

Führen geschlossene Abfallbehälter zu einer geringeren  
Luftkontamination als offene? Eine praktische Untersuchung am  
Universitätsklinikum Jena

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen  
Grades

doctor medicinae dentariae  
(Dr. med. dent.)

**vorgelegt dem Rat der  
Medizinischen Fakultät der  
Friedrich-Schiller-Universität  
Jena**

**von Franziskus Büchner**

**geboren am 29.08.1993 in Dresden**

## **Gutachter**

- 1. Prof. Dr. med. Dr. PH Frank Kipp, Universitätsklinikum Jena**
- 2. PD Dr. Norman Best, Universitätsklinikum Jena**
- 3. Prof. Dr. rer. nat. Thorsten Kuczius, Universitätsklinikum Münster**

**Tag der öffentlichen Verteidigung: 06.12.2022**

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	1
1 Abkürzungsverzeichnis .....	2
2 Zusammenfassung.....	3
3 Einleitung .....	5
3.1 Nosokomiale Infektionen .....	5
3.2 Abfallmanagement in einem Krankenhaus der Maximalversorgung.....	6
3.3 Mikrobielle Luftkontamination durch Abfallbehälter .....	6
3.4 Methodik.....	7
4 Zielstellung.....	9
5 Publierte Originalarbeit.....	10
Do closed waste containers lead to less air contamination than opened? A clinical case study at Jena University Hospital, Germany	
Buchner, F.; Hoffman, M.; Dobermann, U. H.; Edel, B.; Lehmann, T.; Kipp, F.	
Waste Management; Volume 136; Pages 11-17; 2021	
6 Diskussion.....	11
6.1 Ergebnisse und Diskussion der Forschungsziele .....	11
6.2 Limitationen .....	13
6.3 Ausblick und zukünftige Studien.....	14
7 Fazit.....	15
8 Literaturverzeichnis .....	16
9 Anhang.....	18
9.1 Danksagung .....	18
9.2 Ehrenwörtliche Erklärung .....	19

## 1 Abkürzungsverzeichnis

O-Behälter	–	offener Abfallbehälter (open)
C-Behälter	–	geschlossener Abfallbehälter (closed)
HF-Behälter	–	Abfallbehälter mit Tretmechanismus (hands-free opening)
CFU	–	colony-forming unit (Kolonie-bildende Einheit)
GEE	–	generalized estimating equation (verallgemeinerte Schätzungsgleichung)

## 2 Zusammenfassung

### Wissenschaftlicher Rahmen:

Ein Weg der Übertragung von Infektionen stellen luftgetragene Mikroorganismen (Bio-Aerosole) dar. In vorherigen Studien wurde gezeigt, dass Abfallbehälter mit nicht-infektiösem Patientenabfall eine Quelle für die Freisetzung von Mikroorganismen darstellen können. Vor dem Hintergrund der Herausforderung nosokomialer Infektionen in Krankenhäusern sollte daher der Einfluss von verschiedenen Abfallbehältern auf die Umgebungsluft geprüft werden.

### Zielsetzung:

Ziel der Forschung war es, den möglichen Einfluss der Bauweise von drei verschiedenen Abfallbehältern (offen (O), geschlossen (C), mit Tretmechanismus (HF)) auf die mikrobielle Kontamination der Umgebungsluft in einem Krankenhaus der Maximalversorgung zu untersuchen. Die Ergebnisse der Studie sollen dabei helfen, Richtlinien für Abfallbehälter bei der Sammlung von nicht-infektiösen Krankenhausabfällen zu entwickeln.

### Methodik:

Die Studie wurde auf drei verschiedenen Stationen des Universitätsklinikums Jena (Innere Medizin, Chirurgie, Intensivstation) und in unterschiedlichen Räumen (Patientenzimmer, Nasszelle, Arbeitsraum Rein, Arbeitsraum Unrein) durchgeführt. Mit Hilfe eines Luftkeimsammlers wurden Proben der Umgebungsluft oberhalb der Abfallbehälter genommen und mikrobiologisch sowohl qualitativ als auch quantitativ analysiert. Die Resultate wurden statistisch durch die Nutzung von generalisierten Schätzungsgleichungen (GEE) ausgewertet.

