

SCHRIFTENREIHE

**des Bauhaus-Instituts für
zukunftsweisende
Infrastruktursysteme (b.is)**

34

Herausgeber

Bauhaus-Universität Weimar

Fakultät Bauingenieurwesen

Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is)

Coudraystraße 7, D-99423 Weimar

RHOMBOS-VERLAG • BERLIN

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet abrufbar über <http://dnb.d-nb.de>

© 2016 RHOMBOS-VERLAG, Berlin

Alle Rechte vorbehalten

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Impressum

Schriftenreihe des Bauhaus-Instituts für zukunftsweisende
Infrastruktursysteme an der Bauhaus-Universität Weimar (b.is)
16. Jahrgang 2016

Herausgeber der Schriftenreihe

Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen,
Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infratstruktursysteme (b.is)
Coudraystraße 7, D-99423 Weimar

Verlag

RHOMBOS-VERLAG
Fachverlag für Forschung, Wissenschaft und Politik
Kurfürstenstr. 15/16, 10785 Berlin
Internet: www.rhombos.de
eMail: verlag@rhombos.de
VK-Nr. 13597

Druck

PRINT GROUP Sp. z o.o.
Printed in Poland

Papier: Munken Print White ist alterungsbeständig, mit dem EU Ecolabel ausgezeichnet
und FSC™ sowie PEFC zertifiziert.

ISBN 978-3-944101-60-6

ISSN 1862-1406

**Bauhaus-Institut für
zukunftsweisende Infrastruktursysteme
(b.is)**



Das Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is) verfolgt das Ziel, die Kooperation der derzeit beteiligten Professuren Siedlungswasserwirtschaft, Biotechnologie in der Ressourcenwirtschaft und Urban Energy Systems zu intensivieren sowie die Honorarprofessur Urbanes Infrastrukturmanagement, um Lehr-, Forschungs- und Beratungsaufgaben auszubauen. So werden beispielsweise die Weiterentwicklung von Studiengängen, gemeinsame Doktorandenkolloquien oder gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsaufgaben durchgeführt.

Das b.is will sich deutlich sichtbar im Bereich der Infrastrukturforschung aufstellen. Die Forschung und Lehre in diesem Bereich orientiert sich am medienübergreifenden Modell der nachhaltigen Gestaltung von Stoff- und Energieflüssen sowie ressourcenökonomisch ausgerichteten Systemen, die verbindendes Konzept der Kernprofessuren des Instituts sind. Die Professur Betriebswirtschaftslehre im Bauwesen ist mit dem b.is assoziiert.

**Bauhaus-Institute for
Infrastructure Solutions
(b.is)**



The Bauhaus-Institute for Infrastructure Solutions (b.is) aims to strengthen the cooperation of the university's research teams in Urban Water Management and Sanitation, Biotechnology in Resources Management and Urban Energy Systems in the areas of teaching, research and consultancy work. This encompasses the further development of degree programmes, joint doctorate colloquia and joint research and development activities.

Currently the chair of urban water management and sanitation, the chair of biotechnology in resources management and the chair of urban energy systems as well as the honorary professorship for urban infrastructure management are members of the institute. The chair of construction economics is associated with the institute.

The b.is will increase its visibility in infrastructure research. Education and research are geared to the comprehensive model of sustainable material and energy flows and resource economy oriented systems, which are the linkage of the institute's chairs.

**Implementierungsanalyse der technischen Konzepte zur
nachhaltigen Fäkalienentsorgung
im kleingärtnerischen Bereich:
Entwicklung und Anwendung der Methode**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
an der Fakultät Bauingenieurwesen
der Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Julia Alexeeva-Steiniger
aus Volgograd (Russland)

Gutachter:

1. Univ. Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong (BUW)
2. Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch (TU Berlin)
3. Prof. Dr. Ulrike Weiland (UFZ Leipzig)

Tag der Disputation: 12.12.2015

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise unentgeltlich geholfen:

1. Simone Müller hat im Rahmen ihrer von mir betreuten Masterarbeit „Eruierung der Nachhaltigkeit der Fäkalienverwertung als Dünger auf einem Kleingartenstück anhand der Stickstoffbilanzen“ die Luftbilder ausgewählter Kleingartenanlagen in Leipzig in Bezug auf ihren Nutzungscharakter ausgewertet und die Berechnung der spezifischen Zugabemengen der Substrate Urin und Fäzeskompost für kleingärtnerische Kulturen durchgeführt.
2. Katrin Kästner hat im Rahmen ihrer von mir betreuten Masterarbeit „Regulierungsmechanismen bei der Umsetzung der Maßnahmen zur Abwasserentsorgung aus Kleingärten: Theorie und Praxis“ die Befragung der ausgewählten Kommunen in Bezug auf die Praxis der behördlichen Kontrolle der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben in Kleingartenanlagen durchgeführt und ausgewertet.

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt.

Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder anderer Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich versichere ehrenwörtlich, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Leipzig, den 20.01.2015

Inhaltsverzeichnis

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tabellenverzeichnis | V |
| Verzeichnis der verwendeten Rechtsvorschriften | VII |
| Verzeichnis der Abkürzungen | IX |
| 1 Einleitung und Herangehensweise..... | 1 |
| 2 Technische Konzepte | 6 |
| 2.1 Betrachtungsgrenzen: Vorauswahl der Konzepte | 6 |
| 2.2 Konzept „Kanalanschluss“ | 8 |
| 2.3 Konzept „Abflusslose Sammelgruben“ | 13 |
| 2.4 Konzept „NASS – interne Verwertung“ | 15 |
| 2.4.1 Erfassung | 15 |
| 2.4.2 Behandlung..... | 17 |
| 2.4.3 Verwertung..... | 24 |
| 2.5 Konzept „NASS – zentrale Entsorgung“ | 34 |
| 2.6 Technologischer Vergleich der Konzepte..... | 37 |
| 2.6.1 Hygienische Sicherheit bei der Verwertung der Substrate aus menschlichen Fäkalien | 37 |
| 2.6.2 Risikoabschätzung bezüglich des Schadstoffeintrages | 44 |
| 3 Ansätze zur Entwicklung einer neuen Methode | 47 |
| 3.1 Einleitung | 47 |
| 3.2 Nachhaltigkeit: Merkmale und Prinzipien..... | 48 |
| 3.3 Nachhaltigkeitsansätze in der Wasserwirtschaft | 52 |
| 3.4 Ansätze zum neuen Konzept – Implementierungsanalyse | 55 |
| 4 Problemanalyse..... | 59 |
| 4.1 Einleitung | 59 |
| 4.2 Analyse des objektiven Problemkerns | 60 |
| 4.3 Analyse des sozialen Problemumfeldes | 66 |
| 4.3.1 Methodischer Ansatz: Konstellationsanalyse | 66 |
| 4.3.2 Konstellationsanalyse versus Stakeholder-Analyse | 71 |
| 4.3.3 Konstellationsanalyse der Problematik der Abwasser- und Fäkalienentsorgung im kleingärtnerischen Bereich | 72 |
| 4.3.4 Entwurf der Konstellation „Status Quo der Fäkalienentsorgung im kleingärtnerischen Bereich“ | 80 |
| 4.4 Zusammenfassung..... | 83 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5 Implementierungsanalyse der Entsorgungskonzepte für den kleingärtnerischen Bereich..... | 84 |
| 5.1 Einleitung | 84 |
| 5.2 Technische Reife | 85 |
| 5.3 Genehmigungspraxis..... | 90 |
| 5.4 Rechtliche Legitimität der Kontrolle | 95 |
| 5.5 Praktizierte Kontrolle sachgemäßer Umsetzung..... | 102 |
| 5.6 Akzeptanz technischer Lösungen..... | 107 |
| 5.7 Gesellschaftlich-kultureller Kontext | 111 |
| 5.8 Kartierung der Konstellation "Entsorgungskonzepte im kleingärtnerischen Bereich" und Zusammenfassung | 113 |
| 6 Konzeption der Steuerungsstrategie | 118 |
| 6.1 Einleitung: Ergebnisse der Problemanalyse und der Implementierungsanalyse | 118 |
| 6.2 Steuerung und Steuerungsstrategie..... | 119 |
| 6.2.1 Formulierung des Hauptziels der Steuerung | 121 |
| 6.2.2 Konkretisierung des Hauptziels durch operationelle Ziele | 122 |
| 6.2.3 Festlegung der steuernden Subjekte | 123 |
| 6.2.4 Entwicklung des generellen Steuerungsplans | 129 |
| 6.2.5 Auswahl der Steuerungsinstrumente | 134 |
| 6.3 Zusammenfassung..... | 159 |
| 7 Zusammenfassung der Arbeit | 163 |
| Literaturverzeichnis | 178 |
| Internetquellen..... | 188 |
| Anhang 1: Dynamik mikrobiologischer Parameter im Prozess der Terra Preta-Herstellung..... | 189 |
| Anhang 2: Ergebnisse der Kommunenbefragung über die Praxis der Überwachung der sachgemäßen Fäkalienentsorgung in Kleingartenanlagen | 191 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb.1: Systematisierung der Konzepte zur Entsorgung der Fäkalien in Kleingärten | 6 |
| Abb.2: Konzept „Kanalanschluss“ | 9 |
| Abb.3: Kanalanschluss – Entwässerung im freien Gefälle, Prinzipskizze | 9 |
| Abb. 4: Kanalanschluss – Druckentwässerung, Prinzipskizze | 11 |
| Abb. 5: Konzept „Abflusslose Sammelgruben“ | 13 |
| Abb. 6: Konzept „NASS - interne Verwertung“ | 15 |
| Abb. 7: Systematisierung der Trockentoilettensysteme mit Modellbeispielen | 16 |
| Abb. 8: Heißkompostierung der Fäkalien in Kleinmengen (Eigene Darstellung nach www.ecovia.ch) | 19 |
| Abb.9: Flächennutzung in Kleingärten: BBR-Studie [Butz et al., 2008:43] - links; Auswertung der Luftbilder von Müller [2012:109] - rechts | 33 |
| Abb.10: Konzept „NASS – zentrale Behandlung“, Variante A | 35 |
| Abb.11: Konzept 4 „NASS – zentrale Entsorgung“, Variante B | 35 |
| Abb.12: Goldgrube Kunststoff, Modell K-KK (Quelle: Holzapfel & Konsorten) | 36 |
| Abb.13: Die Nachhaltigkeitsmatrix [Grambow, 2013:77] | 49 |
| Abb.14: Hauptkomponenten des HCES-Ansatzes: das fördernde Umfeld und der 10-Schritte-Prozess (Quelle: Morel et al., 2003) | 53 |
| Abb.15: Open Planning of Sanitation Systems-Konzept (eigene Darstellung nach Kvarnström & Petersens, 2004) | 54 |
| Abb.16: Konzept der Implementierungsanalyse – schematische Darstellung | 57 |
| Abb.17: Problemorientierter Steuerungsansatz nach Dose[2008:429], schematische Darstellung der Vorgehensweise | 61 |
| Abb.18: schematische Darstellung des Verlaufs der Konstellationsanalyse | 70 |
| Abb.19: Hierarchische Struktur des deutschen Kleingartenwesens und die ihr zugeordneten Verwaltungsstrukturen auf Bundes-, Länder- und kommunaler Ebene | 75 |
| Abb.20: Kartierung der Konstellation „Status Quo der Fäkalienentsorgung im kleingärtnerischen Bereich“ – Entwurf | 81 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb.21: Ergebnisse der BUW-Befragung: Übersicht über die Regelungsart der Abwasser- bzw. Fäkalienentsorgung in Kleingartenanlagen | 104 |
| Abb.22: Ergebnisse der BUW-Befragung: Übersicht zur Praxis der Kontrolle sachgemäßer Abwasser- bzw. Fäkalienentsorgung in Kleingartenanlagen | 104 |
| Abb.23: Ergebnisse der BUW-Befragung, Regelung der Abwasserentsorgung nach Vorgaben des BkleingG | 105 |
| Abb.24: Ergebnisse der BUW-Befragung: Regelungen der Abwasserentsorgung bei Zulassung von WCs auf Parzellen | 106 |
| Abb.25: Priorisierung der Nutzeranforderungen an ein Entsorgungskonzept für Kleingarten (Ergebnisse des Workshops im Leipziger KGV „Seilbahn“) | 110 |
| Abb.26: Elemente der Konstellation „Implementierung der Konzepte zur Fäkalienentsorgung im kleingärtnerischen Bereich“ | 114 |
| Abb.27: Konstellation "Entsorgungskonzepte im kleingärtnerischen Bereich" | 115 |
| Abb.28: Beispiel für eine differenzierte Analyse einer Steuerungskonzeption [Dose, 2008 : 129] | 130 |
| Abb.29: Steuerungshypothese:1. Entwurf (eigene Darstellung) | 130 |
| Abb.30: Ver- und Entsorgung in Einzelgärten nach Angaben der Pächter [Buhtz et al., 2008:46] | 132 |
| Abb.31: Steuerungshypothese: 2. Entwurf (eigene Darstellung) | 134 |
| Abb.32: Konzept der erweiterten Implementierungsanalyse..... | 164 |
| Abb.33: Konstellation "Blockierung der wasserlosen Entsorgungskonzepte im kleingärtnerischen Bereich" | 170 |
| Abb.34: Entwurf einer Steuerungshypothese für die Problematik der Fäkalienentsorgung im kleingärtnerischen Bereich | 174 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1: Anforderungen an die Zugänglichkeit für verschiedene Sammelgruben | 14 |
| Tab. 2: Übersicht zu oTR-Reduktionsraten in Versuchen zu Wurmkompos- tierung menschlicher Fäzes, eigene Zusammenfassung der Literaturwerte | 21 |
| Tab.3: Nährstoffgehalte im frischen Urin (nach DWA, 2008:13) sowie pflanzenverfügbare Nährstoffgehalte im gelagerten Urin (kalkulierte Werte) | 27 |
| Tab.4: Ermittlung der Nährstoffgehalte im reifen Fäzeskompost (für kalte Rote bzw. Wurmkompostierung) | 29 |
| Tab.5: Nährstoffbedarf der Gartenkulturen nach LTZ [2002:7 f.] und erforderliche Urinmengen zur Deckung des N-Bedarfs | 30 |
| Tab.6: Zugabemengen an Fäzeskompost zur Deckung des P-Bedarfs nach Fischer & Jauch [1999:50 ff.] | 31 |
| Tab.7: Spezifischer Flächenbedarf für die Urinverwertung (60 l/Person · Saison) zur Düngung der Rasenflächen | 32 |
| Tab.8: Spezifischer Flächenbedarf für die Fäzeskompostverwertung (22 l/Person · Saison) zur Düngung der Zierpflanzen und Ziergehölze | 32 |
| Tab.9: Technologischer Vergleich der Konzepte | 38 |
| Tab.10: Zeiträume für 90%ige Reduktion ausgewählter Pathogene bei der Lagerung der Fäzes, T 20°C (Quellen: Schönning & Stenström, 2004 und 2007) | 41 |
| Tab.11: WHO-Empfehlungen für Lagerung trockener Exkremente und Fäkalschlamm bei kleinskaliger Behandlung [WHO, 2006, Kap. 4.4.3.] | 41 |
| Tab.12: mikrobiologische Parameter nach der Kompostierung der Substrate fäkalen Ursprungs (Literaturdaten, eigene Zusammenstellung) | 42 |
| Tab.13: mikrobiologische Parameter nach der Wurmkompostierung der Substrate fäkalen Ursprungs (Literaturdaten, eigene Zusammensetzung) | 42 |
| Tab.14: Schwermetallgehalte in rohen Fäzes bzw. Fäkalkomposten | 45 |
| Tab.15: Kriterien der Nachhaltigkeit nach Kahlenborn & Kraemer [1999] und Grambow [2013] | 50 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab.16: Analytische Problemkategorien und die jeweiligen ursachen- adäquaten Instrumente [Dose, 2008:409] | 62 |
| Tab.17: Kosten- und Nutzenverteilung der vermuteten Wirkungen einer Maßnahme bezüglich der Interessenwahrnehmung und der Organisierbarkeit der Interessen [in Anlehnung an Wilson, 1980] | 65 |
| Tab.18: Konstellationsanalyse: Grundelementtypen für die grafischen Kartierung der Konstellationen (eigene Zusammenstellung nach [Schön et al., 2010:18]) | 68 |
| Tab.19: Konstellationsanalyse: Relationstypen für die grafischen Kartierung der Konstellationen (eigene Zusammenstellung nach Schön et al. [2010:20]) | 69 |
| Tab.20: Zusammenfassung der Voraussetzungen für die Gewährleistung der ökologischen Nachhaltigkeit von Entsorgungskonzepten im kleingärtnerischen Bereich | 96 |
| Tab.21: Rechtsnormen zur Konkretisierung des WHG in Bezug auf die Dichtheitsprüfungspflicht nicht-öffentlicher Abwasserleitungen | 98 |
| Tab.22: Vorschläge für die rechtliche Zuordnung von menschlichen Fäkalien in Abhängigkeit von der Erfassungsart | 140 |
| Tab.23: Anforderungen an Entsorgungsanlagen zur Erteilung der Anlagengenehmigung – Entwurf | 146 |
| Tab.24: Sinus-Milieus in Deutschland (nach Sinus Soziovision, 2007, zit. in Kleinhückelkotten & Wegner, 2010:20)..... | 150 |
| Tab.25: Profile der SINUS-Milieus im Kleingartenwesen hinsichtlich der Nachhaltigkeitskommunikation (eigene Zusammenstellung in Anlehnung an Kleinhückelkotten & Wegner [2010])..... | 152 |

