene (z.B. Bisphenol A) RPE-Werte von maximal 50 % verursachen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Estrogene Aktivität in den Urindrainageproben ausschließlich durch natürliche und synthetische Hormone verursacht wird. In den Sickerwasserproben wurden maximale EEQ-Werte von < 1 ng/L ermittelt, diese Werte sind niedriger als die üblicherweise in den Abläufen kommunaler Kläranlagen gemessenen. In

sind die Konzentrationen der Estrogenen Gesamtaktivität und des relativen Proliferationseffekts in den unterschiedlichen Urindrainage-Proben dargestellt.

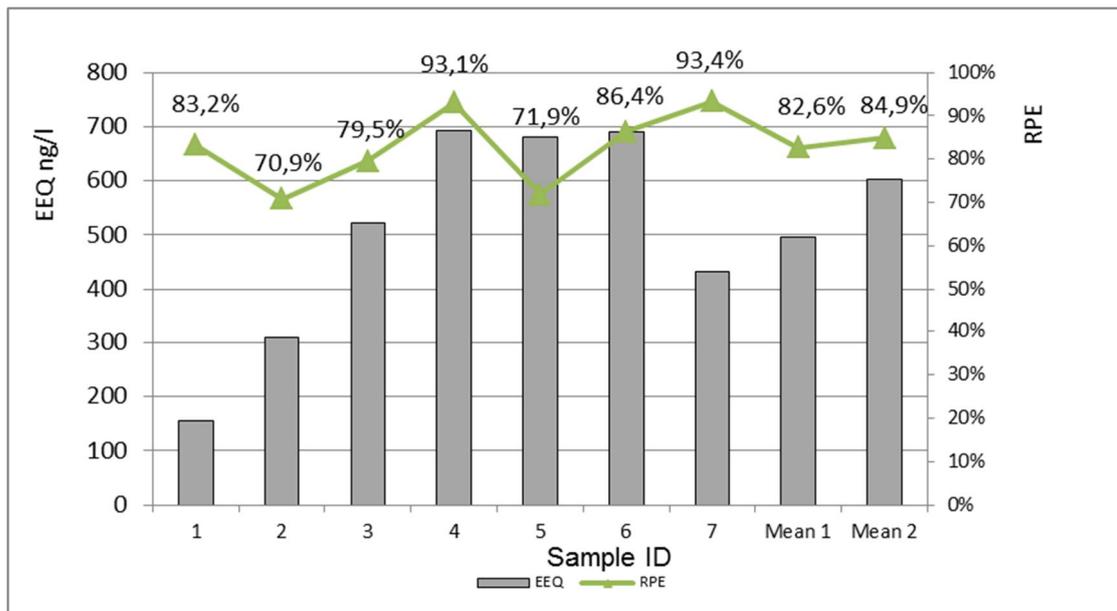


Abbildung 29: Urindrainage-Proben – Estrogene Gesamtaktivität

Die Probennahme musste aus organisatorischen Gründen so durchgeführt werden, dass eine Urindrainage-Probe im Mittel ca. 120 Personen repräsentiert. Diese Personenzahl entspricht insbesondere bei pharmazeutischen Wirkstoffen einem ausgeprägten Stichprobencharakter, der sich in den teilweise erheblichen Konzentrationsunterschieden zwischen den einzelnen Drainage-Proben widerspiegelt. Häufiger eingesetzte und auch bei nicht stark ausgeprägten Krankheitserscheinungen eingenommene Wirkstoffe wie z.B. Ibuprofen oder insbesondere das Genussmittel Coffein weisen dahingegen geringere Standardabweichungen auf. Der angesprochene Stichprobencharakter führt zu erheblichen Unsicherheiten, die sich auf die Abschätzung des Verbleibs der Substanzen auswirken. Deutlich wird der Einfluss der Stichprobencharakters auch beim Vergleich der Konzentrationen der untersuchten Substanzen mit konventionellen chemischen Parametern. Ist der Probenpool groß genug für ein repräsentatives Ergebnis, lassen sich gute Korrelationen der Substanzen mit konventionellen Parametern erstellen. Es ist anzunehmen, dass die Konzentrationen des Genussmittels Coffein aufgrund des Konsumverhaltens bis zu einer niedrigen Personenanzahl in einer Poolprobe repräsentativ ist; aus diesem Grund korrelieren die Konzentrationen von Coffein mit Parametern wie Ammonium-N, CSB, TOC oder Chloridanion (siehe exemplarisch Abbildung 30:7). Vergleichbare Korrelationen lassen sich mit dem Summenparameter Estrogene Gesamtaktivität und den Standardparametern erstellen; die estrogene Aktivität beruht auf dem Eintrag weiblicher Hormone bzw. Kontrazeptiva. Die Urindrainage-Proben weisen damit trotz obengenannter Verdünnungseffekte auf ein ähnliches Geschlechterverhältnis bezüglich der Trockentoilettenbenutzung hin. In Abbildung 31 sind exemplarisch die EEQ-Werte der Urindrainage-Proben gegen den Standardparameter Phosphat-P aufgetragen; ähnliche Korrelationen lassen sich auch mit den anderen Standardparametern erstellen.

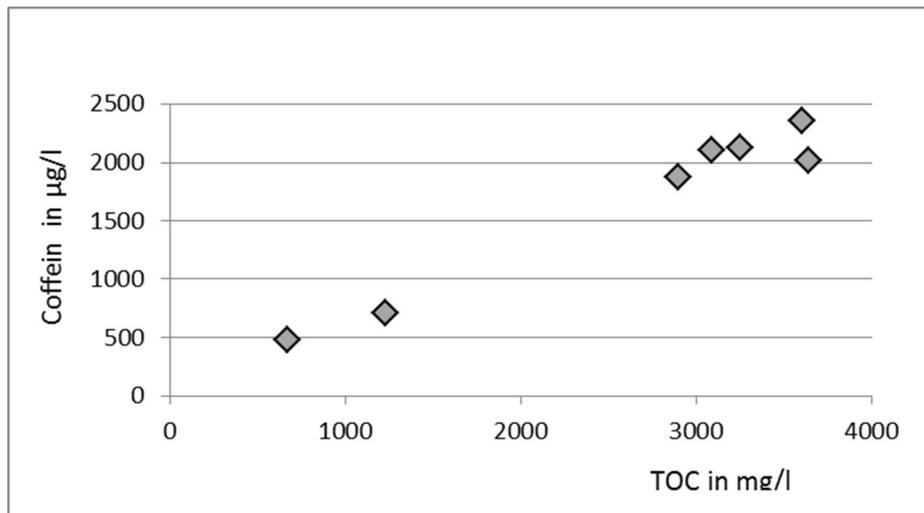
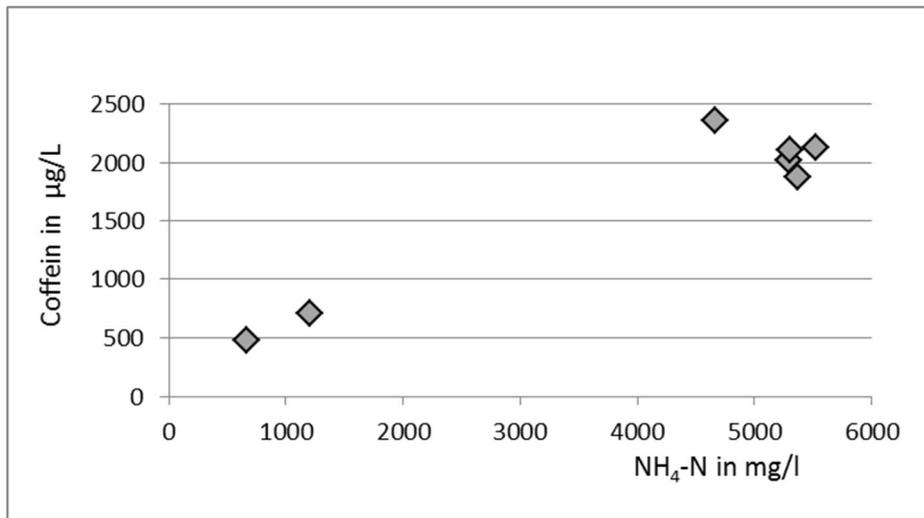