### Ergebnisse:

Die geringsten quantitativen Mengen an luftgetragenen Bakterien wurden für C-Behälter gefunden ( $114.74 \text{ CFU/m}^3$ ). Dagegen wurden höhere Werte für HF- ( $129.28 \text{ CFU/m}^3$ ) und für O-Behälter ( $126.28 \text{ CFU/m}^3$ ) nachgewiesen. Bei der Messung von Pilzsporen konnten die geringsten Werte für C- ( $2.08 \text{ CFU/m}^3$ ) und HF-Behälter ( $1.97$

CFU/m<sup>3</sup>) gemessen werden. Wiederum zeigten O-Behälter (2.32 CFU/m<sup>3</sup>) höhere Luftkontaminationswerte. Während in allen ausgewerteten Proben (100 %) luftgetragene Bakterien gefunden wurden, konnten Pilzsporen lediglich in 53,5 % der Proben ermittelt werden. Hauptsächlich handelte es sich um nicht-pathogene Mikroorganismen, es konnte jedoch auch der fakultativ pathogene Pilz *Aspergillus fumigatus* nachgewiesen werden.

Schlussfolgerung:

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass C-Behälter aus Sicht der mikrobiellen Luftkontamination die geeignetste Konstruktionsform von Abfallbehältern im Krankenhaus für die Sammlung nicht-infektiöser Abfälle darstellen.

### 3 Einleitung

In einem Krankenhaus der Maximalversorgung ist ein gut organisiertes Abfallmanagement in enger Abstimmung mit der Krankenhaushygiene für die Vermeidung nosokomialer Infektionen unabdingbar. In Deutschland bildet die LAGA M 18 die Grundlage für die Entsorgung von Abfällen aus Krankenhäusern, mit dem Ziel einer sicheren und ordnungsgemäßen Abfallbewirtschaftung sowie der Vermeidung von Krankheitsübertragungen und Umweltbelastungen (LAGA 2021).

Vor diesem Hintergrund werden Teilschritte der Abfallbewirtschaftung regelmäßig durch interne und externe Routinebegehungen überprüft. Die Frage, ob die Konstruktionsform der Abfallbehälter einen Einfluss auf die mikrobielle Luftkontamination hat, ist bisher wissenschaftlich noch nicht beantwortet worden. Da gleichzeitig auch keine vorgeschriebenen Grenzwerte für die mikrobielle Luftkontamination an Innenraumarbeitsplätzen bestehen (Hahn und Kleine 2013), wurde eine Studie in Zusammenarbeit zwischen Abfallwirtschaft und Krankenhaushygiene geplant. Dabei sollten drei verschiedene Abfallbehältertypen für die Sammlung nicht-infektiöser Abfälle am Universitätsklinikum Jena auf ihre mikrobielle Luftkontamination hin untersucht werden. Da die Forschungsfrage nicht explizit nur für das untersuchte Krankenhaus anwendbar ist, sondern jede medizinische Einrichtung weltweit ein Abfallerfassungssystem benötigt, sollten die Ergebnisse der Studie in einem internationalen Fachjournal veröffentlicht werden.

#### 3.1 Nosokomiale Infektionen

Eine Infektion wird als nosokomial bezeichnet, wenn die Patienten sie im Zusammenhang mit einer medizinischen Maßnahme (z.B. in Krankenhäusern) erwerben (Koch-Institut 2016). Man unterscheidet direkte und indirekte Übertragungswege. Eine Möglichkeit der indirekten Übertragung stellt die aerogene Übertragung (= über die Luft) dar. Dabei werden Mikroorganismen zusammen mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen ( $<5 \mu\text{m}$ ) über die Luft transportiert. Diese Gemische werden als „Aerosole“ bezeichnet (Schulze-Röbbecke 2015).