Verzeichnis der verwendeten Rechtsvorschriften

| | |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AbfKlärV | Klärschlammverordnung, Fassung vom 24.02.1012 |
| AbfRRL | Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle (Abfallrahmenrichtlinie), Fassung vom 19.11.2008 |
| AbfVV | Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2006 über die Verbringung von Abfällen, Fassung vom 13.12.2013 |
| BauO Bln | Bauordnung für Berlin, Fassung vom 29.06.2011 |
| BauO LSA | Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt, Fassung vom 10.09.2013 |
| BioAbfV | Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden, Fassung vom 04.04.2013 |
| BKleingG | Bundeskleingartengesetz, Fassung vom 19.09.2006 |
| BRRG | Rahmengesetz zur Vereinheitlichung des Beamtenrechts (Beamtenrechtsrahmengesetz), Fassung vom 05.02.2009 |
| DüMV | Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln, Fassung vom 05.12.2012 |
| HBauO | Hamburgische Bauordnung, Fassung vom 28.01.2014 |
| KrWG | Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz), Fassung vom 01.06.2012 |
| LWG Baden-Württemberg | Wassergesetz für Baden-Württemberg, Fassung vom 3.12.2013 |
| LWG MV | Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern, Fassung vom 4. Juli 2011 |

| | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LWG NRW | Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen, Fassung vom 05.03.2013 |
| NWG | Niedersächsisches Wassergesetz, Fassung vom 19.02.2010 |
| SächsWG | Sächsisches Wassergesetz, Fassung vom 12.07.2013 |
| SächsBauO | Sächsische Bauordnung, Fassung vom 28.05.2004 |
| TASi | Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, 1993, aufgehoben 2007 |
| ThürBO | Thüringer Bauordnung, Fassung vom 13.03.2014 |
| ThürKO | Thüringer Gemeinde- und Landkreisordnung (Thüringer Kommunalordnung), Fassung vom 20.03.2014 |
| ThürWG | Thüringer Wassergesetz, Fassung vom 17.12.2004 |
| WHG | Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz), Fassung vom 31.07.2009 |

Verzeichnis der Abkürzungen

| | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| a.a.R.d.T | allgemein anerkannte Regel der Technik |
| ATV | Abwassertechnische Vereinigung e.V. |
| BBR | Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung |
| BDG | Bundesverband Deutscher Gartenfreunde |
| BGH | Bundesgerichtshof |
| BUW | Bauhaus-Universität Weimar |
| BVerfG | Bundesverfassungsgericht |
| BVerwGE | Bundesverwaltungsgerichts |
| DE | Druckentwässerung |
| DES | Druckentwässerungssystem |
| DIBt | Deutsches Institut für Bautechnik |
| DIN | Deutsches Institut für Normung e. V. |
| DLG | Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft |
| DN | (franz. Diamètre Nominal), Durchmesser eines Rohres |
| DVWK | Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. |
| DWA | Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. |
| EAWAG | Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz |
| EG | Europäische Gemeinschaft |
| EM | Effektive Mikroorganismen |

| | |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| EN | Europäische Norm |
| FM | Frischmasse |
| GALK | Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz |
| GEA | Grundstücksentwässerungsanlage |
| GFK | Glasfaserverstärkter Kunststoff |
| GG | Grundgesetz |
| GWP | Global Water Partnership |
| HCES | Household-Centred Environmental Sanitation |
| IKT | Institut für unterirdische Infrastruktur |
| IWRM | Integrierte Wasserressourcen-Management |
| KA | Kläranlage |
| KG | Kleingarten |
| KGV | Kleingartenverein |
| KKA | Kleinkläranlagen |
| MLUV MV | Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg und Vorpommern |
| MPN | most probable number |
| NASS | Neuartige Sanitärsysteme |
| NGO | non-governmental organization |
| OPSS | Open Planning of Sanitation Systems |
| oTR | Organischer Trockenrückstand |
| PE-HD | Polyethen high density |
| PFU | plaque forming units |

| | |
|------------|--------------------------------------------------|
| SH-Analyse | Stakeholderanalyse |
| SRU | Sachverständigenrat für Umweltfragen |
| SWOT | Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats |
| TC | Trockentoilette |
| TOC | total organic carbon |
| TS | Trockensubstanz |
| TTC | Trockentrenntoilette |
| TUHH | Technische Universität Hamburg-Harburg |
| USEPA | United States Environmental Protection Agency |
| VDGN | Verband Deutscher Grundstücksnutzer |
| WC | water closet |
| WG | Wassergesetz |
| WHO | World Health Organization |

Um etwas Großes wie die Welt zu verstehen, muss man im Kleinen suchen. Der Schrebergarten ist ein Äquivalent zur Welt. Es geht auch dort um Nachhaltigkeit und darum, wie man mit der Natur umgeht, mit anderen Menschen, dem ganzen Planeten.

Wladimir Kaminer

Interview zum Buch „Mein Leben im Schrebergarten“

„Stern“, 27.11.2007

1 Einleitung und Herangehensweise

Die vorliegende Arbeit widmet sich der Thematik der Fäkalienentsorgung im kleingärtnerischen Bereich.

In der Diskussion über die Abwasserentsorgung in den Kleingartenanlagen haben sich seit Jahren zwei Lager gebildet. Die am weitesten verbreitete Ansicht stützt sich auf die Auslegung des Bundeskleingartengesetzes (BKleingG) durch die Entscheide des Bundesgerichtshofes und des Bundesverfassungsgerichtes, die in den offiziellen Kommentaren zum BKleingG von Mainczyk dargelegt werden. Hiernach sind „die Abwasserbeseitigungsanlagen in der Laube nicht erforderlich“, da sie „nicht der kleingärtnerischen Funktion der Laube dienen“ [Mainczyk, 2010, §3 Rn. 10a]. Die Errichtung einer Spültoilette in der Laube kommt daher nicht in Betracht. Eine Ausnahme gilt nur für die Anlagen mit Bestandschutz [Mainczyk, 2010, §1 Rn. 15 a]. Die mit dem BKleingG konforme Entsorgung kann „nur über zentrale Einrichtungen in der Kleingartenanlage und / oder auch über die Trockentoiletten in den Gärten erfolgen“ [Mainczyk, 2010, §3 Rn. 10a]. Diese Ansicht wird offiziell vom zentralen Organ des deutschen Kleingartenwesens – dem Bundesverband Deutscher Gartenfreunde (BDG) – vertreten [Dams, 2007:59 f.; Kleist, 2007:78f.].

Andererseits weisen einige Kleingartenexperten auf die bestehende Diskrepanz zwischen den gesetzlichen Vorgaben des BKleingG und der Praxis hin. Angesichts der großen Anzahl der Lauben, die den Anforderungen des BKleingG nicht genügen und die das Ergebnis einer „nicht gesetzeskonformen Entwicklung“ darstellen, muss ein Weg gefunden werden, den Rechtskonflikt zu beseitigen und die Sachverhalte in der Praxis zu legalisieren [Oldengott, 2007:53 ff.].

Trotz der eifrigen Diskussionen um das Thema ist der Umfang des angesprochenen Problems unbekannt. Die Schäden durch die illegale Einleitung des ungereinigten Abwassers in den Untergrund sind nicht ermittelbar. Der Grund dafür ist, dass bei der Selbstauskunft der Kleingärtner die entsprechenden Fragen oft nicht oder nicht wahrheitsgetreu beantwortet werden. Selbst die Vereinsvorstände wollen darüber keine Angaben machen und tolerieren stillschweigend den *status quo* [Krause et al., 2009:123].

Seit Jahren warnt der Verband Deutscher Grundstücksnutzer (VDGN), dass die geltenden Regelungen das Kleingartenwesen „zum Auslaufmodell machen“ und die Entwicklung eines attraktiven zeitgemäßen und familiengerechten Kleingartenwesens behindern. Daher fordert der VDGN:

„Der Widerspruch zwischen geltendem Recht, Rechtstatsächlichkeit und zeitgemäßen, familiengerechten Mindeststandards muss aufgelöst werden. <...> Strom, Wasser, ökologische Abwasserbehandlung müssen Standard werden“ [Beleites et al., o.J.].

2007 ersuchte die Hamburger Bürgerschaft den Senat, die Möglichkeiten einer Anpassung der rechtlichen Definition der Standards für die Laubenausstattung (insbesondere der sanitären Einrichtungen) im Bundesrat zu eruieren. Daraufhin hat der Hamburger Senat einen Kongress „Kleingärten mit Zukunft – Lebenswerte Stadt“ initiiert. Das Hauptanliegen bestand darin, mit dem Bundesverband Deutscher Gartenfreunde e.V. (BDG) sowie mit Fachexperten aus Planung, Verwaltung und Ministerien, das Modernisierungspotential des Kleingartenwesens offen und konstruktiv zu diskutieren [Gundelach, 2007:5]. Seitens des Senats wurde vorgeschlagen, durch Modellversuche zu überprüfen, ob die Zulassung abweichender Standards in der Ausstattung von Kleingärten negative Auswirkungen auf die kleingärtnerische Nutzung der Anlagen haben könnte. Als Antwort bezeichnete der Präsident des BDG I. Kleist „die Idee des Hamburger Senats, das BKleingG für sogenannte Modellversuche zu ändern, als gefährlich“. Das Ersuchen wurde als „nicht notwendiger Eingriff in die Schutzvorschriften abgelehnt“ [Kleist, 2007:78].

Ebenso hatte der Deutsche Bundestag auf die Kleine Anfrage der Fraktion DIE LINKE über die Absichten der Bundesregierung in Bezug auf die Änderung des BKleingG mit einem klaren „Nein“ geantwortet: „Das Bundeskleingartengesetz hat sich nach Auffassung der Bundesregierung als rechtlicher Rahmen für das Kleingartenwesen bewährt“ [Bundestag, 2011].

In der oben aufgeführten Diskussion über die rechtliche Konformität der Ver- und Entsorgungseinrichtungen in der Kleingartenlaube erstaunt es umso mehr, dass die Betrachtung ausschließlich aus dem Blickwinkel des BKleingG erfolgt. Die dahinter stehenden Entsorgungskonzepte – Kanalanschluss, abflusslose Sammelgruben, Trockentoiletten usw. – werden lediglich von der Seite ihrer Eignung als Merkmal des „dauerhaften Wohnens“ oder hinsichtlich „ihrer Notwendigkeit für die kleingärtnerische Nutzung“ betrachtet. Die „asketische“ Ausstattung der Lauben mit Ver- bzw. Entsorgungseinrichtungen wird als Rechtfertigung des gesetzlich geschützten niedrigen Pachtpreises dargestellt [Dams, 2007:59 ff.]. Durch Legitimierung der Ver- bzw. Entsorgungseinrichtungen in der Laube wird eine Explosion der Laubenpreise befürchtet [Baumgarten, 2007:10; Weirich, 2007:18]. Eine objektive Bewertung der Konzepte nach ökologischen Aspekten wird dabei nicht vorgenommen.

Der nächste Problempunkt betrifft die Tatsache, dass die Regelung der Problematik der Fäkalienentsorgung im kleingärtnerischen Bereich nur auf Papier erfolgt. Wie eine eigene Umfrage (siehe Kapitel 5.5) zeigen konnte, wird

die Befolgung der aufgestellten Regeln kaum kontrolliert bzw. sanktioniert. Der Problematik wird praktisch aus dem Weg gegangen.

Die vorliegende Arbeit setzt sich die **Entwicklung einer Methode zur Analyse der Problematik** der Fäkalienentsorgung im kleingärtnerischen Bereich zum Ziel, wobei technische Aspekte – die Entsorgungskonzepte – als Elemente eines gesellschaftlichen Konstruktes betrachtet werden, die durch die Wechselbeziehungen der involvierten Akteure beeinflusst – gefördert oder gehemmt – werden (können). Anschließend sollen die **Grundsätze für eine Strategiekonzeption** erarbeitet werden, die auf die Erschaffung eines fördernden Rahmens für die Umsetzung technischer Lösungen abzielen.

Im Einzelnen werden die Inhalte wie folgt aufgeteilt:

Das zweite Kapitel fasst in knapper, konzentrierter Form die verfahrenstechnischen Grundlagen der Entsorgungskonzepte unter der Berücksichtigung der besonderen Randbedingungen in Kleingartenanlagen zusammen und bildet somit die Basis für deren **objektiven technologischen Vergleich**. Angesichts der Tatsache, dass speziell das Konzept der Fäkalienentsorgung über die Trockentoiletten als mit dem BKleingG konforme Alternative in der öffentlichen Diskussion häufig hervorgehoben wird, liegt der Schwerpunkt der Analyse auf der Charakterisierung dieses Konzeptes. Es werden unter anderem folgende Fragen aufgeworfen:

- inwiefern das Konzept der Entsorgung über die Trockentoiletten den Ansprüchen des Boden- und Gewässerschutzes entspricht,
- ob eine sachgemäße Verwertung der behandelten Fäkalien auf einer durchschnittlichen Kleingartenparzelle realisierbar ist sowie
- ob und unter welchen Bedingungen die hygienische Sicherheit beim Umgang mit Fäkalien als hygienisch bedenklichen Substraten gewährleistet werden kann.

Nachdem im zweiten Kapitel die verfahrenstechnischen Grundlagen der Entsorgungskonzepte zusammengetragen werden, wird im weiteren Verlauf der Arbeit **die Thematik der praktischen Umsetzung** der aufgestellten Konzepte behandelt. Als wichtige Randbedingung soll dabei auf die Wahrung der Prinzipien der Nachhaltigkeit – sowohl aus ökologischer als auch sozialer und wirtschaftlicher Sicht – geachtet werden. Mit dem Begriff der Nachhaltigkeit als der maßgebenden Größe setzt sich das dritte Kapitel auseinander.

Im vierten Kapitel erfolgt eine **tiefgehende Analyse der Störfaktoren** bei der Problemlösung der Fäkalienentsorgung im kleingärtnerischen Bereich. Die Ansicht, dass die Ursache allein in den gesetzlichen Anforderungen des BKleingG liegt, greift zu kurz und schafft einen Mythos, der selbst zum

Hindernis bei der Problemlösung wird. Bereits der oberflächliche Blick reicht aus, um zu sehen, dass das Problem trotz des gleichen rechtlichen Rahmens in verschiedenen Bundesländern unterschiedlich gehandhabt wird. Das Paradebeispiel gibt das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern ab, in dem bereits 2010 die Abwasserbeseitigung nach a.a.R.d.T. auch für den kleingärtnerischen Bereich zum Ziel gesetzt wurde. Seitdem wird es mit unterschiedlichen Steuerungsinstrumenten (Verboten, Förderung grundlagen-ermittelnder Forschungsvorhaben, finanzielle Unterstützung der Konzepte auf Vereinsebene, Information und Überzeugung, Schaffung der Netzwerke) vorangetrieben. Wie deckt sich eine solche Vorgehensweise mit dem geltenden Kleingartenrecht? Dieser Frage wird im vierten Kapitel nachgegangen.