Abbildung 30: Urindrainage-Proben – Korrelationen von Coffein mit ausgewählten Standardparametern

oben: Coffein und Ammonium-N, unten: Coffein und TOC

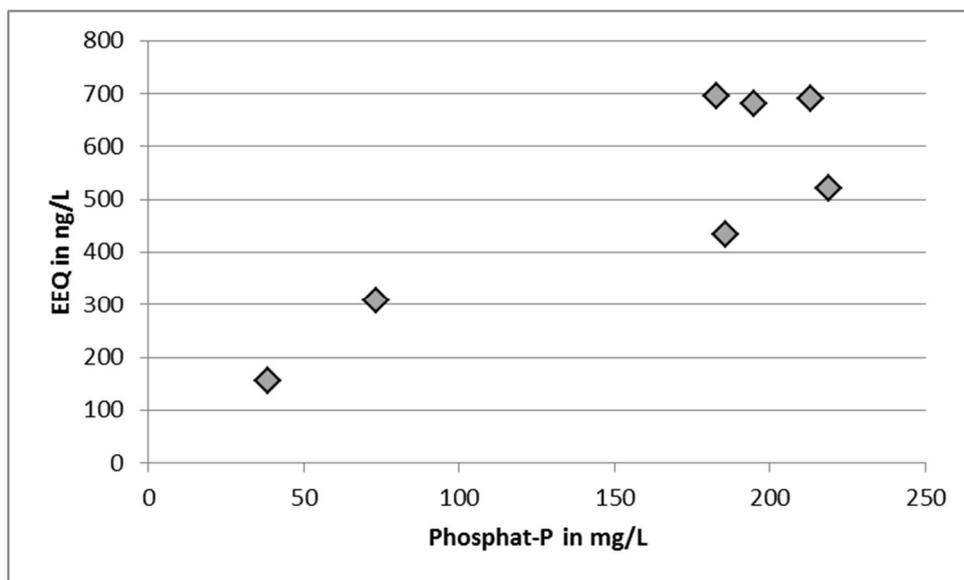


Abbildung 31: Urindrainage-Proben – Korrelation des EEQ mit Phosphat-P

EEQ: Estrogene Gesamtaktivität

In Zuläufen kommunaler Kläranlagen treten die im Rahmen dieser Projektierung untersuchten pharmazeutischen Wirkstoffe in typischen Konzentrationsbereichen auf, sofern die Kläranlagen eine bestimmte Ausbaugröße besitzen (Repräsentativität; bei einer hohen Anzahl von angeschlossenen Einwohnern ergeben sich für einige pharmazeutische Wirkstoffe entsprechend ihrer Anwendung einwohnerspezifische Tagesfrachten). In der folgenden Abbildung 9 sind typische Wirkstoffkonzentrationen in Kläranlagenzuläufen (normiert auf die mittleren Konzentrationen von Ibuprofen mit Ibuprofen = 1) und die Konzentrationen in den untersuchten Urindrainage-Proben aufgetragen. Die Standardabweichungen für die Substanzen in den Zuläufen kommunaler Kläranlagen liegen in der Größenordnung von 20 %; verwendet wurden Ergebnisse aus Untersuchungen (unveröffentlicht), die vom ISWA vorgenommen wurden. Auch hier wird ersichtlich, dass das in den Urindrainage-Proben des Kirchentags nachgewiesene Wirkstoff-Muster – aufgrund des Stichprobencharakters der Proben und damit der ausgeprägten Konzentrationsschwankungen einzelner Substanzen – Abweichungen zu mehr repräsentativen Proben aufweist.

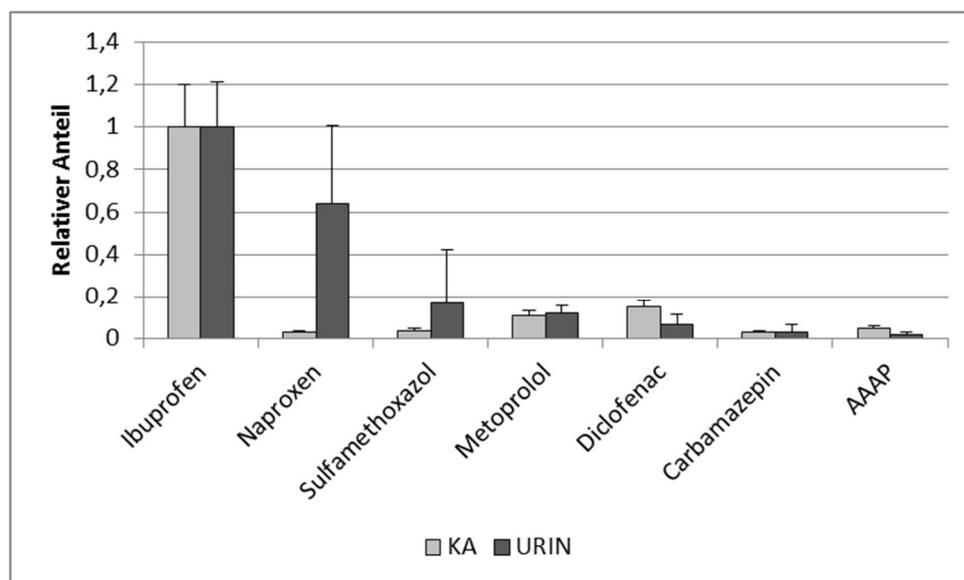


Abbildung 32: Urindrainage-Proben – Vergleich mit Kläranlagenzuläufen

Vergleich der relativen Verhältnisse pharmazeutischer Wirkstoffe und ausgewählter Metabolite in den Urindrainage-Proben (URIN) und Kläranlagenzuläufen (KA). Normierung der Substanzen auf Ibuprofen (Ibuprofen = 1).

Die zum Vergleich von der Deutschen Bahn AG genommenen Schwarzwasserproben (diese enthalten Faeces und Urin) weisen ebenfalls Arzneimittelrückstände auf. Tabelle 5 listet die einzelnen Konzentrationen auf und vergleicht diese mit den Werten der Urindrainage.

Tabelle 5: Vergleich ausgewählter Substanzen in Schwarzwasser, Kläranlagen und der Urindrainage

Angaben in µg/L, Zulaufkonzentrationen aus ISWA-Untersuchungen (unveröffentlicht)

Arzneimittel	Schwarzwasser	Urindrainage	Zulauf Kläranlage
Ibuprofen	128	605	10 - 20
Naproxen	0,6	386	0,2 – 0,5
Diclofenac	51,9	39,4	1 - 2
Carbamazepin	0,5	19,6	0,3 – 0,8
Nikotin	648	259	1 - 5

Für einige Substanzen sind die Konzentrationen wie erwartet im Schwarzwasser deutlich niedriger, was u.a. auf die Verdünnung mit Spülwasser zurückgeführt werden kann. Trotz der Verdünnung durch Spülwasser enthält die Zugtoilette zum Teil aber auch höhere Konzentrationen als die Urindrainage. Andere Medikamente wie Naproxen sind im Vergleich zur Urindrainage wiederum kaum vorhanden, auch wenn man eine Verdünnung von ca. 1/10 ansetzen würde. Auch hier zeigt sich, dass Arzneimittelkonzentrationen in Toiletten, welche von einer vergleichsweise kleinen Gruppe von Menschen genutzt wird, stark vom Gesundheitszustand bzw. der Medikamenteneinnahme Einzelner innerhalb der Gruppe abhängen.

Beim Vergleich mit den Zulaufkonzentrationen der Kläranlage muss berücksichtigt werden, dass bei Kläranlagen ungefähr eine Verdünnung um den Faktor 100 vorliegt. Wird diese Verdünnung herausgerechnet, so liegen die Werte in derselben Größenordnung wie die der Urindrainage. Naproxen ist im Vergleich zur Urindrainage etwas weniger, Diclofenac dafür mehr enthalten. Dies lässt sich ebenso wie bei dem Vergleich mit Arzneimittelrückständen aus Zugtoiletten auf die im Vergleich zur Kläranlage kleinere Nutzergruppe der Komposttoiletten zurückführen.

4.3.2 Inhalt der Komposttoiletten

Die Bestimmung der Konzentrationen ausgewählter pharmazeutischer Wirkstoffe und Metaboliten in verschiedenen Fraktionen der Komposttoilette sowie bei der Kompostierung waren ein Hauptuntersuchungsziel dieses Projektes. Einen Tag nach dem Ende des Kirchentages wurden die Behälter mit dem Inhalt der Komposttoilette der beiden Standorte auf die Deponie Burghof in Vaihingen-Enz gebracht und dort in einem großen Sammelbehälter vermischt.

Teilproben aus diesem Sammelbehälter wurden auf das Vorkommen ausgewählter pharmazeutischer Wirkstoffe und einiger Metabolite untersucht (siehe Abbildung 33).

Im Feststoff konnten die höchsten Konzentrationen für Ibuprofen (ca. 18000 µg/kg TS), gefolgt von Coffein und den Ibuprofen-Metaboliten Hydroxy- und Carboxy-Ibuprofen ermittelt werden. Die Konzentration von Diclofenac lag bei ca. 300 µg/kg TS, die übrigen Wirkstoffe lagen in einem Konzentrationsbereich von unterhalb 100 µg/kg TS, die Konzentrationen des Antibiotikums Sulfamethoxazol und des β -Blockers Metoprolol lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,25 µg/kg TS. Der Summenparameter Estrogene Gesamtkaktivität wurde mit dem biologischen Testsystem (E-Screen-Assay) zu 6,9 µg/kg TS ermittelt.

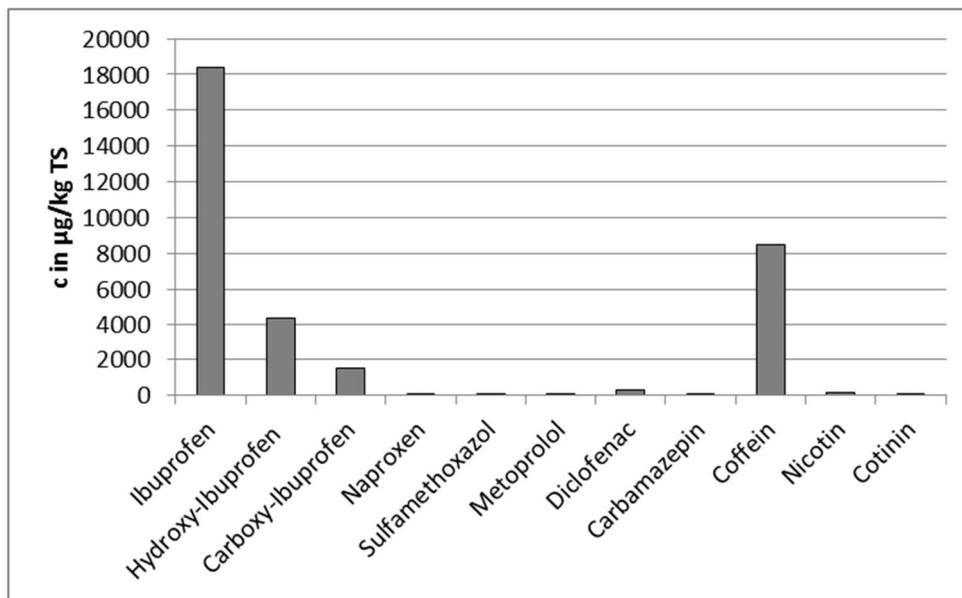


Abbildung 33: Trockentoiletteninhalt – Konzentrationen ausgewählter Analyten

Von besonderer Bedeutung ist die Abschätzung, ob sich die Substanzen überwiegend in der Urindrainage befinden oder sich in den Feststoffen des Trockentoiletteninhalts anreichern. Aus diesem Grund wurde eine Bilanzierung auf Basis der anteiligen Frachten, die in der Urindrainage und in den Feststoffen vorliegen, vorgenommen.

So wurde z.B. das Schmerzmittel Ibuprofen in den Urindrainage-Proben in einer mittleren Konzentration von ca. 600 µg/L ermittelt; dies bedeutet eine anteilige Fracht von insgesamt ca. 6 g Ibuprofen über die Wasserphase (auf der Basis von insgesamt 10000 L Urindrainage). Der Inhalt der Trockentoiletten enthielt Ibuprofen in einer Konzentration von 18000 µg/kg TS. Damit errechnet sich eine Gesamtmenge von ca. 6 g Ibuprofen, die an die Feststoffe des Trockentoiletteninhalts assoziiert ist. Dies bedeutet, dass das ausgeschiedene Ibuprofen zu etwa 50 % in der Urindrainage und zu ca. 50 % in den Feststoffen assoziiert ist. Das Schmerzmittel weist die höchsten Anteile an partikelgebundener Fraktion auf, gefolgt von Diclofenac, dass zu etwa 20 % an die Partikel assoziiert ist. Über 85 % der Frachten an Coffein, Carbamazepin und die Ibuprofen-Metaboliten sind der Urindrainage zugeordnet, die partikelassoziierten Anteile von Naproxen, Metoprolol, Sulfamethoxazol und des Summenparameters Estrogene Gesamtaktivität liegen unterhalb von einem Prozent (Graphische Übersicht siehe Abbildung 34).