In der vorliegenden Arbeit wird bewusst vermieden, eines der Entsorgungskonzepte zu priorisieren. Viel mehr wird dargelegt, welche Randbedingungen für die Gleichstellung der Entsorgungskonzepte in der Praxis fehlen und wie dem entgegengewirkt werden kann. Daher wird im fünften Kapitel die Implementierungsanalyse der aufgestellten Entsorgungskonzepte durchgeführt, mit dem Ziel, Defizite für deren Realisierung aufzuzeigen. Dabei werden unter anderem betrachtet:

- Aspekte der rechtlichen Regelung,
- Etablierung der erforderlichen Techniken durch vorhandene Regelwerke,
- Kontrollierbarkeit der sachgemäßen Umsetzung,
- erforderlicher personeller Aufwand und
- Akzeptanz der Konzepte.

Die durchgeführte Implementierungsanalyse wird im sechsten Kapitel als Basis verwendet, um eine Strategie zur Behebung der aufgedeckten Defizite in ihren Grundzügen zu entwickeln. Mit Hilfe der Erkenntnisse aus der politikwissenschaftlichen Forschung zur staatlichen Steuerung werden die Instrumente beschrieben und ihre Anwendbarkeit für die Steuerung der Problematik der Fäkalienentsorgung im kleingärtnerischen Bereich bewertet.

Die Steuerungsintention ist immer mit einem Zwang verbunden. Es ist selbst erklärend, dass sich das Steuerungsobjekt autonom (d.h. ohne Eingriffe seitens des steuernden Subjektes) anders entwickeln würde. Daher ist das Potential zum Widerstand gegen die Steuerungsmaßnahmen seitens des Adressaten im Begriff der Steuerung impliziert. Durch die geschickte Auswahl der Steuerungsformen lässt sich der Widerstand bis zu einem gewissen Maße verringern. Auch die mit der Steuerung verbundenen Aufwände können durch Schließung von Allianzen unter den staatlichen und gesellschaftlichen Partnern geteilt werden. Auf die Möglichkeiten der Partizipation bzw. der Kooperation

bei der Steuerung der Entsorgungsproblematik im kleingärtnerischen Bereich wird im sechsten Kapitel eingegangen.

Grundsätzlich stellt sich die vorliegende Arbeit als oberstes Ziel, einen **Leitfaden für die Erarbeitung eines Strategiekonzeptes** zu entwickeln (jedoch keine Strategie an sich!), **welches Chancengleichheit für die Realisierung unterschiedlicher, nachhaltiger Entsorgungskonzepte im kleingärtnerischen Bereich schafft:**

- etablierte Genehmigungspraxis,
- vernetzte Infrastruktur,
- Akzeptanz der Nutzer und
- Möglichkeiten der Kontrolle der sachgemäßen Umsetzung.

Die Auswahl eines Konzeptes für einen konkreten Kleingartenverein kann dann unter der Mitwirkung der Kleingärtnern mit Hilfe des technologischen Vergleichs und unter der Berücksichtigung der vorliegenden örtlichen Gegebenheiten sowie des jeweiligen finanziellen Rahmens erfolgen.

2 Technische Konzepte

2.1 Betrachtungsgrenzen: Vorauswahl der Konzepte

Im Folgenden werden allgemein technisch mögliche Konzepte zur Entsorgung der Fäkalien im kleingärtnerischen Bereich schematisch dargestellt und kurz beschrieben. Jedes Konzept setzt sich aus den Komponenten zusammen:

- Erfassung;
- Lagerung;
- Transport;
- Behandlung;
- Verwertung der Produkte bzw.
- Entsorgung der Reststoffe.

Die Problematik der Grauwasserentsorgung wird hier ausgeklammert.

In Abb.1 ist die Übersicht technischer Optionen gegeben. Zur Systematisierung wird im ersten Schritt das Merkmal 'Wassereinsatz' herangezogen, welches sich insbesondere auf die jeweiligen Erfassungssysteme (Toilettensysteme) bezieht. Im zweiten Schritt erfolgt die Untergliederung nach den Behandlungsverfahren.

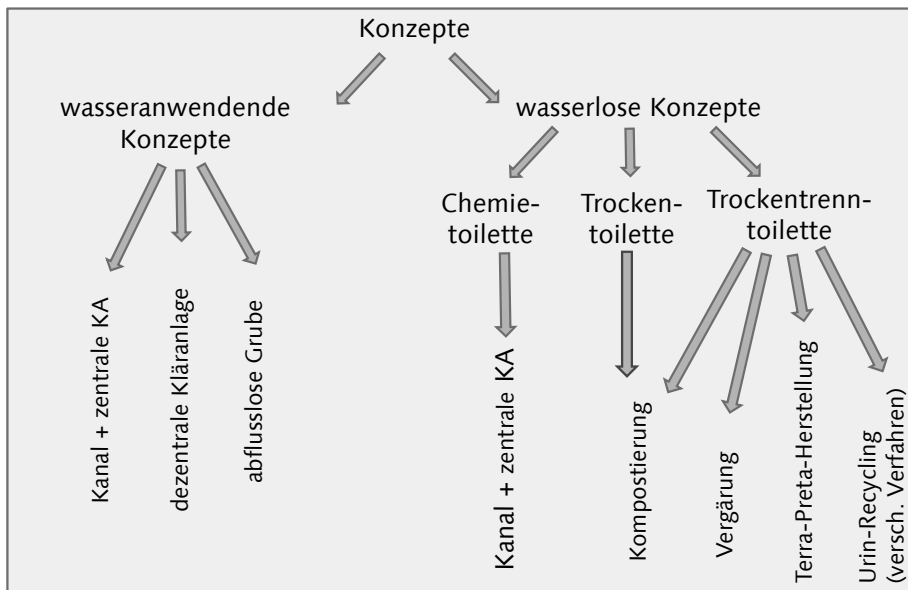


Abb.1: Systematisierung der Konzepte zur Entsorgung der Fäkalien in Kleingärten

Das Konzept der Abwasserableitung aus Kleingärten über das kommunale Kanalnetz mit anschließender Behandlung in der Kläranlage entspricht dem heutigen Stand der Technik. Abgesehen von der rechtlichen Problematik

(fehlende Konformität mit dem BKleingG) hat dieses Konzept bei den Endnutzern einen hohen Stellenwert. Aus diesem Grund wird es in die weiteren Betrachtungen mit einbezogen.

Das Konzept der Fäkalienerrfassung mit konventionellen Wasserspültoiletten und ihrer Lagerung in einer abflusslosen Grube mit anschließender Abfuhr zur Kläranlage entspricht unter der Bedingung der nachgewiesenen Dichtheit der Sammelgrube ebenfalls dem Stand der Technik. Dieses Konzept ist von Interesse, da die Abwasserentsorgungsanlagen in Kleingärten im Bestand i.d.R. abflusslose Gruben sind. Ebenfalls genießt dieses Konzept aufgrund des gewohnten Erfassungssystems (WC) eine gute Akzeptanz bei den Endnutzern.

Das Konzept der inneren Erschließung mit anschließender Abwasserbehandlung in einer oder mehreren Kleinkläranlagen scheint dagegen für die Anwendung in Kleingärten aus mehreren Gründen weniger geeignet zu sein:

- **Besonderheiten stofflicher und hydraulischer Belastung:** Die zeitliche Kleingartennutzung ist saisonal und innerhalb der Saison unregelmäßig (vorwiegend Wochenendnutzung). Unabhängig vom Verfahren funktionieren vollbiologische Kleinkläranlagen bei gleichmäßiger Beschickung am besten. Bei ständigem Wechsel zwischen Unterlast- und Überlastbetrieb ist mit einer Beeinträchtigung bis hin zum vollständigen Versagen des Reinigungsprozesses zu rechnen. Im Hinblick auf die Vorgaben des BKleingG – einfache Ausstattung der Laube – verbieten die meisten Vereinssatzungen den Einsatz wasserverbrauchender Hausgeräte (Dusche, Spülmaschine) in Kleingärten. Als Ergebnis ist der Abwasseranfall insgesamt sehr gering, jedoch mit einem überproportionalen Anteil an Urin (hohe N- und P-Frachten) [Barjenbruch & Wrieger-Bechtold, 2006:22]. Verfahrenstechnisch sind beide Faktoren – ungleichmäßige hydraulische Belastung und die hohen Nährstofffrachten – problematisch. Zu ihrer Beherrschung sind ein erhöhter Technisierungsgrad der Abwasserbehandlung sowie die Betreuung durch fachkundiges Personal unverzichtbar.
- **Eigenkontrolle, Wartung und Betrieb:** Entsprechend dem geltenden Recht (WHG §61, Kleinkläranlagenverordnungen der Länder) ist der Grundstücksbesitzer und der Nutzer der Kleinkläranlage für ihren störungsfreien Betrieb, die Überwachung, die Eigenkontrolle sowie für die Durchführung der Wartung der Anlage verantwortlich. Dies erfordert gewisse fachliche Kompetenzen, persönliche Motivation und ist mit einem organisatorischen und zeitlichen Aufwand verbunden, selbst wenn die Wartung von einer Fachfirma übernommen wird. In Kleingartenanlagen ist die Frage der

Zuständigkeit aufgrund besonderer Eigentumsverhältnisse (der Betreiber der Kleinkläranlage ist der Kleingartenverein) und besonderer Nutzung (Freizeit und Erholung) oft schwer zu klären. In diesem Sinne sind der Betrieb und die Überwachung der KKA als unsicher zu bewerten.

Entsprechend der aufgeführten Argumentation wird das Konzept „Innere Erschließung + dezentrale Kleinkläranlage“ aus der Betrachtung ausgeschlossen.

Das wasserlose Konzept „Chemietoilette“ wird in der Fachgemeinschaft übereinstimmend als ökologisch unvorteilhaft betrachtet. Insbesondere sind biozide Sanitärzusätze als bedenklich einzustufen, selbst im Fall der sachgerechten Entsorgung in einer kommunalen Kläranlage. Darüber hinaus ist gerade die sachgerechte Entsorgung bei diesem Konzept sehr schwer zu kontrollieren [Meister et al., 2004:21]. Aus den genannten Gründen werden Chemietoiletten in vielen Kleingartensatzungen verboten. Dieses Konzept wird daher aus der weiteren Analyse ebenfalls ausgeschlossen.

Die Grenzen der nachfolgenden Betrachtung umfassen somit folgende technische Konzepte zur Fäkalienentsorgung aus Kleingartenanlagen:

Konventionelle Konzepte:

1. **Kanalanschluss:** Innere Erschließung mit Anschluss an die öffentliche Kanalisation;
2. **Abflusslose Sammelgruben:** Sammlung der Fäkalien in abflusslosen Sammelgruben auf Kleingartenparzellen mit anschließender Abfuhr zur Kläranlage.

Konzepte mit Verwendung *Neuartiger Sanitärsysteme* (NASS):

3. **NASS + interne Verwertung:** Getrennte Erfassung der Teilströme Urin und Fäzes mittels Trockentrenntoiletten mit anschließender interner Behandlung und Verwertung im Kleingartenverein;
4. **NASS + zentrale Entsorgung:** Getrennte Erfassung der der Teilströme Urin und Fäzes mittels Trockentrenntoiletten mit anschließender zentraler Entsorgung (z.B. Kläranlage, zentrale Kompostierungsanlage).

2.2 Konzept „Kanalanschluss“

Das verfahrenstechnische Prinzip des Konzeptes „Kanalanschluss“ ist in der Abb.2 dargestellt. Der Anschluss einer Kleingartenanlage an die öffentliche Kanalisation bietet eine komfortable Lösung für die Entsorgung der entstehenden Abwässer. Hierbei werden anfallende Abwässer über den öffentlichen Kanal zu einer zentralen Kläranlage geleitet und dort entsprechend den gesetzlichen Anforderungen behandelt.

Hinsichtlich der technischen Möglichkeiten der Abwasserableitung von den Parzellen sind zwei Untervarianten des Konzeptes zu unterscheiden: Schwerkraftentwässerung und Druckentwässerung.

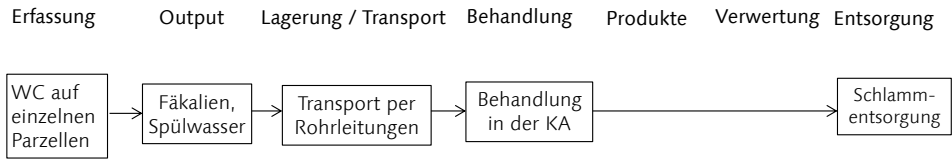


Abb.2: Konzept „Kanalanschluss“

Schwerkraftentwässerung

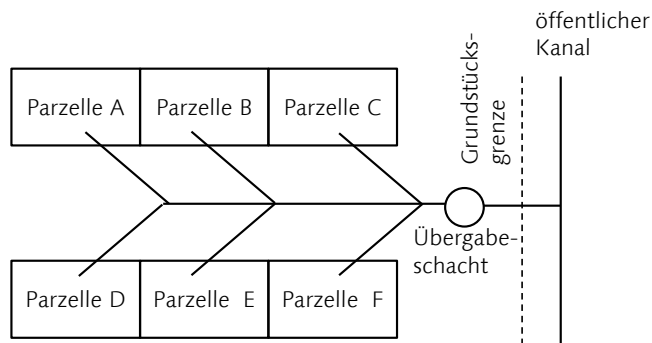


Abb.3: Kanalanschluss – Entwässerung im freien Gefälle, Prinzipskizze

Als innere Erschließung der Kleingartenanlage im Konzept „Kanalanschluss“ wird die Errichtung einer Grundstücksentwässerungsanlage (GEA) verstanden. Das innere Erschließungssystem wird in Einzelanschlussleitungen (Leitungen auf einzelnen Parzellen) und Sammelleitungen gegliedert (Abb.3). Bei einer Laubenausstattung, bestehend aus Handwaschbecken, Küchenspüle und Spültoilette (Spülvolumen 6 l, $Q=2$ l/s), ist zur Auslegung der Einzelanschlussleitung DN 80 (Mindestrohrdurchmesser nach DIN EN 12056-2) bis DN 100 empfohlen (Kommentare zur Dimensionierung der Einzelanschlussleitungen in [Alexeeva-Steiniger, 2012:A-2f.]). Bei einer Länge der Einzelanschlussleitungen von ≤ 30 m kann auf die Installation der Revisionsschächte bzw. der Revisionsöffnungen verzichtet werden. Im Fall der Verstopfung einer Parzellenleitung kann die Reinigung problemlos mit modernen Reinigungsgeräten über die Sanitäreinrichtungen (Toilettenstuhl) erfolgen. Bei Leitungslängen > 30 m empfiehlt sich zur besseren Instandhaltung die Installation eines Inspektionsschachtes (z.B. Kunststoff, DN 400) oder einer Revisionsöffnung auf der Parzelle.