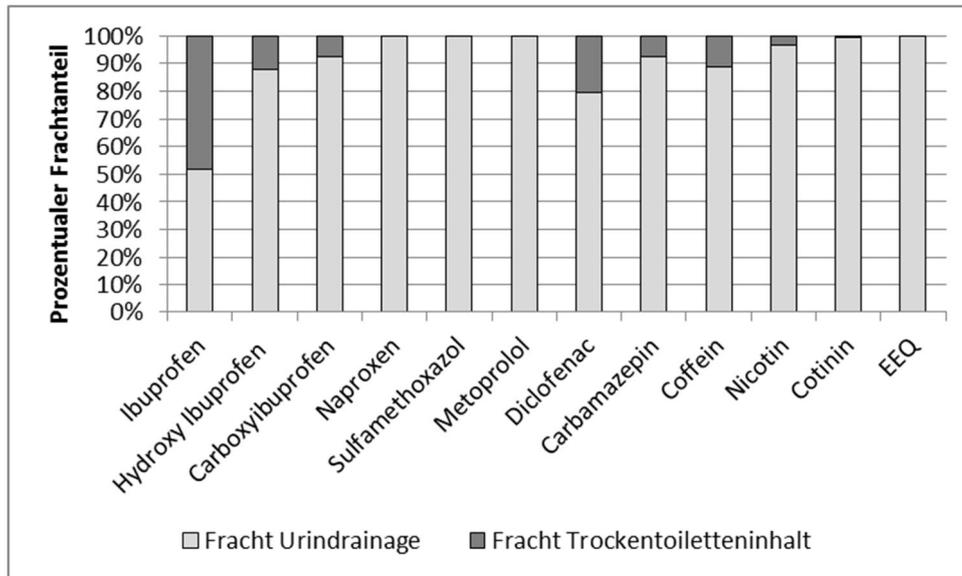


Abbildung 34: Trockentoiletten – Prozentuale Frachtanteile von Urindrainage und Feststoffen

EEQ = 17 β -Estradiol-Äquivalentkonzentration

4.3.3 Verhalten der Substanzen während der Kompostierung

Rohkompost

Die Inhalte der Trockentoiletten wurden auf der Deponie Burghof bei Vaihingen-Enz mit den verschiedenen Zuschlagsstoffen vermischt. Nach der Zumischung der Zuschlagsstoffe betrug der Anteil des Trockentoiletteninhalts am Gesamtmaterial vor der Kompostierung ca. 23 %. Die Untersuchung der Zuschlagsstoffe (z.B. Grasschnitt) ergab keine Hinweise auf das Vorkommen der im Rahmen der Projektierung untersuchten pharmazeutischen Wirkstoffe. Aus der Untersuchung von Proben des Gesamtmaterials zu Anfang der Kompostierung ergab sich eine Verdünnung der im Trockentoiletteninhalt enthaltenen Zielsubstanzen von einem Faktor von ca. 1,5 (z.B. Naproxen und Carbamazepin) bis zu einem Faktor von maximal 13 (Carboxy-Ibuprofen). Die mittlere Verdünnung der Analyten berechnet sich auf Basis der Analysendaten auf einen Faktor 4. Die höheren Abweichungen deuten auf die erheblichen Inhomogenitäten des Kompostausgangsmaterials hin; eine homogene und repräsentative Probennahme ist bei der Art des Untersuchungsobjekts auch nicht zu erwarten. Sehr hohe Abweichungen, wie sie z.B. beim Ibuprofen-Metaboliten Carboxy-Ibuprofen beobachtet wurden, können allerdings u.U. auf schon beginnende Abbauprozesse hindeuten.

Kompostierungsverlauf

Während der Kompostierung wurden zwei Probennahmen durchgeführt (01.07. und 07.08.15), das Endprodukt wurde am 16.09.2015 beprobt. In Bezug auf die Konzentrationen in der Probe vom 01.07.15 konnte für Ibuprofen, die Metaboliten Hydroxy-Ibuprofen und Carboxy-Ibuprofen und das Nicotin-Abbauprodukt Cotinin in der Probe vom 07.08.2015 eine Konzentrationsverringerung von mehr als 80 % festgestellt werden. Die Konzentrationen (Bezug Trockensubstanz) verringerten sich für Nicotin, den Summenparameter Estrogene Gesamtaktivität und das Schmerzmittel Naproxen in geringerem Umfang (20 bis 70%), bei Diclofenac und Carbamazepin wurde in Bezug auf die Trockensubstanz eine Konzentrationserhöhung festgestellt, die sich zum Ende der Kompostierung fortsetzte (siehe Abbildung 35; die Konzentrationen von Sulfamethoxazol und Metoprolol lagen schon vor dem Kompostierungsbeginn unterhalb der Bestimmungsgrenzen).

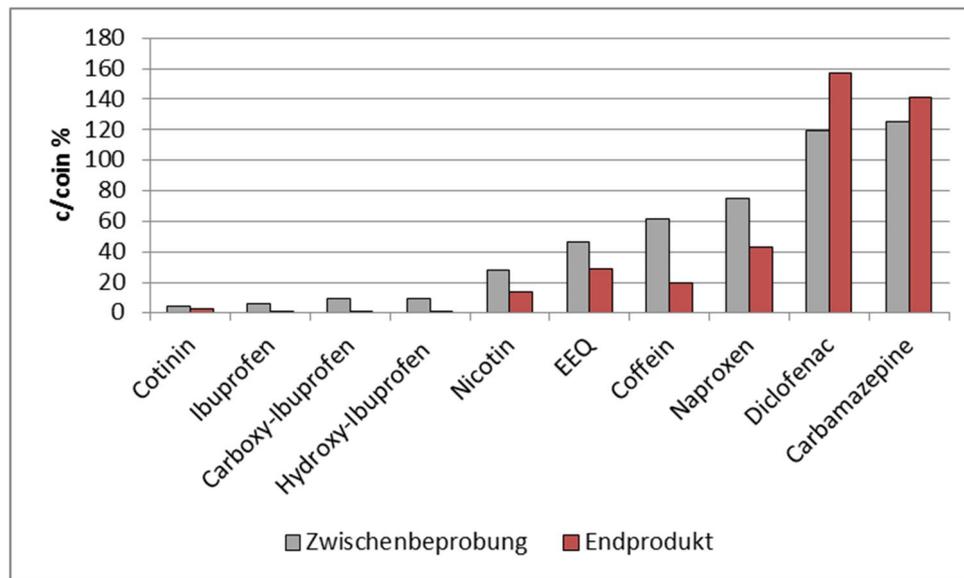


Abbildung 35: Kompostierung – Zeitlicher Konzentrationsverlauf

Ausgangskonzentration der Analyten (Bezug TS) = 100 %; EEQ = 17 β -Estradiol-Äquivalentkonzentration

Bei nicht vorhandener oder weniger ausgeprägter Elimination der Substanzen während des Kompostierungsprozesses (durch Abbau oder durch Auswaschung) ist aufgrund des Massenverlusts während der Kompostierung mit einer Zunahme der auf die Trockensubstanz bezogenen Konzentrationen zu rechnen. Dies ist für die Substanzen Diclofenac und Carbamazepin der Fall, während für die restlichen Substanzen eine ausgeprägte, aber unterschiedlich hohe Elimination während der Kompostierung zu beobachten ist.

Definierte Aussagen über die Elimination der Substanzen ergeben sich auf Basis der Substanzfrachten. Im Folgenden wird die auf Basis der Frachten berechneten Eliminationen exemplarisch für die Substanzen Ibuprofen, Diclofenac, Carbamazepin, Coffein und Nicotin

dargestellt. Als Eingangsfracht (Tab. 6) wird die aus den Trockentoiletten in den Rohkompost eingebrachte Fracht eingesetzt (die Zuschlagsstoffe enthalten keinen der untersuchten Analyten). Bei Ibuprofen werden auf Basis der Konzentrationen im Trockentoiletteninhalt (ca. 18 mg/kg TS) und einer Gesamtmasse von 307,8 kg Trockensubstanz 5,6 g Wirkstoff in die Kompostierung eingebracht. Die Gesamttrockensubstanz am Ende der Kompostierung beträgt 93 kg, auf Basis der Ibuprofen-Konzentration von 3,7 µg/kg TS im Endprodukt ergibt sich eine Restfracht von insgesamt 0,35 mg Ibuprofen. Damit beträgt die Gesamtelimination von Ibuprofen während der Kompostierung über 99 %. Geringere, aber dennoch ausgeprägte Eliminationsprozesse treten bei den Substanzen Diclofenac, Naproxen und Carbamazepin auf (siehe Tabelle 6). Coffein und Nicotin werden zu mindestens 98% entfernt.

Tabelle 6: Elimination ausgewählter Substanzen während des Kompostierungsprozesses

Substanz	Ibuprofen	Diclofenac	Naproxen	Carbamazepin	Coffein	Nicotin
Berechnung						
Eingangsfracht (Basis Inhalt der Trockentoiletten)						
Konzentration in µg/kg TS	18373	326	49	53	8512	175
Trockensubstanz gesamt in kg	307,8					
Fracht am Feststoff in mg	5655	100	15	16	2620	53
Gesamtfracht - Kompostierungsende						
Konzentration in µg/kg TS	3,7	99,0	13,6	49,4	436	11,4
Trockensubstanz gesamt in kg	92,9					
Fracht am Feststoff in mg	0,35	9,2	1,3	4,6	40,6	1,1
Gesamtelimination	99,9 %	90,8 %	91,6 %	71,6 %	98,5 %	98,0 %
Fracht im Sickerwasser in mg	0,58	0,60	0,60	1,18	4,07	0,44

Insgesamt wurden vier Sickerwasserproben untersucht (Probennahme 01.07., 21.07., 07.08. und 16.09.2015). Mit Ausnahme von Metoprolol und Sulfamethoxazol (diese Substanzen lagen auch im Kompost bzw. Kompostausgangsmaterial unterhalb der Bestimmungsgrenzen) konnten die anderen Zielanalyten in allen vier untersuchten Sickerwasserproben nachgewiesen werden. Maximale Konzentrationen konnten für fast alle Substanzen in der zweiten und dritten Probe festgestellt werden (siehe Tabelle 7). Die maximalen Konzentrationen von Ibuprofen, Naproxen und Carbamazepin überschreiten geringfügig, Coffein, Nicotin und Cotinin stärker die z.B. in den Abläufen kommunaler Kläranlagen bestimmten Konzentrationen (Vergleich beruht auf ISWA-internen Messungen), die Konzentrationen von Diclofenac unterschreiten diese. Der Summenparameters Estrogene Gesamtaktivität liegt innerhalb der Schwankungsbreiten, die in gereinigtem kommunalem Abwasser vorliegen. In einer Sickerwasserprobe, die vor dem Beginn der Kompostierung auf dem Betriebsgelände genommen wurde, lag die Estrogene Gesamtaktivität unterhalb der Bestimmungsgrenze des biologischen Testsystems von < 0,1 ng/L.

Tabelle 7: Sickerwasser – Konzentrationen ausgewählter Analyten

EEQ: 17-Estradiol-Äquivalenzkonzentration

Datum	Ibuprofen	Hydroxy-Ibuprofen	Carboxy-Ibuprofen	Naproxen	Diclofenac	Carbamazepin	Coffein	Nicotin	Cotinin	EEQ
	Konzentrationen in µg/L									ng/L
01.07.2015	0,064	0,020	0,005	0,149	0,064	< 0,005	0,242	0,076	0,1	0,13
21.07.2015	0,535	0,150	0,012	0,143	0,285	0,099	0,393	0,284	0,5	0,61
07.08.2015	0,497	0,120	0,014	0,300	0,507	0,861	3,583	0,117	0,2	0,20
16.09.2015	0,006	0,005	0,005	0,225	0,126	0,322	0,200	< 0,01	< 0,01	0,05

Die Gesamtfrachten der Substanzen, die über das Sickerwasser ausgetragen werden, sind in Tabelle 6 aufgeführt. Für die meisten Verbindungen werden während des gesamten Kompostierungsprozesses lediglich Frachten von weniger als ein Milligramm ausgetragen, lediglich für das Antiepileptikum Carbamazepin und für Coffein wurden geringfügig höhere Frachten berechnet. Daraus ergibt sich, dass die Elimination während des Kompostierungsprozesses in erster Linie auf Abbauprozesse chemischer und/oder biologischer Natur zurückzuführen ist und die Auswaschung über das Sickerwasser bezogen auf die Fracht von untergeordneter Bedeutung ist.

4.4 Mikrobiologie

Die mikrobiologischen Untersuchungen fanden in zwei Urindrainageproben, allen Sickerwasserproben, sowie in den Faeces-, Gras- und Kompostproben statt. Insgesamt wurden 12 Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 8 aufgelistet sind.

Abbildung 36 zeigt den zeitlichen Verlauf der Keimbelastung im Kompost. Die während der Kompostierung zunehmende Gesamtkeimzahl deutet auf einen erfolgreichen Kompostiervorgang hin. Trotz der zu Beginn der Kompostierung einsetzenden thermophilen Phase, in welcher ca. 2 Wochen lang Temperaturen von mehr als 60 °C erreicht wurden, finden sich am Ende der Kompostierung weiterhin potentiell pathogene Keime, sowie E-coli in erheblichem Umfang.