Mit Verweis auf die Erfahrungen aus Entwässerungslösungen in ländlich strukturierten Gebieten [Rauchenberger, 2000] schlagen Barjenbruch & Wriege-Bechthold [2006:40f.] für Sammelleitungen der GEA in Kleingartenanlagen reduzierte Nennweiten (DN 150) vor. Je nach Größe der Kleingartenanlage können die Sammelleitungen mehrere hundert Meter betragen. Zur Inspektion und Wartung der Rohrleitungen sind in regelmäßigen Abständen Kontrollschächte zu installieren. Für den allgemeinen Verwendungsbereich der Grundstücksentwässerung sind nach DIN 1986-100 Tab.3 bei einer Einbautiefe unter 1,5 m nicht besteigbare Inspektionsöffnungen (Kontrollschächte) DN 300 bis DN 400 erlaubt. Die Kontrollschächte sollten an allen Endpunkten, Richtungsänderungen sowie beim Gefällewechsel eingebaut werden. Der in DIN 1986-100 empfohlene Schachtabstand von 40 m für Rohrleitungen DN 150 kann gemäß Barjenbruch & Wriege-Bechthold [2006] dank der Weiterentwicklung der Reinigungs- und Inspektionstechnik auf 80 bis 100 m vergrößert werden. Bei der Zusammenführung von mehreren Sammelleitungen oder einer Verlegetiefe > 1,5 m sind zur besseren Wartung und Kontrolle begehbare Schächte (z.B. gelegentlich besteigbare Schächte nach DIN EN 476, Einbautiefe bis 3 m, DN 800 bis DN 1.000) zu empfehlen. Der Übergabeschacht von Sammelleitung der Kleingartenanlage zum öffentlichen Kanal soll nach DIN 1986-100 ebenfalls als ein begehbare Schacht (DN 1.000) ausgeführt werden. Die empfohlenen Angaben über Schachtabstände und Schachtweiten sind im Einzelfall mit ortsansässigen Kanalinspektionsfirmen abzustimmen.

Mit der Voraussetzung einer vorliegenden Machbarkeitsstudie bezüglich der Standortstopografie kann das Ausheben des Grabens unter Umständen in Eigenleistung erfolgen. Die Grabentiefe richtet sich nach dem erforderlichen Kanalsohlengefälle. Bei ganzjährig betriebenen Kleingartenanlagen sollen die Rohrleitungen frostsicher (mind. 0,8 m Überdeckung) verlegt werden. Die Mindestbreite des Grabens berechnet sich in Abhängigkeit von der Nennweite sowie von der Grabentiefe (DIN EN 1610). Für Grabentiefen größer 1,0 m und kleiner 1,75 m beträgt die Mindestbreite unabhängig von der Rohrnennweite 0,8 m. Mit dem Verlegen der Rohrleitungen einschließlich der Herstellung der Bettung und der Verfüllung soll eine fachkundige Firma beauftragt werden. Diese Anforderung enthalten einige kommunale Abwassersatzungen als Voraussetzung für die Erteilung einer Genehmigung für Kanalanschluss.

Druckentwässerung

Beim Verfahren der Druckentwässerung (DE) handelt es sich um ein mittlerweile technisch ausgereiftes System zur Abwasserableitung [Rauchenberger, 2000]. Die Grundlagen zur Auslegung der Anlagenteile sowie ausführliche Hinweise zum Errichten, Betrieb und der Unterhaltung der DE-

Anlagen können der DIN EN 1671 sowie dem Arbeitsblatt DWA-A 116 Teile 2 bzw. 3 entnommen werden.

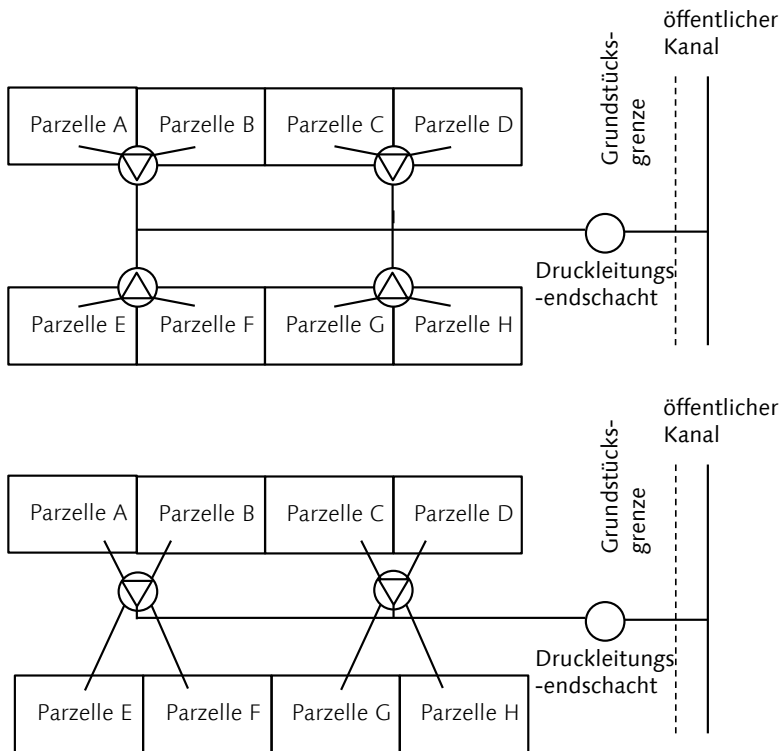


Abb. 4: Kanalanschluss – Druckentwässerung, Prinzipskizze

Ein Druckentwässerungssystem (DES) kann als ein Netzwerk aus mehreren kleinen Pumpstationen angesehen werden, die jeweils eine oder mehrere Parzellen entsorgen (siehe Abb. 4). Zu den Bestandteilen eines DES zählen:

- Freigefälleleitungen auf dem Grundstück bzw. den Grundstücken;
- Sammelraum;
- Druckerzeuger;
- Anschlussdruckleitungen;
- Sammeldruckleitungen;
- ggf. Zwischenpumpwerke und / oder Druckluftspülstationen.

Die Vorteile gegenüber der Freigefälleentwässerung sind vor allem:

- geländeunabhängiges Arbeiten – maßgeblich für die Verlegungstiefe ist ausschließlich die Frostsicherheit (falls erforderlich);
- kleinere Leitungsquerschnitte, grabenlose Verlegeverfahren (Einpfügen, Einfräsen) sind möglich;

- Pumpenhersteller bieten technisch ausgereifte, standardisierte Lösungen an (geringe Pumpkosten).

Die Auslegung der Freigefälleleitungen auf den Einzelparzellen bis zum Sammelraum erfolgt analog zu Einzelanschlussleitungen in der Variante mit Freispiegelentwässerung.

Die Sammelräume müssen sowohl wasserdicht (Dichtheitsnachweis gemäß DIN EN 1091) als auch auftriebssicher und mit Entlüftungseinrichtung versehen sein. Zur Vermeidung von Geruchsbelästigung wird eine Entlüftung über Dach empfohlen. In der Praxis haben sich erdeinbaufertige Kunststoffsystemschächte DN 900 aus PE-HD bzw. Betonschächte DN 1.000 für die DE gut bewährt [Rauchenberger, 2000]. Hier werden die Tauchmotorpumpe, das Kugelrückschlagventil, der Absperrschieber und die Anschlüsse für Wasser- oder Druckluftspülung untergebracht.

Die Dimensionierung der Sammeldruckleitungen erfolgt nach DWA-A 116-2: bei Tauchpumpen ohne Schneideinrichtung Mindestnennweiten DN 65, bei der Anwendung von Schneideradpumpen DN 32. Der hydraulischen Auslegung der Rohrleitungen ist besondere Sorgfalt zu schenken, da die Überdimensionierung der Leitungen zu längeren Aufenthaltszeiten des Abwassers im System führt. Gleichzeitig ist aufgrund der Kleingartennutzung zu bestimmten Stoßzeiten (Nachmittage, früher Abend) bzw. an bestimmten Tagen (vorwiegend an Wochenenden) mit Parallelbetrieb mehrerer Pumpen zu rechnen. Um große Durchmesser der Sammeldruckleitung zu vermeiden, kann hierzu eine ausgeklügelte Pumpensteuerung erforderlich sein.

An Ausleitungsstellen soll das turbulenzarme Austreten des Schmutzwassers durch spezielle bauliche Vorrichtungen (Druckleitungsendschacht gemäß ATV-DVWK-A 157) gewährleistet werden, um Geruchsentwicklung zu minimieren. Dennoch besteht an der Einleitungsstelle im öffentlichen Kanal ein erhöhtes Risiko für biogene Schwefelsäurekorrosion, insbesondere wenn die Verweilzeit des Schmutzwassers ohne Sauerstoffzufuhr 2 Stunden überschreitet.

Die Mindestfließgeschwindigkeit bei den Sammeldruckleitungen bis DN 100 soll 0,7 m/s nicht unterschreiten [DWA-A 116-2:13]. In Abschnitten, in denen die Mindestfließgeschwindigkeit nicht mit Sicherheit erreicht wird, oder wenn die Verweildauer des Abwassers in Druckleitungen 8 h überschreitet, ist die Unterstützung der Fließprozesse durch die Luftspülung zwingend. Gemäß Rauchenberger [2000] gilt als Faustregel, dass der gesamte Rohrinhalt mindestens zweimal am Tag ausgetauscht werden soll. Die Arbeit der Spülluftstation ist mit Lärmbelästigungen verbunden. Wenn kein ausreichender Abstand zur Bebauung eingehalten werden kann, sind Schallschutzmaßnahmen vorzunehmen.

In DWA-A 116-2 wird darauf hingewiesen, dass sich die Beschaffung, der Einbau, die Wartung und der Unterhalt der Schächte sowie Förderaggregate durch Entwässerungsbetriebe als zweckmäßig erwiesen haben. Rauchenberger [2000] betont ebenfalls, dass die Errichtung und der Unterhalt der Druckleitungssysteme durch die Anschlussnehmer in der Praxis schwer durchsetzbar und auch nicht zumutbar wären.

2.3 Konzept „Abflusslose Sammelgruben“

Das verfahrenstechnische Prinzip des Konzeptes „Abflusslose Sammelgruben“ ist in der Abb. 5 dargestellt.

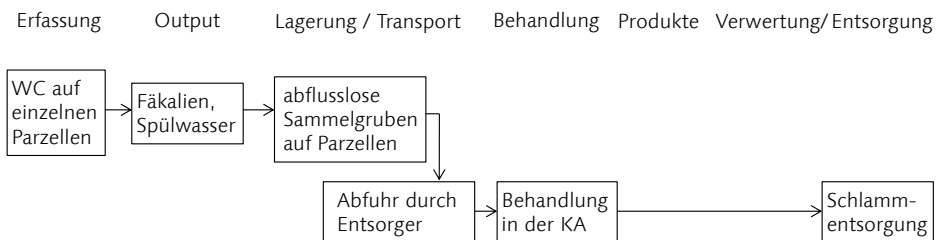


Abb. 5: Konzept „Abflusslose Sammelgruben“

Abflusslose Gruben sind Anlagen zur dezentralen Erfassung des Abwassers. Die Anforderungen an abflusslose Gruben werden auf Landesebene geregelt und beziehen sich vor allem auf die Dichtheit der Anlagen (z.B. §44 SächsBauO (2004), § 43 BauO LSA (2013), § 44 ThürBO (2014), § 42 HBauO (2014), § 45 BauO Bln (2011)). Der Dichtigkeitsnachweis erfolgt gemäß technischen Normen DIN 1986-30, DIN EN 12566-1 sowie ATV M 143-6.

Das Spektrum der auf dem Markt angebotenen Sammelgruben ist ausgesprochen breit. Die Auswahl bezieht sich in erster Linie auf die voraussichtliche Abwassermenge. Entsprechend den vorliegenden Bestandserfassungen [Barjenbruch & Wriege-Bechtold, 2006:21; Meister et al., 2004:11 f.] liegt der durchschnittliche Wasserverbrauch in Kleingärten zwischen 2 und 6 m³ pro Jahr. Ein höherer Wasserverbrauch ist i.d.R. mit der Nutzung eines Swimmingpools verbunden. Aus diesen Überlegungen erscheinen vor allem kleinere Sammelgruben mit dem Fassungsvermögen von 2 bis 3 m³ für die Anwendung im Kleingarten geeignet zu sein.

Die wichtigste Voraussetzung für die Realisierbarkeit des Konzeptes „Abflusslose Sammelgruben“ ist die **Gewährleistung der Zugänglichkeit des Grundstücks** für den Transport der Sammelgrube (insbesondere bei Betonbehältern) sowie für die Abfuhr des Grubeninhaltes. In der Tab. 1 sind die Anforderungen an die Zugänglichkeit verschiedener Sammelgrubentypen zusammengefasst.

Tab. 1: Anforderungen an die Zugänglichkeit für verschiedene Sammelgruben

| Ringbauweise | Betonbehälter | Kunststoffbehälter |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| | Monolithische Bauweise | |
| Mittlere Anforderungen: Versetzen der Beton-ringe über kurze Strecken mit Bagger | Hohe Anforderungen: Anlieferung zur Baustelle mit LKW inkl. hydraulischen Lade- kran; befestigte, ungehinderte Zufahrt (mind. 3,7 m); zum Abstützen der Kraneinrichtung ca. 5,25 m | Geringe Anforderungen: Versetzen „von Hand“ möglich; kein Kran erforderlich |

Die Kunststoffsammelgruben bieten Vorteile wie einfacher Transport, schneller Einbau ohne Kraneinsatz bei ausreichender Standsicherheit und Formstabilität. Auch aus Sicht des guten Korrosionsverhaltens ist Kunststoff zu bevorzugen. Aus Gründen der Auftriebssicherheit und der Verformbarkeit sind bei der Auswahl der Modelle (Kunststoff wie Beton) immer die am Standort vorherrschenden **Grundwasserverhältnisse** (der maximale Grundwasserstand) zu berücksichtigen.

Die Tiefe der Baugrube richtet sich nach den Abmessungen des Behälters (Höhe einschl. des Schachtdoms) und der erforderlichen Überdeckung. Die erforderliche Überdeckung wird durch die zu erwartende Belastung (begehrbar / befahrbar), die Anforderungen der Frostsicherheit und den maximalen Grundwasserstand bestimmt. Falls die Frostsicherheit nicht gefordert ist (kein Winterbetrieb), wird für erdverlegte Rohrleitungen als Mindestmaß die Erdüberdeckung von 25 cm zum Schutz bei der Gartenarbeit empfohlen [URL-1].

Bei der Herstellung der Baugrube in Eigenleistung sollen der ordnungsgemäße Zustand der Baugrube und der Bettung sowie der ordnungsgemäße Einbau von einem Sachkundigen geprüft und bescheinigt werden. Bei Baugruben mit Tiefe > 1,75 m in „stichfesten“ Böden bzw. > 1,25 m in lockeren Böden sind Böschungen nach DIN 4124 anzulegen und Arbeitsraum von mindestens 0,5 m vorzusehen (zusätzlicher Erdaushub). Der Abstand der Baugrube von Bauwerken soll i.d.R. 1,2 m nicht unterschreiten. Vor dem Einbau ist die Dichtheit des Behälters von einem Sachkundigen nachzuweisen und zu bescheinigen. **Beim Einbau der Kunststoffsammelgruben eignet sich der Erdaushub nicht zur Verfüllung!** Hierzu ist ein spezielles Verfüllungsmaterial (Rundkornkiese, frei von spitzen Gegenständen, Körnungen je nach Hersteller 8/16 mm bis 0/32 mm) zu verwenden.

Die Entsorgung der Sammelgruben erfolgt durch den Abtransport des Grubeninhaltes mittels Saugfahrzeugen des lokalen Abwasserentsorgers. Die Modalitäten der Entsorgung sind bereits im Vorfeld mit dem lokalen

Abwasserentsorger abzustimmen. Beispielsweise werden in Braunschweig per Satzung nur die zentralen Sammelgruben entsorgt, die Entsorgung der Sammelgruben von Einzelparzellen erfolgt in Eigenleistung in einen definierten Übergabeschacht. Für die Entsorgung ist eine Gebühr an den Entsorger zu entrichten. Anhand der Entsorgungsnachweise oder Rechnungen der Entsorger kann die sachgemäße Entsorgung kontrolliert werden.