Tabelle 8: Keimzahl der untersuchten Proben in KBE/mL (wässrige Proben) bzw. KBE/g Feuchtmasse

Probenbezeichnung	Gesamtkeimzahl	Potentiell pathogene	Enterokokken	E.-coli
Urindrainage, 06.06.	4,85E+07	5,15E+07	1,00E+06	8,00E+04
Urindrainage, 07.06.	2,00E+07	5,35E+07	1,60E+06	1,20E+05
Nullprobe Sickerwasser	0	0	0	0
Sickerwasser 1	3,09E+05	2,53E+05	6,07E+04	1,00E+03
Sickerwasser 2	3,34E+07	1,18E+04	3,40E+04	3,33E+04
Sickerwasser 3	9,17E+07	1,89E+08	1,27E+06	1,00E+00
Sickerwasser 4	1,20E+09	2,68E+07	1,00E+04	1,00E+04
Faeces	5,94E+08	6,52E+08	1,14E+07	2,05E+05
Gras	6,22E+07	1,23E+09	1,27E+08	1,41E+07
Kompost nach Umsetzung	2,01E+09	3,42E+10	5,05E+06	2,89E+05
Kompost nach Abdeckung	9,04E+09	3,13E+10	2,42E+08	4,12E+05
Kompost nach Wurmzugabe	2,31E+09	5,84E+07	2,14E+07	1,00E+00

Lediglich die letzte Probe (nach der Wurmzugabe) weist keine E.-coli-Bakterien mehr auf, wobei hier aufgrund des Verlaufs ein Messfehler als wahrscheinlich angenommen werden kann, zumal Enterokokken nicht wesentlich verringert wurden. Der in Abbildung 37 dargestellte Verlauf der Keimbelastung des Sickerwassers zeigt ebenfalls eine Zunahme der Gesamtkeimzahl über den Versuchszeitraum. Auch im Sickerwasser finden sich nach dem Durchlaufen der thermophilen Phase potentiell pathogene Keime, sowie E.-Coli Bakterien in großer Anzahl. Die Proben „Sickerwasser 4“ und „Kompost nach Wurmzugabe“ wurden am selben Tag genommen, so dass das Vorkommen von E.-Coli im Sickerwasser ein weiteres Indiz dafür ist, dass es sich bei dem negativen Ergebnis von „Kompost nach Wurmzugabe“ hinsichtlich E.-Coli um einen Messfehler handelt.

Hinsichtlich der Keimbelastung sind damit sowohl der Kompost als auch das Sickerwasser nicht unbedenklich, was bei einer weiteren Verwendung des Kompostes berücksichtigt werden muss. Jedoch muss angemerkt werden, dass das Volumen des bei dem in diesem Projekt

untersuchten Komposts mit 2-3 m³ sehr klein war. Dies führt zu einem ungünstigen Oberflächen/Volumenverhältnis. In Kompostwerken vorhandene Heißrotten haben ein Vielfaches dieses Volumens und damit ein wesentlich besseres Oberflächen/Volumenverhältnis, was zu einer besseren Hygienisierung führt. Dennoch sollte die vorhandene Keimbelastung am Ende der Kompostierung auch bei größeren Kompostvolumina überprüft werden.

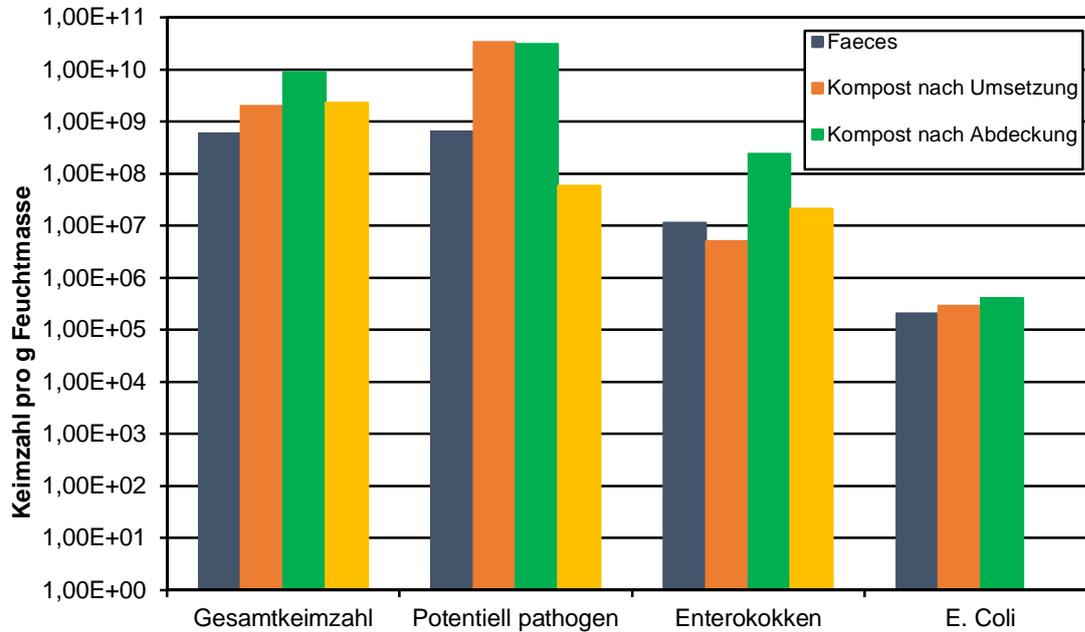


Abbildung 36: Keimbelastung im Kompost: Zeitlicher Verlauf von links (Faeces vor dem Ansatz) nach rechts (nach der Wurmzugabe)

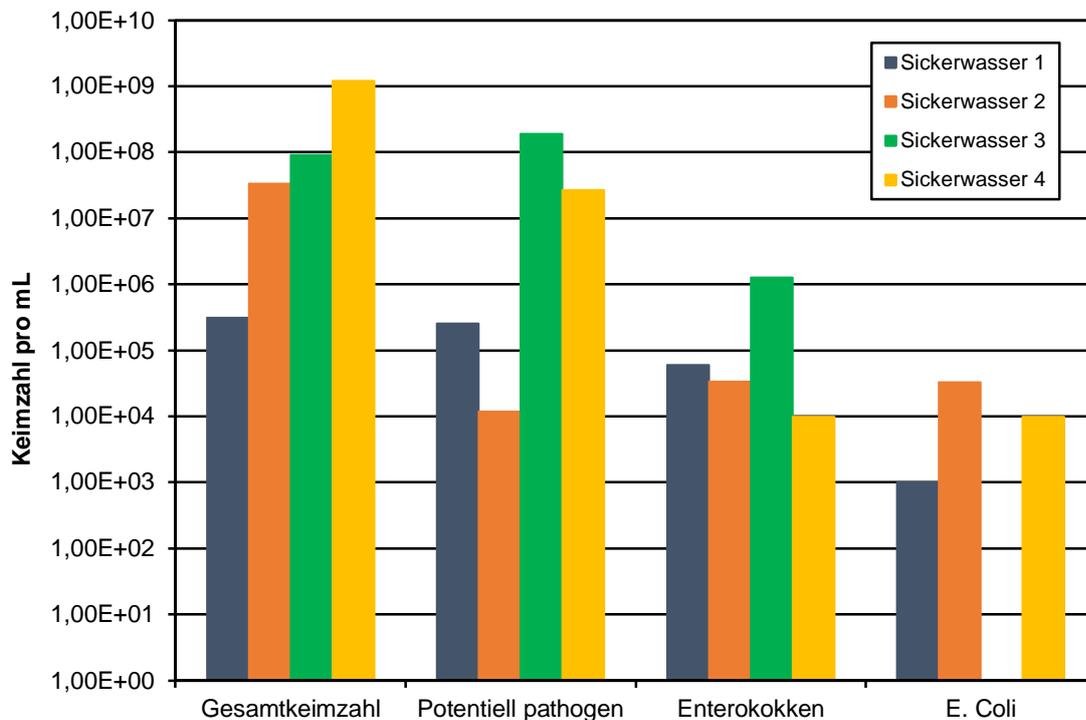


Abbildung 37: Keimbelastung im Sickerwasser: Zeitlicher Verlauf von links nach rechts

5. Fazit

Die Schwermetallkonzentration im Sickerwasser und im Kompost sind hinsichtlich der aktuellen Gesetzgebung unbedenklich, da alle geforderten Grenzwerte der Düngemittelverordnung, der Bioabfallverordnung und sogar die strengeren Regelungen des „Bioland“-Siegels deutlich unterschritten werden. Vor allem die hinsichtlich einer möglichen landwirtschaftlichen Verwertung des Komposts wichtigen Resultate am Ende der Kompostierung zeigen für jedes Schwermetall sehr geringe Konzentrationen. Eine Substitution des landwirtschaftlich genutzten Klärschlammes durch Kompost aus Trockentoiletten würde somit zu einer Verbesserung hinsichtlich der Ausbringung von Schwermetallen führen.

Arzneimittelrückstände werden hauptsächlich über die Urindrainage ausgetragen. Substanzen wie z.B. die Schmerzmittel Ibuprofen, Diclofenac und das Antiepileptikum Carbamazepin lassen sich in den Kompostproben nachweisen. Im Verlauf der Kompostierung ist allerdings für alle Substanzen einschließlich der estrogenen Aktivität eine weitgehende Elimination festzustellen. Da die über das Sickerwasser ausgetragenen Frachten an pharmazeutischen Wirkstoffen sehr gering sind, ist davon auszugehen, dass die Elimination auf biologischen und/oder chemischen Abbauprozessen, wie sie z.B. durch erhöhte Temperaturen verursacht werden können, beruht.

Der Kompost kann nach dem derzeitigen Wissensstand somit als unbedenklich hinsichtlich Arzneimittelrückständen eingestuft werden. Die Trennung der flüssigen von der festen Phase bei der Komposttoilette erweist sich hinsichtlich der Belastung mit Arzneimittelrückständen als Vorteil, da mit der Urindrainage und dem Sickerwasser ein wesentlich geringerer Volumenstrom als z.B. bei der Einleitung in eine kommunale Kläranlage behandelt werden muss. Dennoch ist bei zukünftigen Projekten mit Stoffstromtrennung die Belastung der flüssigen Phase mit Arzneimitteln zu beachten, aber auch das Potenzial an Nährstoffen (N und P), was bei Ableitung der Urindrainage auf eine kommunale Kläranlage ungenutzt bleibt.

Hinsichtlich der Keimbelastung sind sowohl der Kompost als auch das Sickerwasser nicht unbedenklich, was für eine weitere Verwendung berücksichtigt werden muss. Jedoch muss angemerkt werden, dass das Volumen des bei dem in diesem Projekt untersuchten Komposts mit 2-3 m³ sehr klein war. Dies führt zu einem ungünstigen Oberflächen/Volumenverhältnis. In Kompostwerken vorhandene Heißrotten haben ein Vielfaches dieses Volumens und damit ein wesentlich besseres Oberflächen/Volumenverhältnis, was tendenziell zu einer besseren Hygienisierung führt. Dennoch sollte die vorhandene Keimbelastung am Ende der Kompostierung auch bei größeren Kompostvolumina überprüft werden.

Stuttgart, im Dezember 2015

Prof. Dr.- Ing. Heidrun Steinmetz

6. Tabellenanhang

Tabelle 9: Urindrainage-Proben - Standardparameter

Original: unfiltrierte Probe; mf: membranfiltriert (Zellulosenitrat 0,45 µm), HAC-Äquivalente: Essigsäure-Äquivalent-Konzentrationen

Datum	Proben-Bez.			pH	LF	AFS	Hac-Äquivalente	Cl ⁻	CSB	TOC	TC	Pges.		TKN	PO ₄ -P	NH ₄ -N
												Original	mf			
	ISWA		Detail		mS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
04.06.15	Z 12 13:30 0608-26	HSP_09	04 Jun Zelt 12 13:30	8,4	2,98	100	320	518	1090	674	765	42,1	40,5	722	38,3	666
04.06.15	Z 12 15:30 060827	HSP_08	04 Jun Zelt 12 15:30	7,0	4,75	110	520	857	1910	1230	1340	77,8	74,8	1330	73,3	1210
05.06.15	E 11:45 0608-28	HSP_10	05 Jun Ein- gang	8,1	19,5	1250	2200	3250	7860	3640	5530	370	222	6010	219	5290
05.06.15	Z 12 11:30 060829	HSP_18	05 Jun Zelt 12	6,8	13,7	1000	2000	2720	5950	3600	4640	310	183	4900	183	4670
06.06.15	E 16:00 0608-30	HSP_11	06 Jun Ein- gang	8,7	34,2	450	2800	3230	7400	3250	5750	243	212	5830	213	5520
06.06.15	Z 12 16:00 060831	HSP_01	06 Jun Zelt 12	8,8	33,4	480	2300	3170	7360	3090	5500	234	195	5760	195	5310
07.06.15	E 0608-32	HSP_02	07 Jun Ein- gang	8,8	34,9	400	2800	3110	7190	2900	5820	215	187	5670	186	5370

Tabelle 10: Sickerwasser - Standardparameter

Original: unfiltrierte Probe; mf: membranfiltriert (Zellulosenitrat 0,45 µm); HAC-Äquivalente: Essigsäure-Äquivalent-Konzentrationen; SiWA: Sickerwasser

Die erste Sickerwasserprobe wurde vor der Kompostierung genommen und untersucht

Datum	Proben-Bez.	pH	LF	Hac-Äqui-valente	Cl ⁻	CSB	TOC	TC	Pges.		TKN	PO ₄ -P	NH ₄ -N
									original	mf			
			mS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
17.06.15	SiWa vor Kompost	7,9	0,308	< 25	< 10	41	9,3	32,1	<0,2	<0,2	<8	< 0,05	7,89
01.07.15	SiWa HS23	7,5	0,620	< 25	23	119	28,8	76,7	0,519	0,295	6,93	<0,2	10,9
21.07.15	SiWa HS25	7,6	0,818	<25	103	131	42,9	76,5	0,242	<0,2	-	<0,2	<5
07.08.15	SiWa HS27	7,8	3,36	110	489	1110	381	472	4,77	2,83	96,5	2,06	34,3
16.09.15	SiWa HS29	9,4	0,817	< 25	84	166	60,2	112	0,643	0,520	8,90	0,352	<5