2.4 Konzept „NASS – interne Verwertung“

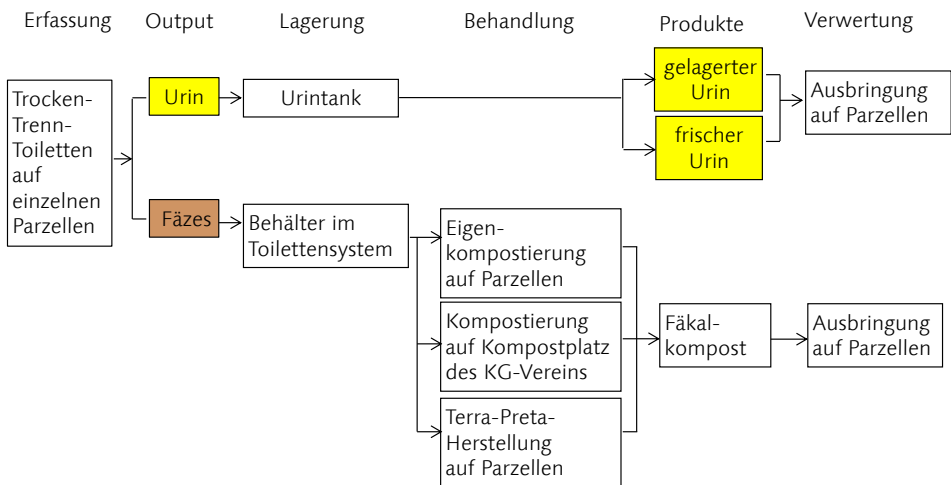


Abb. 6: Konzept „NASS - interne Verwertung“

Die schematische Darstellung des Konzeptes zur Behandlung und stofflichen Verwertung getrennt gesammelter Fäkalien vor Ort ist der Abb. 6 zu entnehmen. Das Konzept „NASS – interne Verwertung“ wird aus Sicht des BKleingG als prioritär betrachtet [Mainczyk, 2010, §3 Rn. 10a; Dams, 2007:59 f.; Kleist, 2007:78f.]. Zur Beurteilung dieses Konzeptes liegen jedoch relativ wenig abgesicherte Wissensbestände vor. Daher wird es im Folgenden nach einzelnen Komponenten ausführlich beschrieben.

2.4.1 Erfassung

Die Erfassung der Fäkalien erfolgt in diesem Konzept wasserlos. Dabei kann zwischen Trockentoiletten (TC) mit gemeinsamer Erfassung von Urin und Fäzes (mit oder ohne Urindrainierung) und Trockentoiletten mit getrennter Erfassung von Urin und Fäzes, den Trockentrenntoiletten (TTC), differenziert werden (vgl. Abb. 7).

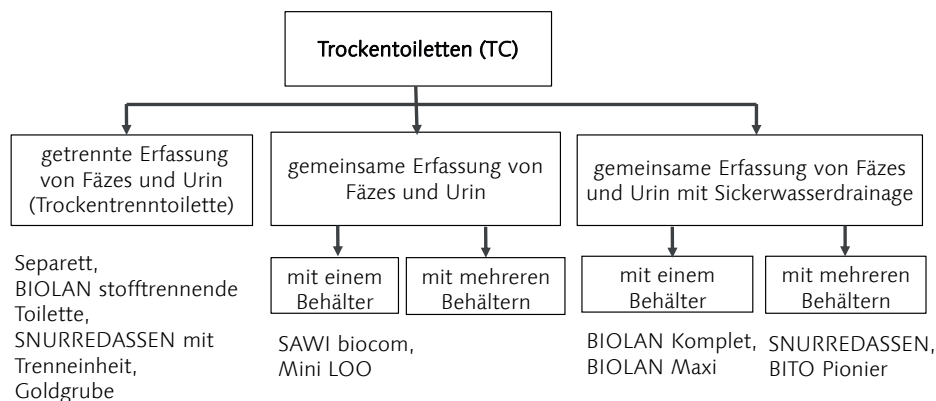


Abb. 7: Systematisierung der Trockentoilettensysteme mit Modellbeispielen

Die Besonderheit Toilettennutzung im Kleingarten besteht darin, dass hier hauptsächlich Urin anfällt [Naudascher, 2001, eigene Untersuchungen]. Die gemeinsame Erfassung von Urin und Fäzes hat einen hohen Wassergehalt des Substratgemisches zur Folge. Unter diesen Bedingungen entwickeln sich anaerobe Verhältnisse im Sammelbehälter, die zur Bildung von organischen Säuren und Schwefelwasserstoff führen. Dies sind bekannte Verursacher der Geruchsproblematik, die wiederum zum Fliegenbefall führt [siehe Literaturreview bei Naudascher, 2001:43f.]. Für die Reduzierung des Wassergehaltes des Urin-Fäzes-Gemisches sind mehrere Möglichkeiten gegeben. Entweder ist die Zugabe bedeutender Mengen an Zuschlagstoffen (Rindenschrot, Sägespäne) zum Urin-Fäzes-Gemisch erforderlich. Hierbei wird neben der Regulierung des Wassergehaltes eine für anschließende Kompostierung günstige Struktur des Haufwerkes erreicht. Oder der Urin kann als Sickerflüssigkeit aufgefangen werden (urindrainierende Toiletten). Durch Kontakt mit Fäzes wird der Urin jedoch mit Keimen (auch pathogenen) angereichert. Somit steigt das hygienische Risiko bei seiner Verwertung als Dünger. Eine dritte Möglichkeit bietet die getrennte Erfassung beider Substrate mittels **urinseparierender Trockentrenntoiletten**.

Die ausführliche Beschreibung verschiedener Modelle der Trockentrenntoiletten sowie Hinweise zum Einbau und Betrieb sind in Berger [2008 a] sowie bei Herstellern bzw. Vertreibern entsprechender Produkte zu finden.¹ Die getrennte Erfassung führt dazu, dass der Urin (ordnungsgemäße Nutzung des Toilettensitzes vorausgesetzt) nicht in Berührung mit Fäzes kommt und

¹ z.B. www.separett.de; www.berger-biotechnik.de; www.oeko-energie.de; www.vivaverde.de; www.wasserkontor.de; www.naturbauhof.de u.a.m.

keimarm bleibt. Dies ist bei der Nutzung des Urins als Dünger von Vorteil. Weiterhin wird die Konsistenz der Fäzes nicht verflüssigt. Der Verbrauch an Zuschlagstoffen ist sehr niedrig und dient vor allem der Einstellung des C/N-Verhältnisses für die Kompostierung. Durch die Trennung der Teilströme ist die Geruchsbildung von vornherein reduziert, da die Ammoniakausgasung effektiv verhindert wird (geschlossener Urintank).

Zur Vorbeugung der Geruchsentwicklung und der Fliegenproblematik ist weiterhin eine Entlüftung des Toilettensystems zu empfehlen. Diese kann passiv (Kamineffekt) oder aktiv (mit Windrad oder Ventilator) gestaltet werden. Die Effektivität einer passiven Entlüftung ist überprüfungswürdig. Der kontinuierlich betriebene Ventilator als aktive Entlüftung erzeugt einen Unterdruck im Toilettenbehälter und vermeidet nachweislich (Herstellerangaben, eigene Erfahrungen, Nutzerbefragung) das Entweichen der Gerüche, die Insekten anlocken.

Aus oben aufgeführten Gründen erscheinen urinseparierende Trockentrenntoiletten als Erfassungssystem für wasserlose Entsorgungskonzepte im kleingärtnerische Bereich besser geeignet.

Zu beachten ist jedenfalls, dass Trockentoiletten allgemein keine Kompost-toiletten sind. Die Untersuchungen von Naudascher [2001:172] zur Vor-kompostierung der Fäzes in Kleinkammertrockentoiletten ergaben, dass unab-hängig von der Art und Menge der Zuschlagstoffe und der Nutzungsfrequenz der Trockentoilette innerhalb der maximal möglichen Lagerungsdauer von 3 bis 4 Monaten keine vollständige Kompostierung der Fäzes in Sammelbehältern gewährleistet werden kann. Bei der Überprüfung der Selbsterhitzung gemäß den Anforderungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. wiesen die Fäzeskomposte in Versuchen von Naudascher den Rottegrad I bis II auf und sind dementsprechend als Frischkomposte zu bezeichnen. **Zum Erreichen der Stabilisierung bezüglich C-Abbau sowie der Hygienisierung ist die Nachkompostierung unabdingbar.**

2.4.2 Behandlung

Die getrennt erfassten Fäzes und Urin werden separat behandelt. Im Folgenden werden die Behandlungsmöglichkeiten näher erläutert.

Kompostierung

Das Prinzip der Kompostierung als Verfahren der aeroben Umsetzung biogener Reststoffe ist in der einschlägigen Literatur mehrfach beschrieben [z.B. Gottschall, 1992; Ottow, Bidlingmaier, 1997, Bidlingsmaier, 2008]. Die wichtigsten Randbedingungen der Kompostierung bilden ausreichende Sauerstoffversorgung, optimaler Wassergehalt und ein ausgewogenes C/N-

Verhältnis. Bei der Fäkalienkompostierung wird der Wassergehalt von 40 bis 50 Gew.-% als optimal angegeben. Dies entspricht einem Luftporenvolumen von ca. 30 %. Bei einem Wassergehalt < 25 % ist der Stoffwechsel kaum möglich, da Bakterien die Nahrung nur in aufgelöster Form aufnehmen. Die höchsten Abbauraten wurden bei C/N-Verhältnissen zwischen 20 und 30 festgestellt [Bidingmaier, 2008:33 ff.].

Ein Überblick über verschiedene Zuschlagstoffe bei der Fäkalienkompostierung und ihre Auswirkung auf den Rotteprozess ist in Berger [2008:43] zu finden. Laut Naudascher [2001:189] wäre eine ausgewogene Mischung aus groben und feineren Stoffen (eine bis zwei Handvoll nach jeder Toilettenbenutzung) für erfolgreiche Fäzeskompostierung optimal. Die Zugabe von groben Zuschlagstoffen (Rindenschrot, Hobelspäne) hat ihren primären Zweck im Aufbau stabiler poröser Struktur und begünstigt die Sauerstoffversorgung des Kompostwerkes. Feinkörnige Materialien (z.B. Strohmehl, Toilettenpapier) saugen die Flüssigkeit auf und erhöhen das C/N-Verhältnis von Fäzes (Beschleunigung des Stabilisierungsprozesses).

Kaltrotte

Als typisches Verfahren für die Nachkompostierung der Fäzes im eigenen Garten gilt die langsame Rotte, auch Kaltrotte genannt. Für die Fäkalienkompostierung sind geschlossene Komposter zu wählen. Die offenen Varianten – Mieten oder Kompostsilos – sind hinsichtlich der Vernässung durch Niederschläge und vor allem hinsichtlich schädlicher Umwelteinwirkungen (Verschleppung des seuchenrelevanten Materials durch Tiere oder Verwehungen, Auswaschen ins Erdreich) nachteilig.

Heißkompostierung

Im Gegensatz zur Kaltrotte kommt es bei der Heißkompostierung infolge rascher biologischer exothermer Abbauprozesse zur Selbsterhitzung des Materials auf 50 bis 70° C. Nach Angaben von Berger [2008:39] ist die Heißkompostierung erst ab 1 m³ Material durchführbar. Im Folgenden wird der Ablauf der Heißkompostierung getrennt erfasster Fäzes gemäß Erfahrungen des Ökozentrums *ecovia* (Schweiz) beschrieben [URL-2].

Die Fäkalien werden im Komposter zwischengelagert, bis die Mindestmenge von 0,5 m³ erreicht wird. Die Thermophase soll bei Außentemperaturen > 15°C durchgeführt werden. Für die bequeme Umschichtung des Materials während der Kompostierung sind zwei Komposter von Vorteil. Zum Beginn der Thermophase werden die Fäzes mit einem frischen, C-reichen Substrat (z.B. frischer Grasschnitt) und eventuell 5 kg gelöstem Industriezucker vermengt. Die Menge von Zuschlagstoffen soll ca. 1/3 der gesamten Kompostiermasse betragen. Die Schichtung ist der Abb. 8 zu entnehmen. Nach 6 Tagen wird die Kompost-

masse zum ersten Mal umgesetzt, indem die obere Schicht der Zuschlagstoffe auf eine neue Häckselschicht und darauf der Rest, gut vermischt, aufgetragen wird. Nach weiteren 20 Tagen erfolgt die 2. Umsetzung unter der Zugabe von 5% Erde. Nach weiteren 2 bis 3 Monaten wird die Kompostmasse zum letzten Mal umgesetzt. Die heiß kompostierte Masse soll danach für 1 Jahr nachkompostiert werden.

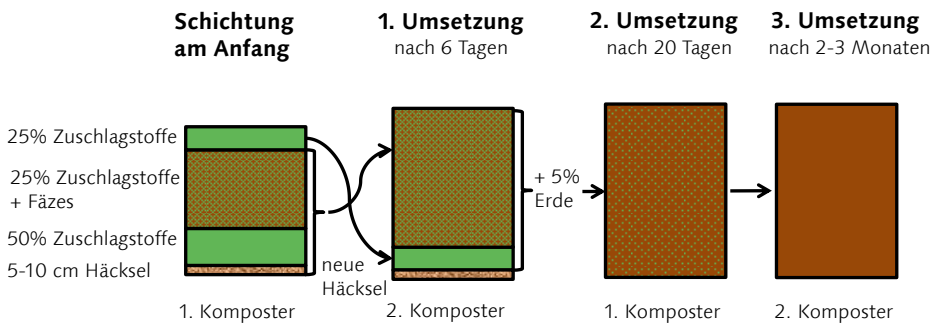


Abb. 8: Heißkompostierung der Fäkalien in Kleinmengen (Eigene Darstellung nach www.ecovia.ch)

Wurmkompostierung

Die Wurmkompostierung ist eine aerobe Behandlung der organischen Substrate mit der Beteiligung von Erdwürmern. Hier bewegt sich die Temperatur entsprechend der Physiologie der Erdwürmer im mesophilen Bereich, ähnlich wie bei der Kalten Rotte. Für mäßige Klimabedingungen, die in Deutschland vorherrschen, eignet sich als Kompostwurm vor allem *Eisenia foetida*. Diese Art ist auch auf natürliche Weise in Deutschland beheimatet. Sie toleriert einen breiten Temperaturbereich zwischen 0 und 35° C, wobei Wachstum und Fortpflanzung bei Temperaturen unter 10° C nahezu eingestellt werden. *Eisenia foetida* erträgt auch einen breiten pH-Bereich zwischen 4,0 und 9,0 und toleriert Wassergehalte zwischen 50 % und 90 % [Edwards et al., 1984].

Bis dato sind in der Literatur nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen zur Wurmkompostierung menschlicher Fäzes zu finden [Buzie-Fru, 2010; Shalabi, 2006; Simons et al., 2005].

In Untersuchungen von Buzie-Fru stellte sich ein Wassergehalt von 70 % als optimal heraus. Bei diesem Wassergehalt wurden die höchsten Abbauraten (34,7 % oTR-Reduktion bzw. 57,8 % TOC-Reduktion nach 100 d) festgestellt [Buzie-Fru, 2010:111]. Bei Wassergehalten über 85 % ist dagegen die Unterversorgung der Würmer mit Sauerstoff zu befürchten. Zugleich bilden sich bei diesen Wassergehalten im Kompostkörper anaerobe Zonen, in denen es

durch die Bildung organischer Säuren zum pH-Abfall kommen kann [Shalabi, 2006:128].

In der Literatur finden sich Angaben zur hohen Empfindlichkeit der Kompostwürmer gegenüber dem Ammoniak- und Salzgehalten in Substraten. Bereits die niedrigen Konzentrationen von Ammoniak ($< 1 \text{ mg/g}$) und von organischen wasserlöslichen Salzen ($< 0,5 \%$) können für *Eisenia foetida* toxisch sein [Dominguez & Edwards, 2004, zit. in Buzie-Fru, 2010:29]. In eigenen Versuchen zur Fäzeswurmkompostierung hat Buzie-Fru jedoch die Salzgehalte zwischen 3 und 8 g/kg TS im frischen Substrat (bzw. 13 bis 24 g/kg TS nach 95 d Kompostierung) als nicht toxisch für *Eisenia foetida* identifiziert [Buzie-Fru, 2010:48]. Allerdings bedürfen die hohen Salzgehalte im Substrat einer Adaptation der Kompostwürmer. Bei der Einbringung von nicht adaptierten Kompostwürmern auf das frische Fäzessubstrat mit einer Leitfähigkeit von ca. 2,8 mS/cm und einem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt von $> 1 \text{ mg/g}$ wurde schon nach 2 Stunden eine 100 %-ige Mortalität der Würmer festgestellt. Zur Adaptation benutzte Buzie-Fru ein Gemisch aus geschreddertem Stroh und reifem Wurmkompost (2 : 3), auf das die Kompostwürmer und eine geringe Menge Fäzes aufgebracht wurden. Die Schicht aus Stroh/Wurmkompost konnte durch Würmer zum Rückziehen genutzt werden. Nach 3 Tagen migrierten die Würmer dicht unter die Oberfläche und nach wenigen Tagen wurde der gesamte Reaktorraum von Würmern besetzt [Buzie-Fru, 2010:38].