Tabelle 11: Feststoffe – Ausgewählte Standardparameter

Probenbezeichnung	Roh-dichte	GT		GV	CSB		TKN		Pges
		40 °C	105 °C	105 °C	Original	105 °C	40 °C	105 °C	105 °C
	g/L	g/kg	g/kg	% TS	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Birkenzweige	160	620	580	97,3	449	865	10	13	0,74
Toilettenpapier	20	1000	990	90,6	x	498	x	x	0,45
Drainagestroh	20	960	920	94,1	528	1050	4,1	4,7	0,32
Kohle 1	330	610	620	68,2	724	1110	19	18	0,73
Spülspäne	90	940	910	99,5	1040	1030	0,79	0,78	0,08
Trockentoiletteninhalt 1	280	270	250	94,8	161	1010	5,2	5,4	1,8
Trockentoiletteninhalt 2	210	240	270	84,9	204	1180	7,0	5,0	2,0
Gras	190	355	360	88,4	275	854	x	x	0,42
Hackschnitzel	200	732	760	94,3	129	783	x	x	x
Kohle 2	390	555	580	60,1	337	1070	x	x	x
Trockentoiletteninhalt 3	320	339	320	95,2	204	1190	x	x	0,32
Rohkompost	230	600	530	79,4	148	691	x	x	0,27
Kompost nach Abdeckung	190	587	584	72,5	123	705	25,3	19,8	0,56
Kompost nach Wurnzugabe	290	X	641	69,1	217	873	x	x	0,49

Tabelle 12: Feststoffe – Ausgewählte Kompostparameter

Proben- Bez.	CaCl ₂ - Ex- trakt 0,01 M	Wasser-Extrakt					CaCl ₂ -Extrakt 0,0125 M						CAL-Extrakt		
	pH	CSB		LF	Salz- ge	Cl ⁻	NO ₃ -N		NH ₄ -N		Mg		PO ₄ -P		P ₂ O ₅
		Roh- wert mg/l	mg/l FS	mS/cm	g/l FS	mg/l FS	Roh- wert mg/l	mg/l FS	Roh- wert mg/l	mg/l FS	Roh- wert mg/l	mg/l FS	Roh- wert mg/l	mg/l FS	mg/l FS
Birken- zweige	5,1	3420	5480	2,76	2,33	1140		< 1		< 1		18		< 1	< 5
Drainage- stroh	6,9	1770	88	0,126	0,013	10		< 1		< 1	92,8	37		< 1	< 5
Kohle 1	8,0	1110	3650	1,63	2,84	162		< 1		< 1	310	2050		< 1	< 5
Spülspäne	5,1	638	574	0,0980	0,05	<10		< 1		< 1	339	610		5	23
Trocken- toiletten- inhalt 1	8,4	898	2510	5,07	7,5	2560		< 1	374	2090	141	790		29	133
Trocken- toiletten- inhalt 2	8,4	787	1650	5,01	5,6	1920		< 1	435	1830	175	735		59	270
Gras	4,6	5740	10900	3,07	3,08	344	<5	<20	56,3	214	409	1550	54,5	207	949
Hack- schnittel	6,6	1150	2300	0,691	0,73	90	1,31	5	7,95	32	274	1100	20,6	82	378
Kohle 2	8,2	537	2090	1,10	2,27	156	nb*	nb*	7,49	58	282	2200	16,2	126	579
Trocken- toiletten- inhalt 3	8,3	2000	6390	2,49	4,21	701	<0,23	<2	257	1650	201	1290	37,2	238	1090
Rohkom- post	7,7	2850	6560	2,49	3,02	543	nb**	nb**	176	810	254	1170	47,7	219	1010
Kompost n. Abde- ckung	6,9	1130	2150	1,82	1,83	450	17,6	67	8,93	34	247	939	55,2	210	961
Kompost n. Wurm- zugabe	6,9	1270	3680	2,09	3,20	684			14,0		249	1440	54,3	315	1440

- n.b. Nicht bestimmbar

Tabelle 13: Pharmazeutische Wirkstoffe und weitere Substanzen in den untersuchten Matrices

EEQ: Estrogene Gesamtaktivität (E-Screen-Assay); RPE: Relativer Proliferationseffekt

Probenart	PN-Datum	Ibu- profe n	Hyd- roxy- Ibu- profe n	Car- boxy- Ibu- profe n	Na- pro- xen	Sulfa- -me- tho- xazo l	Meto- -pro- lol	Diclo- - fena c	Carbam a-zepin	Cof- fein	Nico- tin	Co- tinin	EE Q	RP E
		Alle Konzentrationangaben in µg/L												ng/ L
Urindrainage-Proben	04.06.2015	29,5	73,6	176	2,0	< 0,5	73,0	0,6	1,7	480	1,1	18,8	155	83
	04.06.2015	71,5	184	310	4,2	< 0,5	151	< 0,1	1,9	712	1,0	35,9	309	71
	05.06.2015	508	933	464	578	< 0,5	66,0	34,4	5,4	2013	86,3	46,0	522	80
	05.06.2015	514	668	299	209	< 0,5	53,0	88,9	54,6	2352	120	93,4	694	93
	06.06.2015	532	713	376	124	125	105	21,2	22,2	2130	207	151	680	72
	06.06.2015	800	1366	897	630	344	56	37,6	13,7	2099	241	138	689	86
	06.06.2015	670	1116	814	390	50	83	14,8	4,0	1875	113	102	432	93
Sickerwasser	17.06.2015	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,1
	01.07.2015	0,064	0,020	0,005	0,149	< 0,01	< 0,01	0,064	< 0,005	0,242	0,076	0,1	0,13	72
	21.07.2015	0,535	0,150	0,012	0,143	< 0,01	< 0,01	0,285	0,099	0,393	0,284	0,5	0,61	75
	07.08.2015	0,497	0,120	0,014	0,300	< 0,01	< 0,01	0,507	0,861	3,583	0,117	0,2	0,20	61
	16.09.2015	0,006	0,005	0,005	0,225	< 0,01	< 0,01	0,126	0,322	0,200	< 0,01	< 0,01	0,05	65
		Alle Konzentrationangaben in µg/kg Trockensubstanz												%
Trocken-toiletteninhalt	08.06.2015	18373	4336	1558	49	< 0,5	< 0,5	326	53	8512	175	25,6	6,90	79
Kompost	01.07.15	7040	936	115	31	< 0,5	< 0,5	63	35	2221	81,0	10,0	1,7	75
	07.08.15	411	85	10	24	< 0,5	< 0,5	75	44	1368	23,0	0,4	0,8	68
	16.09.15	3,7	0,25	0,25	13,6	< 0,5	< 0,5	99	49,4	436,3	11,4	0,3	0,5	65