Bei der Beschickung ist darauf zu achten, dass es durch zu große Zugabemengen nicht zu einer Hitzeentwicklung kommt ($T > 35^\circ\text{C}$ ist tödlich für *Eisenia foetida*). Als Richtwert für die erforderliche Wurmdichte kann aus Versuchen von Buzie-Fru [2010:81] 2,33 kg/10 kg FM abgeleitet werden.

Buzie-Fru [2010] und Shalabi [2006] untersuchten weiterhin die stabilisierende Wirkung der Wurmkompostierung. Unter Heranziehung der Anforderungen von United States Environmental Protection Agency (USEPA) in Bezug auf stabilisierte Fertigkomposte – oTR- Abbau $\geq 38 \%$ - konnte festgestellt werden, dass nach 100 bis 140 Tagen Wurmkompostierung die geforderte oTR-Reduktion selbst bei hohen Wurmdichten nicht sicher erreicht werden kann. Da der Kompostierungsprozess unter realen Bedingungen im Kleingarten nicht durch Messungen kontrolliert wird, ist aus Sicht der Stabilisierung die Dauer der Wurmkompostierung von 6 Monaten nicht zu unterschreiten.

Tab. 2: Übersicht zu oTR-Reduktionsraten in Versuchen zu Wurmkompostierung menschlicher Fäzes, eigene Zusammenfassung der Literaturwerte

| Autor | Versuchs- dauer | oTR-Reduktion | |
|----------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------|
| | | Kompost | Wurmkompost |
| Buzie-Fru [2010] | 100 d | 14,7 % ¹⁾ | 22,0 % - 34,7 % ²⁾ |
| Shalabi [2006] | 140 d | 5,0 % - 10,0 % | 15,0 % - 40,0 % ³⁾ |
| Simons et al. [2005] | 56 d | k.A. | 5,4 % - 6,4 % ⁴⁾ |

1) WG 65%

2) WG 65 % bzw. 75 % (min-Wert), WG 70% (max-Wert), 25°C, *Eisenia foetida*, Wurmdichte 2,3 kg Wurm/m²

3) 25°C, *Eisenia foetida*, Wurmdichte 1000 bzw. 2000 Würmer/40 kg Substrat-FM (min-Wert), 3000 Würmer/40 kg Substrat-FM (max-Wert)

4) *Eisenia foetida* (min-Wert), *Eisenia hortensis* (max-Wert), WG 60 %, 20-25°C, Wurmdichte 0,15 kg Wurm /9 kg Substrat (Kompost und Filtersackinhalt nach 1-jähriger Lagerung 1:1)

Terra Preta

Die sich als Terra Preta bezeichnenden Behandlungsverfahren der biogenen Reststoffe beziehen sich auf die in Zentral-Amazonien entdeckten humusreichen „Schwarzerden“ (*Terra Preta de indigo*). Zahlreiche Studien haben sich damit beschäftigt, aus der Zusammensetzung der Terra Preta-Erden das Verfahren ihrer Herstellung abzuleiten [z.B. Glaser, 1999, Lehmann et al., 2003, Lehmann et al., 2004; Steiner et al., 2004]. Obgleich die Frage der Herstellung der Amazonas-Schwarzerden nicht endgültig beantwortet ist, sind aus den (zum Teil widersprüchlichen) Erkenntnissen wissenschaftlicher Untersuchungen und praktischer Versuche zwei Behandlungsverfahren entstanden:

- Biocharskompost – Zugabe von Biokohle (Biochars) zu organischen Substraten vor oder nach der Kompostierung und
- Terra Preta-Herstellung.

Für die Behandlung von rohen Fäkalien kommt nur das zweite der beiden Verfahren in Frage, welches im Folgenden näher betrachtet wird.

Die Terra Preta-Herstellung umfasst drei Phasen: Erfassung, Laktosefermentation und Nachkompostierung (auch Vererdung genannt).

Bei der Erfassung der Fäkalien bzw. anderer organischer Substrate für die Terra Preta-Herstellung werden verschiedene Zusätze (Biochars, Gesteinsmehl, Tonmineralien) dem Substrat beigemischt. Insbesondere die Zugabe von Biochars stellt ein charakteristisches Merkmal der Terra Preta-Herstellung dar. Vermutlich werden durch die mikroporöse Struktur von Biochars die Bildung des aggregatstabilen Humus gefördert, die Feldkapazität des Bodens verbessert

sowie die mikrobielle Besiedlung des Bodens durch Bakterien, Pilze und Protozoen begünstigt. In einer Reihe von Feldversuchen konnte die positive Wirkung der Biochars auf die Erhöhung der Kationenaustauschkapazität beobachtet werden, die mit der Pflanzenversorgung mit Mikroelementen im Zusammenhang steht [Schmidt, 2011; Zimmermann, 2010].

Generell erscheint die Zugabe von Biochars vor allem bei nährstoffarmen, stark verdichteten oder degradierten Böden als sinnvoll. Bei Böden, die reich an organischem Kohlenstoff sind, bringt die Zugabe von Biochars dagegen kaum eine signifikante Verbesserung [Literaturreview bei Kammann, 2010:48; Glaser, 2011]. Die ertragssteigernde Wirkung der Biochars wird insbesondere auf die mikrobielle Besiedlung der „alternden Biokohle“ zurückgeführt [Kammann, 2010:47]. Zur Besiedlung der Biokohle bzw. ihrer Beladung mit Nährstoffen soll die Vermischung mit den Substraten vor der Kompostierung bzw. vor der Laktosefermentation erfolgen.

Laktosefermentation: Unter Abschluss von Sauerstoff beginnt automatisch die anaerobe Hydrolyse von leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen. Die Produkte der Hydrolyse (mehrheitlich organische Säuren) führen zur pH-Wert-Absenkung. Bei pH-Werten $< 5,0$ ergeben sich optimale Bedingungen für die Entwicklung von *Lactobazillen* (Milchsäurebakterien). Die eigentliche Laktosefermentation wird eingeleitet. Zur Ankurbelung dieses Prozesses kann die natürliche Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation durch die Zugabe von speziell selektierten und gezüchteten Mikroorganismen (z.B. Effektiven Mikroorganismen – EM) beeinflusst werden. Als kostengünstigere Alternative zu kommerziell vertriebenen EM wird in der Literatur Sauerkrautsaft vorgeschlagen, in dem die Milchsäurebakterien auf natürliche Art akkumuliert sind [Factura et al., 2010]. Die fortwährende Milchsäureproduktion soll zum anhaltenden pH-Wert-Abfall führen, bis sich im pH-Bereich zwischen 3,4 und 4,2 jegliche mikrobiologische Aktivität einstellt [Asling, 2002:716 ff.]. In dieser konservierten Form kann fermentiertes Substrat über längere Zeiträume ohne nennenswerte C-Verluste gelagert werden, bis die letzte Phase des Terra Preta-Prozesses eingeleitet wird.

Durch die Laktosefermentation werden erreicht:

- zwischenzeitliche Konservierung des organischen Substrates;
- Aufspaltung der organischen Materie und die Bildung des schnell verfügbaren Humus;
- Überführung organisch gebundener Nährstoffe und Mikroelemente in pflanzenverfügbare Form sowie
- Reduzierung der Krankheitserreger im Substrat.

Zum Monitoring des Fermentationsprozesses wird üblicherweise der pH-Wert herangezogen [Scheinemann, Krüger, 2010:51 f., Factura et al. 2010:2677].

Gemäß DLG-Bewertungsschlüssel für Futtersilagen ist außer dem pH-Wert die Bildung unerwünschter Abbauprodukte – der Butter- und Essigsäure – zu beachten. Hiernach wird eine gute Qualität der Silierung erreicht, wenn Buttersäure² 0 bis 0,4 % TM und Essigsäure³ 0 bis 3 % TM nicht überschreiten. Mit steigenden Gehalten an Butter- und Essigsäure nimmt die Silagequalität ab [DLG, 2006:2f.]. Die Parameter zur Bewertung der Qualität der Laktosefermentation beim Tera Preta-Prozess sind bis jetzt der Gegenstand der Forschung.

In Labor- und Feldversuchen zur Herstellung von Terra Preta aus tierischen Exkrementen von Scheinemann & Krüger [2010:49 f.] konnte selbst bei kontrollierten Bedingungen die prioritäre Bildung der Milchsäure nicht stabil gehalten werden. Insbesondere in Feldversuchen bei wechselnden Witterungsbedingungen dominierte die Produktion der Essig- bzw. Buttersäure. Die Zugabe von leicht verfügbaren organischen C-Quellen und stabile Temperaturen begünstigen die Milchsäureproduktion. Die fördernde Wirkung von EM für die Fermentation (Beurteilung anhand der Säuremuster bzw. der pH-Wert-Dynamik) wurde in Versuchen von Scheinemann & Krüger [2010:48 ff.] nicht eindeutig bestätigt. Der wissenschaftlich fundierte Beweis der Wirksamkeit des Sauerkrautsaftes steht ebenfalls aus [Factura et al., 2010].

Die abschließende Phase der Terra Preta-Herstellung – **die Nachkompostierung** – kann auf verschiedene Weise umgesetzt werden: Aufbringung auf einen Komposthaufen, auf eine Anbaufläche oder im gleichen Fermentationsbehälter (aber geöffnet), jeweils mit oder ohne Zugabe von Kompostwürmern.

Die ersten Versuche zur Terra Preta-Herstellung aus menschlichen Fäkalien an der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) haben gezeigt, dass sich die Wurmkompostierung nach der Laktosefermentation schwierig gestaltet. Der niedrige pH-Wert, der hohe Wassergehalt, anaerobe Verhältnisse und der hohe NH_3 -Gehalt nach der Fermentation wirken toxisch auf Kompostwürmer. In Versuchen von Factura [2010:2678] betrug die Mortalität der Kompostwürmer nach 24 Stunden nahezu 100 %. Als Verbesserung wird vorgeschlagen, fermentierte Fäkalien in dünnen Schichten auf Kompost aufzubringen, so dass die Durchlüftung und die Trocknung des fermentierten Substrats ermöglicht werden. Erst später können die Würmer zugegeben werden bzw. sie wandern aus tieferen Kompostschichten zu. Zur pH-Wert-Anhebung nach der Fermentation kann $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -haltiges Gesteinsmehl

² Buttersäuregehalt = Summe aus i-Buttersäure, n-Buttersäure, i-Valeriansäure, n-Valeriansäure, n-Caprinsäure [DLG, 2006].

³ Essigsäuregehalt = Essigsäure + Propionsäure [DLG, 2006].

zugegeben werden: In Feldversuchen von Scheinemann & Krüger [2010:17] betrug die Zugabemenge ca. 1,5 kg / m².

2.4.3 Verwertung

Verwertung des unbehandelten Urins als Dünger

Dieses Kapitel beschreibt den Stand des Wissens zur Düngewirkung des unbehandelten Urins. Weiterhin werden hier die Empfehlungen für die Urinnutzung als Dünger im Kleingarten abgeleitet.

Die Verwendung des menschlichen Urins als Dünger wurde ausführlich anhand der Topf- und Feldversuche am Institut für Pflanzenernährung der Universität Bonn untersucht. Die Düngewirkung wurde zum einen anhand des Ertrages und zum anderen anhand des N-Entzuges durch Pflanzen bewertet. Es konnte gezeigt werden, dass die Düngewirkung von Urin (gelagert, pH-Wert 9 oder angesäuert) im Vergleich zum Kalkammonsalpeter bei Winterweizen und Gerste gleich hoch, bei Welschem Weidelgras sogar geringfügig höher ist [Simons et al., 2003:69, Simons, 2008, Kapitel 4]. Gegenüber der Gülledüngung zeichnet sich die Urindüngung durch niedrigere N-Verluste bei der Aufbringung aus: 32,5 % bei der Gülleapplizierung; 5,8 % bei der Urindüngung [Simons, 2008:72;]. In Topfversuchen von Kirchmann & Pettersson [1995: 152] lagen die N-Verluste durch Ausgasung zwischen 6 und 7 %. Diese Verluste können durch spezielle Applikationstechniken, geeignete Ausbringungszeit (früher Morgen, später Abend, windstille Witterung, kühler Tag) und vor allem durch die Ansäuerung des Urins weiter reduziert werden. Die Ansäuerung des Urins bringt zusätzliche Vorteile hinsichtlich der Beeinflussung des Boden-pH-Werts. Die Säure verbraucht die Pufferkapazität des Urins im Vorfeld, so dass trotz der Urinapplikation die Wasserstoffionen in der Bodenlösung nicht gebunden werden. Der pH-Wert des Bodens bleibt stabil [Simons, 2008:83].

Zu berücksichtigen ist, dass bei der Urindüngung Salze in den Boden eingetragen werden. Aus diesem Grund ist die Urindüngung für salzempfindliche Pflanzenarten (z.B. Kartoffeln, viele Obstsorten) nicht zu empfehlen [Simons et al., 2003:70].

Die Urinapplikation im Kleingarten kann mit einer Gießkanne (Verdünnung 1:5 bis 1:7 mit Wasser) oder mit einem Ejektortank erfolgen. Hierzu wird der Urin beim Anschließen des Ejektortanks an eine Wasserleitung (Mindestdruck 2,5 bar) nach dem Prinzip der Wasserstrahlpumpe angesaugt, verdünnt und versprüht [Separett, URL-3].

Verwertung Fäzeskomposte im Kleingarten

Unabhängig von der Behandlungsmethode ist es wichtig, dass vor der Ausbringung der Fäzeskomposte die Stabilisierung des organischen Materials vollständig abgeschlossen ist. Unreife Komposte verursachen aufgrund des nicht vollendeten C-Abbaus eine anhaltend hohe Sauerstoffzehrung. Durch den Sauerstoffentzug aus der Bodenluft entstehen anoxische oder anaerobe Verhältnisse im Boden. Unter diesen Bedingungen werden reduzierte Verbindungen wie H_2S oder NO_2^- produziert. Beide Verbindungen üben unter anderem eine phytotoxische Wirkung aus. Weiterhin enthalten unreife Komposte Ammoniak, der in Mengen $> 0,1 \mu\text{g NH}_3\text{-N/g TS}$ die Pflanzenwurzeln schädigen kann. Doch die Hauptursache der Phytotoxizität unreifer Komposte lässt sich auf hohe Anteile an organischen Säuren als Zwischenprodukte des C-Abbaus zurückführen. Sie sind für die Verlangsamung des Keimungsprozesses, die Beeinträchtigung der Wurzelbildung und die allgemeine Wachstumsdepression, ausgedrückt in niedrigen Biomasseerträgen, verantwortlich [Mathur et al., 1993:69].

Es wird eine 2-jährige Kaltkompostierung empfohlen, bevor der Fäzeskompost, mit Erde im Volumenverhältnis 1:2 vermengt, zu Düngezwecken verwendet wird. In Versuchen von Simons et al. [2005:113] wurden bei 2-jährigen Fäkalkomposten anhand des Kressekeimtests sowie des Keimtests mit Tomatensamen (entsprechend der BioAbfV) gute phytohygienische Produkteigenschaften nachgewiesen.

Des Weiteren können hohe Salzgehalte, insbesondere bei Komposten aus nicht urinseparierenden Trockentoiletten, keimhemmend wirken. Bei Komposten aus urinseparierenden Trockentoiletten wird die Salzanreicherung durch die separate Urinerfassung vorgebeugt [Kalkoffen, 1998, Rohrer, 1998, zit. in Naudascher, 2001:39 f.]. Die eventuell erhöhten Salzgehalte können durch die Vermengung mit Mutterboden im Verhältnis 1:10 relativiert werden [Berger, zit. in: Naudascher, 2001:40].

Bei der Kompostierung wird der Gehalt an organischen Stoffen im Fäkalkompost um 40 bis 70 % reduziert. In gleicher Größenordnung verringert sich auch der Stickstoffgehalt. Der Reststickstoff liegt überwiegend (zu ca. 90 %) in organisch gebundener Form vor, so dass er erst im Zuge des weiteren biologischen Abbaus für die Pflanzen verfügbar wird (Langsamdünger). Daher stehen bei der Verwertung von Fäkalkomposten vor allem Phosphor, Kalium und stabilisierte organische Substanz (Humus) als Wertstoffe im Vordergrund [Jönsson et al., 2004:25].

Berechnung erforderlicher Ausbringungsmengen

Die Verwertung von Urin und Fäzeskomposte hat zum Ziel, die in diesen Substraten enthaltenen Nährstoffe für das Pflanzenwachstum zu nutzen. Im folgenden Kapitel werden die erforderlichen Zugabemengen an Urin bzw. Fäzeskompost für typische Kleingartenkulturen überschlägig berechnet. Als Umkehrschluss werden die Nutzflächen ermittelt, die für die sachmäßige stoffliche Verwertung der im Kleingarten anfallenden Fäkalienmengen zur Verfügung stehen müssten.

Im ersten Schritt werden die Substratmengen geschätzt, die bei einer durchschnittlichen Kleingartennutzung pro Saison anfallen.

Die täglich ausgeschiedene Urinmenge beträgt im Mittel 1,37 l (Mittelwert aus Literaturübersicht in: DWA, 2008:13). Bei der Annahme einer 6-maligen Toilettennutzung am Tag ergibt sich ein Volumen von 0,23 l/Urinieren. Die durchschnittliche Fäzesmenge pro Exkretion beträgt ca. 0,14 l [Naudascher, 2001:79; Mittelwert der Literaturübersicht in: DWA, 2008:14].

Die Menge an Urin, die in einem Kleingarten anfällt, hängt von der Nutzungshäufigkeit des Kleingartens ab. Die Toiletten im Kleingarten werden überwiegend zum Urinieren aufgesucht. Bei der Befragung von Naudascher [2001:130] gaben 72,5 % Frauen und 77,5 % Männer an, die Toiletten nie oder < 1 mal pro Woche für den Stuhlgang zu benutzen. 76 % der Frauen und 60 % der Männer benutzen die Toilette 3 bis 7 mal pro Woche oder häufiger zum Urinieren. In eigener Untersuchung wurde die Häufigkeit der Toilettennutzung zum Urinieren von 37 % der Befragten mit > 10 mal pro Woche angegeben. Die Häufigkeit des Defäkierens wurde von knapp der Hälfte der Befragten (47 %) mit 1 - 3 mal pro Woche oder seltener beziffert [Alexeeva-Steiniger, 2012:8].

Für die weitere Berechnungen wird die Häufigkeit der Toilettennutzung zum Urinieren mit 10 mal / Person · Woche und zum Defäkieren mit 3 mal / Person · Woche angenommen. Somit ergeben sich pro Saison (26 Wochen) folgende Mengen:

- 10,92 l Fäzes / Person · Saison,
- 59,8 l Urin / Person · Saison.

Die Nährstoffgehalte in frischen Exkrementen wurden bereits in mehreren Studien untersucht. In weiteren Berechnungen werden die Mittelwerte der Literaturübersicht aus DWA [2008:13 f.] verwendet (vgl. Tab.3). Diese Nährstoffgehalte werden während der Lagerung, Behandlung und Ausbringung durch Verluste reduziert.

Tab.3: Nährstoffgehalte im frischen Urin (nach DWA, 2008:13) sowie pflanzenverfügbare Nährstoffgehalte im gelagerten Urin (kalkulierte Werte)

| Urin, frisch | Volumen | N | P | K |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| | 1,37 l/Person·d | 10,4 g N/Person·d | 1 g P/Person·d | 2,5 g K /Person·d |
| | | 7,4 g N/l | 0,7 g P/l | 1,82 g K/l |
| Verluste | | | | |
| Volumenreduktion bei Lagerung | 2% | | | |
| Ausfällungen (Ca-, Mg-Salze) | | 1% | 20% | |
| Ausgasung bei Ausbringung | | 6% | | |
| Pflanzenverfügbare Nährstoffe nach der Lagerung und Ausbringung | | | | |
| | 1,34 l/Person | 7,2 g N/l | 0,6 g P/l | 1,86 g K/l |
| | | | 1,36 g P ₂ O ₅ /l | 2,2 g K ₂ O/l |

In Anlehnung an Maurer et al. [2006:3155] können die Verluste bei der Urinlagerung in weitgehend geschlossenen Behältern wie folgt angenommen werden: 2 % Volumenreduktion, 1 % N-Verlust sowie 20 % P-Verlust, die vor allem auf Ausfällungen von verschiedenen Calcium- und Magnesiumphosphatverbindungen zurückzuführen sind. Die N-Verluste während der Ausbringung von Urin sind größtenteils durch die Ausgasung von Ammoniak (NH₃) bedingt. In Anlehnung an Simons [2008:72] werden diese Verluste mit 6 % angenommen. Der Stickstoff liegt im gelagerten Urin fast ausschließlich in Ammonium-Form (NH₄⁺) vor und ist daher gut pflanzenverfügbar. In der Literatur wird die Pflanzenverfügbarkeit von Stickstoff im gelagerten Urin zwischen 90 und 100 % angegeben [DWA, 2008:146; Jönsson et al., 2004:9; Kirchmann & Pettersson, 1995:149]. Im Weiteren wird von einer 100 %-igen N-Pflanzenverfügbarkeit ausgegangen.

Die bereits erwähnten Untersuchungen zur Kompostierung menschlicher Fäzes [Naudascher, 2001, Schalabi, 2006, Buzie-Fru, 2010] sind für die Schätzung der zu erwartenden Verluste nicht geeignet, da die Versuchsdauer im Vergleich zu den empfohlenen 2 Jahren sehr kurz ist. Daher wird hier auf die Langzeitversuche (466 d) von Körner [2008] zur Bilanzierung von N-Verbindungen bei der Kompostierung von Bioabfällen zurückgegriffen. Die Auswertung der Versuchsergebnisse zeigte, dass die N-Verluste bei der

Kompostierung hauptsächlich auf die NH_3 -Ausgasung insbesondere während der thermophilen Phase und bei der Umsetzung zurückzuführen sind. Diese Verluste lagen in Versuchen von Körner zwischen 5 % und 45 % (bis max. 70 %). Die N-Verluste durch Ausgasung von elementarem Stickstoff (Endprodukt der Denitrifikation) betrugen zwischen 2 % und 10 %. Das Auswaschen von Nitraten (NO_3^-) oder Nitriten (NO_2^-) ist nur im Fall der Sickerwasserbildung relevant (z.B. bei hohem Wassergehalt oder aufgrund ungenügender Umwälzung). Diese Verluste sind vermeidbar und werden deshalb auf lediglich 0 - 0,5 % geschätzt [Körner, 2008:298 f.].

Der überwiegende Anteil der Stickstoffverbindungen – 40 % bis 75 % nach Körner [2008:294], bis zu 90 % nach Jönsson et al. [2004:25] – wird während der Kompostierung in stabile organische Form überführt und ist für Pflanzen nur langsam verfügbar. [DWA, 2008:146] gibt die N-Verfügbarkeit der Fäzeskomposte im ersten Jahr mit 5 % an. Diese Angaben werden für die weiteren Berechnungen übernommen.

Bei der Berechnung der Nährstoffgehalte im reifen Fäzeskompost müssen weiterhin die Nährstoffgehalte der Zuschlagstoffe berücksichtigt werden. Hierbei wird angenommen, dass pro Defäkation ca. 250 ml Rindenschrot zugegeben werden. Die Nährstoffgehalte im Rindenschrot wurden aus [Blaich, 2000] übernommen. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass während der Kompostierung die Zuschlagstoffe als stabiles, strukturbildendes Material nur zu 10 % abgebaut werden. Die Nährstoffe bleiben zu 100 % erhalten, da die Bakterien vorwiegend leichter verfügbare Nährstoffe aus den Fäzes verwerten.

Tab.4: Ermittlung der Nährstoffgehalte im reifen Fäzeskompost (für kalte Rote bzw. Wurmkompostierung)

| | Volumen | N | P | K |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Fäzes, FM | 0,14 l/Person·d ¹⁾ | 1,5 g N/Person·d ¹⁾ | 0,5 g P/Person·d ¹⁾ | 0,7 g K/Person·d ¹⁾ |
| Rindenschrot | 1l | 2 g N/l ²⁾ | 0,5 g P ₂ O ₅ /l ²⁾ | 1 g K ₂ O/l ²⁾ |
| Annahmen: | <div><div>–</div>Gartensaison 26 Wochen/Jahr</div> <div><div>–</div>Häufigkeit der Toilettennutzung zum Defäkieren 3 mal/(Person·Woche)</div> <div><div>–</div>Zuschlagstoffmenge: 0,25 l Rindenschrot /Defäkation</div> | | | |
| Saisonmengen | | | | |
| Fäzes | 10,9 l/Saison | 117 g N/Saison | 89,3 g P ₂ O ₅ /Saison | 66,0 g K ₂ O /Saison |
| Rindenschrot | 19,5 l/Saison | 39 g N/Saison | 9,8 g P ₂ O ₅ /Saison | 19,5 g K ₂ O/Saison |
| Verluste bei der Kompostierung (2 Jahre) | | | | |
| Fäzes | 60% | 60% | 0% | 0% |
| | 4,4 l/Saison | 46,8 g N/Saison | 89,3 g P ₂ O ₅ /Saison | 66,0 g K ₂ O /Saison |
| Rindenschrot | 10% | 0% | 0% | 0% |
| | 17,6 l/Saison | 39 g N/Saison | 9,8 g P ₂ O ₅ /Saison | 19,5 g K ₂ O/Saison |
| Gesamt | 21,9 l/Saison | 85,8 g N/Saison | 99,1 g P ₂ O ₅ /Saison | 85,6 g K ₂ O/Saison |
| | pro 1 l | 3,9 g N/l | 4,5 g P ₂ O ₅ /l | 3,9 g K ₂ O/l |
| Pflanzenverfügbarkeit ³⁾ | - | 5% | 100% ⁴⁾ | 100% |
| Pflanzenverfügbare Nährstoffe | pro 1 l | 0,2 g N/l | 4,5 g P ₂ O ₅ /l | 3,9 g K ₂ O/l |
| Grün-/Biokompost ⁵⁾ | pro 1 l | 5,3 g N/l | 3,7 g P ₂ O ₅ /l | 4 g K ₂ O/l |

1) [DWA, 2008:14]

2) [Blaich, 2000]

3) [DWA, 2008:146]

4) 3-jährige Fruchtfolge

5) [Fischer & Jauch, 1999:45]

Die Verbrauchsmenge an Urin bzw. Fäzeskompost pro Quadratmeter hängt vom Nährstoffbedarf der jeweiligen Pflanzenart sowie vom vorhandenen Nährstoffgehalt des Bodens ab. Zum Nährstoffbedarf verschiedener Kleingartenkulturen finden sich in der Literatur stark abweichende Angaben.

Den nachfolgenden Berechnungen liegen die Empfehlungen vom Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg [LTZ, 2002] sowie die Empfehlungen der Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan [Fischer & Jauch, 1999] zugrunde. Die in Tab.5 und Tab.6 angegebenen Zugabemengen entsprechen der Erhaltungsdüngung (Bodenklasse C), d.h. es werden gerade so viele Nährstoffe zugefügt, wie dem Boden durch Pflanzen entzogen werden.

Tab.5: Nährstoffbedarf der Gartenkulturen nach LTZ [2002:7 f.] und erforderliche Urinmengen zur Deckung des N-Bedarfs

Pflanzennährstoffbedarf nach LTZ [2002 :7 f.]

| | | Schwachzehrer | | Mittelzehrer | | Starkzehrer | |
|-------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| | | Feldsalat, Radieschen, Zwiebel, Kopfsalat, Erbsen, Bohnen, Kräuter, Gehölze, Wiese | | Kartoffeln, Möhren, Tomaten, Gurken, Spinat, Endivien, Rettich, Kohlrabi, Erdbeeren, Obst | | Rhabarber, Weißkohl, Rotkohl, Rosenkohl, Wirsing, Blumenkohl, Grünkohl, Sellerie, Rasen | |
| | | min | max | min | max | min | max |
| N | g/m ² | 5 | 10 | 10 | 15 | 15 | 25 |
| P ₂ O ₅ | g/m ² | 2 | 5 | 5 | 10 | 8 | 15 |
| K ₂ O | g/m ² | 7 | 15 | 15 | 20 | 20 | 30 |

Uringabe zur 100 %-igen N-Versorgung nach LTZ [2002 :7 f.]

| | | | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Urin | l /m² | 0,7 | 1,4 | 1,4 | 2,1 | 2,1 | 3,5 |
| P zugefügt | g P ₂ O ₅ / m ² | 0,9 | 1,9 | 1,9 | 2,8 | 2,8 | 4,7 |
| P _{Defizit} | g P ₂ O ₅ / m ² | 1,1 | 3,1 | 3,1 | 7,2 | 5,2 | 10,3 |
| K zugefügt | g K ₂ O / m ² | 1,5 | 3,1 | 3,1 | 4,6 | 4,6 | 7,7 |
| K _{Defizit} | g K ₂ O / m ² | 5,5 | 11,9 | 11,9 | 15,4 | 15,4 | 22,3 |

Tab.6: Zugabemengen an Fäzeskompost zur Deckung des P-Bedarfs nach Fischer & Jauch [1999:50 ff.]

| | Fäzeskompost [l/m ²] | P zugeführt [g P ₂ O ₅ / m ²] | N zusätzlich [g N / m ²] | K zusätzlich [g K ₂ O / m ²] |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Rasen | 1,6 | 7,3 | 14,7 - 19,7 | 8,7 - 13,7 |
| Rosen, Ziergehölze, Obstgehölze | 0,8 | 3,7 | 3,8 - 6,8 | 0 |
| | | | bei mehr- jähriger Kompostgabe keine N- Düngung erforderlich | |
| Stauden: Rittersporn, Taglilie, Margerite, Pfingstrose, Herbstastern | 1,6 | 7,3 | 4,7 - 14,7 | 3,7 - 8,7 |
| Zwiebel-, Knollen- gewächse (Tulpe, Narzisse) | 0,8 | 3,7 | 4,8 | 1,8 - 6,8 |
| Uringabe zur Deckung des N-Bedarfs nach der Düngung mit Fäzeskompost | | | | |
| | Uringabe [l/m ²] | | K zugefügt [g K ₂ O / m ²] | K zusätzlich [g K ₂ O / m ²] |
| Rasen | 2,0 - 2,7 | | 4,5 - 6,0 | 4,2 - 7,7 |
| Ziergehölze | 0,5 - 0,9 | bei mehr- jähriger Kompostgabe keine N- Düngung erforderlich | 1,2 - 2,1 | k.B. |
| Stauden | 0,7 - 2,0 | | 1,4 - 4,5 | 2,3 - 4,2 |
| Zwiebel- gewächse | 0,7 | | 1,5 | 0,3 - 5,3 |

Mit den errechneten spezifischen Zugabemengen und oben geschätzten Anfallsmengen an Urin (ca. 60 l/Person · Saison) und reifem Fäzeskompost (ca. 22 l/Person · Saison) kann nun die erforderliche Fläche für die sachgemäße stoffliche Verwertung menschlicher Fäkalien in einem Kleingarten ermittelt werden. In Tab.7 und Tab.8 werden die Flächen pro Person und Jahr berechnet, unter der Annahme, dass der Urin ausschließlich zur Düngung der Rasenflächen – der extensiv bewirtschafteten Wiese oder des intensiv bewirt-

schafteten Rasens – eingesetzt wird. Es wird weiterhin angenommen, dass die Fäzeskomposte zur weitgehenden Reduzierung des hygienischen Restrisikos ausschließlich auf Zierflächen aufgebracht werden.

Tab.7: Spezifischer Flächenbedarf für die Urinverwertung (60 l/Person · Saison) zur Düngung der Rasenflächen

| [LTC, 2002] | | [Fischer & Jauch, 1999] | | [BBR, 2008] | |
|----------------------------|-----|----------------------------|-----|-------------------|------------------------------------------------|
| Wiese | | Rasen | | Rasen | |
| [m ² /Person·a] | | [m ² /Person·a] | | [m ²] | |
| max | min | max | min | max | min |
| 86 | 43 | 29 | 17 | 29 | 22 |
| | | | | | mittl. Rasenfläche im KG (400 m ²) |
| | | | | | 96 |

Tab.8: Spezifischer Flächenbedarf für die Fäzeskompostverwertung (22 l/Person · Saison) zur Düngung der Zierpflanzen und Ziergehölze

| [LTZ, 2002] | [Fischer, 1999] | [BBR, 2008] | [Müller, 2012] |
|------------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------|
| Schwachzehrer | Zier-, Obstgehölze, Zwiebelpflanzen | Stauden | durchschnittliche Zierfläche im KG (400 m ²) |
| [m ² /Person · a] | [m ² /Person · a] | [m ²] | [m ²] |
| 49,5 - 19,8 | 26,8 | 13,6 | 88 |
| | | | 108 |

Dem rechnerisch ermittelten Flächenbedarf sollen die vorhandenen Flächen in einem durchschnittlichen Kleingarten gegenübergestellt werden. Hierzu können die Angaben zur Flächennutzung in der bundesweiten Kleingärtenbestandserfassung vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) [Butz et al., 2008:43] sowie die Daten der Luftbilddauswertung ausgewählter Leipziger Kleingartenvereine [Müller, 2012:109] herangezogen werden (siehe Abb.9). Hiernach werden auf Kleingartenparzellen im Durchschnitt 24 % der Flächen als Rasenflächen und 22 bis 27 % als Zierpflanzen- und Blumenbeete bewirtschaftet. Die anhand dieser Anteile berechneten Rasen- bzw. Zierflächen auf einer durchschnittlichen Kleingartenparzelle von 400 m² sind in der Tab.7 bzw. Tab.8 dem ermittelten Flächenbedarf gegenübergestellt.

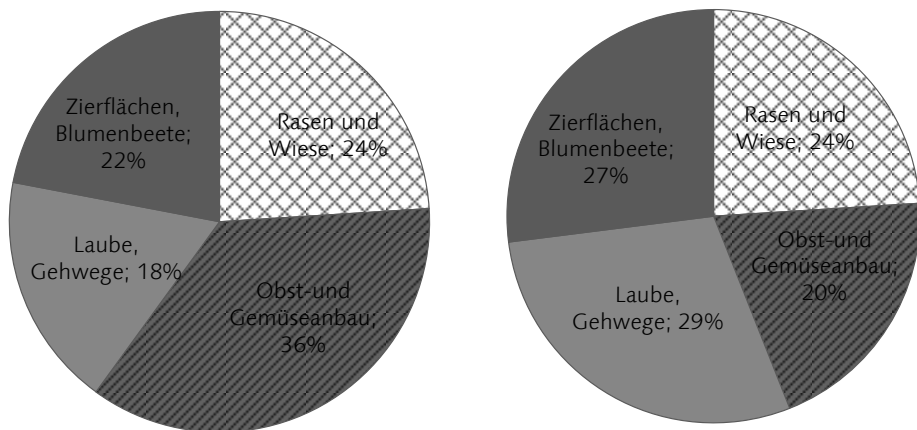


Abb.9: Flächennutzung in Kleingärten: BBR-Studie [Butz et al., 2008:43] - links; Auswertung der Luftbilder von Müller [2012:109] - rechts

Die Gegenüberstellung der verfügbaren und der erforderlichen Flächen erlaubt folgende Schlussfolgerungen:

- Bei der Parzellennutzung durch 2 Personen reichen die zur Verfügung stehenden Zierflächen mit hoher Wahrscheinlichkeit aus, um die pro Saison anfallenden Fäkalienmengen sachgemäß als Dünger zu verwerten. Die Berechnungen beziehen sich auf die Behandlungsverfahren Kaltrotte und Wurmkompostierung. Werden die Fäzes mit Zugabe von Grünschnitt nach dem Verfahren der Heißkompostierung behandelt, so nimmt die Kompostmenge zu. Der Flächenbedarf zur stofflichen Verwertung steigt.
- Für die Urinverwertung als N-Dünger für den intensiv bewirtschafteten Rasen sind die Flächen ebenfalls ausreichend. Wird der Rasen jedoch extensiv bewirtschaftet (Wiese), so können bereits bei der Parzellennutzung durch eine Person Engpässe entstehen.

Es soll noch einmal betont werden, dass die oben aufgeführten Berechnungen rein kalkulatorische Werte darstellen. Die angegebenen Nährstoffgehalte in behandelten Substraten – Urin und Fäzeskompost – sind keine Messwerte aus realen Versuchen und daher nur als Anhaltswerte zu verstehen. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass die Nährstoffgehalte in Ausscheidungen stark variieren können und von der Art der Erfassung, der Lagerungsart und der Behandlungsdauer abhängen. Wie bereits erwähnt beziehen sich die berechneten Anfallsmengen auf die Parzellennutzung vorwiegend am Wochenende. Sie gelten nicht, wenn die Häufigkeit der Kleingartenaufenthalte von den angenommenen Werten abweichen. Letztendlich spielen die tatsächliche

Flächenaufteilung der jeweiligen Parzelle und die Festlegung, auf welchen Flächen die Substrate aufgebracht werden dürfen, eine wesentliche Rolle.

Daher ist es ratsam, die Zugabemengen durch gelegentliche Bodenuntersuchungen zu kontrollieren und ggf. anzupassen. Falls anfallende Mengen an Urin und / oder Fäzeskompost nicht sachgemäß verwertet werden können, sollte zur Vermeidung der Überdüngung den Kleingärtnern eine Möglichkeit angeboten werden, überschüssige Substrate (inkl. des Bio- und Grünschnittkompostes) zu entsorgen.

2.5 Konzept „NASS – zentrale Entsorgung“

Das Konzept „NASS – zentrale Entsorgung“ stellt eine Abwandlung des Konzeptes „NASS – interne Verwertung“ dar, sofern die interne Verwertung der Fäkalien in Kleingartenanlagen aus objektiven (z.B. die KG-Anlage liegt im Trinkwasserschutzgebiet) oder subjektiven Gründen (Ablehnung der Düngung mit Substraten fäkalen Ursprungs) nicht möglich ist.

Im Folgenden werden zwei Varianten dieses Konzeptes nach Holzapfel [URL-4, persönliches Gespräch] geschildert.

Variante A – partielles Bring-Abhol-System: Hier werden auf Einzelparzellen getrennt erfasste Fäkalienteilströme von Nutzern zu semizentralen Sammelpunkten innerhalb des Kleingartenvereins gebracht, von dort periodisch durch einen Entsorger abgeholt und zu einer der zentralen Behandlungsanlagen (Schlammfäulung an einer kommunalen KA, zentrale Kompostierungsanlage, Biogasanlage) gebracht (siehe Abb. 10).

Bei der Variante A kann eine abflusslose Sammelgrube als semizentrales Zwischenlager für Urin angelegt werden. Das erforderliche Fassungsvermögen der Grube kann anhand der spezifischen Anfallsmengen (ca. 60 l/Person · Saison) abhängig von der KGV-Größe und der gewünschten Entsorgungshäufigkeit abgeschätzt werden. Zur Zwischenlagerung der Fäzes kann analog zum Konzept „NASS – interne Verwertung“ ein KGV-eigener Komposter eingesetzt werden. Durch diese Art der Zwischenlagerung wird das Volumen der Fäzes bereits während der Gartensaison reduziert. Zur Minimierung des Arbeitsaufwandes können die Kompostwürmer für die Substratumsetzung genutzt werden. Am Ende der Saison oder bei der Vollenfüllung wird der Komposter z.B. zur Kompostierungsanlage gebracht, in der vorkompostierte Substrate einer weiteren Behandlung unterzogen werden. Die Annahmepflicht der Fäzes-Frischkomposte sollte im Vorfeld über die kommunale Abfallsatzung geregelt werden (siehe dazu Kapitel 6.2.5.2).

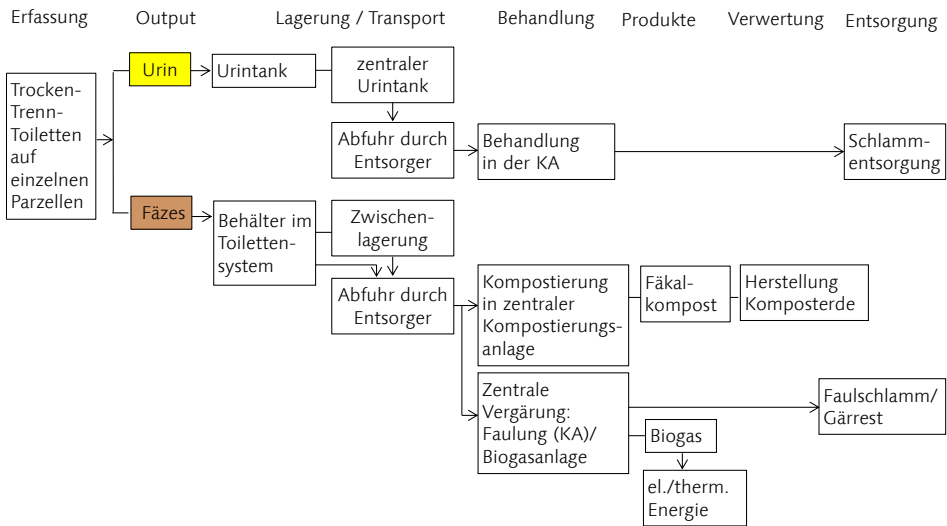


Abb.10: Konzept „NASS – zentrale Behandlung“, Variante A

Variante B – Abholsystem: Die Fäkalien werden mit einer Trockentrenntoilette auf Einzelparzellen erfasst und in einem speziellen Sammelbehälter (z.B. Typ „Goldgrube“) während der ganzen Gartensaison bzw. bei häufiger Kleingarten-nutzung bis zur Vollerfüllung getrennt gelagert. Anschließend werden die Substrate durch ein Saugfahrzeug abgepumpt und zu einer Kläranlage geliefert (Abb.11).

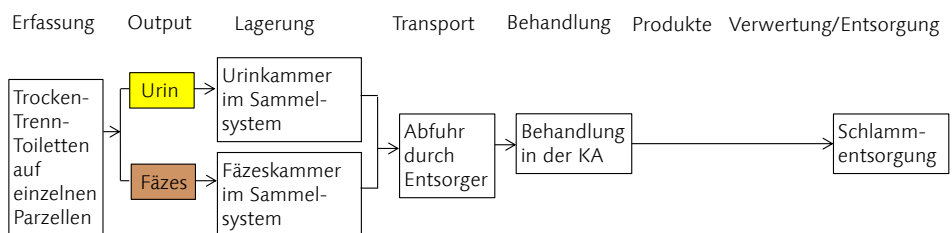


Abb.11: Konzept 4 „NASS – zentrale Entsorgung“, Variante B

Beim Erfassungssystem Typ „Goldgrube“ (Fa. Holzapfel + Konsorten) wird der Toilettenstuhl mit einer Trenneinheit (Keramik oder beschichteter Kunststoff) durch das Fallrohr bzw. den Urinablauf mit unterschiedlichen Kammern des Sammelbehälters verbunden, so dass Urin und Fäzes getrennt gelagert werden. Die Geruchsentwicklung wird durch aktive Entlüftung mit einem Ventilator unterbunden (URL-4). Den Substraten werden keine Zuschlagstoffe zugegeben. Dadurch sollen sie pumpfähig bleiben. Die Entleerung erfolgt mit einem Pumpfahrzeug. Als Verwertung eignet sich die Biogasgewinnung (zurzeit rechtlich nicht möglich).

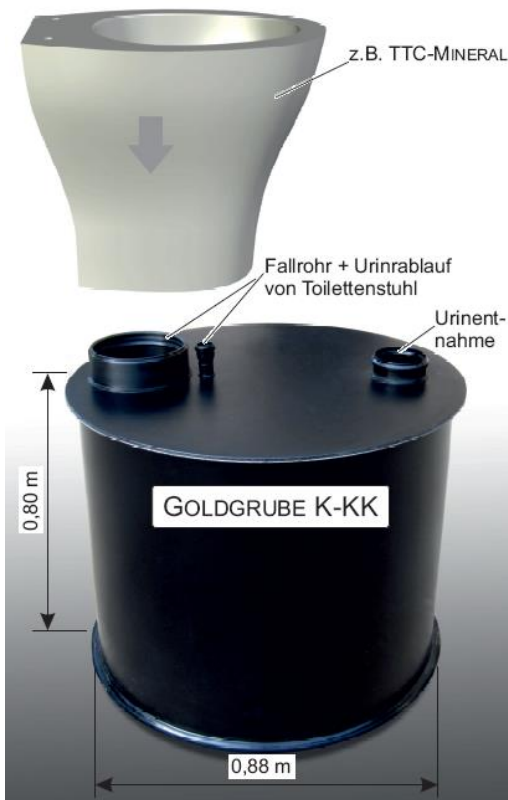


Abb.12: Goldgrube Kunststoff, Modell K-KK (Quelle: Holzapfel & Konsorten)

Je nach Baugröße kann das System „Goldgrube“ als eine individuelle oder eine Gruppenlösung angewendet werden. Für die individuelle Erfassung auf Einzelparzellen eignet sich die kleinste Ausführung der „Goldgrube“ in Kunststoff (Modell K-KK, Abb.12) am besten. Ihr Fassungsvermögen teilt sich in 100 l für Fäzes und ca. 550 l für Urin. Bei der Kleingartennutzung durch zwei Personen überwiegend an Wochenenden reicht dieses Volumen für die gesamte Gartensaison aus. Das Modell ist für den Erdeinbau zugelassen. Es ist ca. 0,8 m hoch, so dass die Baugrube flach und ohne Böschungen ausgeführt werden kann. Aufgrund des geringen Gewichtes (70 kg) kann die Goldgrube auch mit einem Handwagen transportiert werden.

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Goldgrube bei bestehenden Gartenlauben nur als separates Toilettenhäuschen realisierbar ist.

Konstruktionsbedingt muss sich die Goldgrube direkt unter dem Toilettensitz befinden, was bei einer bestehenden Laube das Aufbrechen des Fundaments erfordern würde. Als Randbedingung zur technischen Realisierbarkeit des Konzeptes ist analog zur abflusslosen Sammelgrube die Gewährung der Zufahrt für das Entsorgungsfahrzeug zu nennen. Das Absaugen erfolgt bei den aktuell auf dem Markt verfügbaren Modellen über den Toilettensitz.

Die Vorteile der Erfassung der Fäkalien mit einer Goldgrube sind:

- Die Fäkalien werden wasserlos gesammelt, das Lagerungsvolumen ist gegenüber den konventionellen abflusslosen Gruben kleiner. Die Entleerung ist bei zwei Personen und halbjähriger Gartennutzung nur einmal pro Saison erforderlich.
- Die Nutzer haben keinen Umgang mit den Fäkalien (keine Entleerung, kein Transport, keine Säuberung der Behälter), nur eine übliche Pflege des Toilettensitzes ist nach Bedarf fällig.