### 3.2 Abfallmanagement in einem Krankenhaus der Maximalversorgung

Die Abfallbewirtschaftung im getesteten Krankenhaus beginnt mit der Bereitstellung von Abfallbehältern für die Erfassung unterschiedlicher Abfallfraktionen, wie z.B. infektiösen Abfällen, nicht-infektiösen Abfällen, spitzen, scharfen Gegenständen oder Chemikalien. Nach vollständiger Füllung der Abfallbehälter bzw. nach festgelegten Zeitabständen kommt es zum Abtransport der Abfälle an eine zentrale Sammelstelle. Dort werden die Abfälle in größeren Einheiten gesammelt und für die Entsorgung bzw. das Recycling zur Abholung bereitgestellt. Unsere Studie untersucht den zeitlichen Rahmen der Befüllung der Abfallbehälter mit nicht-infektiösem Patientenabfall (AS 18 01 04 nach LAGA M 18 (LAGA 2021)) bis zum Austausch der befüllten Abfallbehälter.

### 3.3 Mikrobielle Luftkontamination durch Abfallbehälter

Um das Risiko von Infektionen während der Abfallbewirtschaftung zu minimieren, müssen alle Schritte im Abfallmanagement eines Krankenhauses auf die Freisetzung von Mikroorganismen hin untersucht werden.

In den 1980er Jahren wurden in Deutschland umfangreiche Studien zum Thema der mikrobiellen Kontamination von Krankenhausabfällen und deren Gefährdungspotenzial veröffentlicht (Rüden und Jager 1987, Jager et al. 1986, Jager et al. 1989). Dabei wurde der Inhalt der Abfallbehälter entweder unbehandelt beprobt oder in einer Mischtrommel mit Wasser suspendiert und das erhaltene Eluat anschließend mikrobiologisch untersucht. Die Autoren stellten fest, dass bei Krankenhausabfällen aus der Patientenversorgung gegenüber dem Hausmüll ähnliche bzw. teilweise sogar deutlich geringere Konzentrationen von Mikroorganismen gefunden wurden. Aus den Ergebnissen wurde geschlussfolgert, dass von Krankenhausabfällen bei sachgemäßem Umgang und unter Einhaltung von Hygienestandards keine erhöhte Gefahr im Vergleich zu Haushaltsabfällen ausgeht. Später untersuchten Krist et al. mittels eines Luftkeimsammlers die Konzentration von Mikroorganismen in der Umgebungsluft von Abfallentsorgungsbereichen eines Großkrankenhauses und bestätigten die Ergebnisse der vorherigen Studien (Krist et al. 2005). Bis heute gibt es jedoch keine verbindlichen Grenzwerte zur Beurteilung der mikrobiellen Luftkontamination. In einer

Übersichtsarbeit (Zemouri et al. 2017) wurden die Ergebnisse vieler Studien zu Luftkeimmessungen zusammengestellt, welche als Vergleichswerte für die qualitative und quantitative Untersuchung von luftgetragenen Bakterien und Pilzen dienen können.

Einzelne Teilabschnitte der Abfallbewirtschaftung wurden schon hinsichtlich ihrer mikrobiellen Luftkontamination untersucht. Dazu gehören Studien von Madsen et al., die herausfanden, dass Angestellte in der Abfallsammlung hohen Konzentrationen luftgetragener Mikroorganismen ausgesetzt sind (Madsen et al. 2020) und Jedlicka et al., welche unter Laborbedingungen verschiedene Abfallbehältertypen testeten (Jedlicka et al. 2012). Aus unserer Literaturrecherche ergab sich jedoch, dass bisher keine klinischen Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Konstruktionsformen von Abfallbehältern auf die mikrobielle Kontamination der Umgebungsluft veröffentlicht wurden.

### 3.4 Methodik

Aufgrund der Neuartigkeit unserer Studie musste ein eigener Beprobungsplan entwickelt werden. Dieser beinhaltete ausgewählte Variablen, deren Einfluss auf die mikrobielle Luftkontamination untersucht werden sollte. Dazu zählen die beprobten Abfallbehälter (offen (O), geschlossen (C), mit Tretmechanismus (HF)), die ausgewählte Station (Chirurgie, Innere Medizin, Intensivstation), der ausgewählte Standort der Abfallbehälter (Patientenzimmer, Nasszelle, Arbeitsraum Rein, Arbeitsraum Unrein) und die Standzeit der Abfallbehälter (8 h, 24 h, 48 h). Des Weiteren wurden als Vergleich zu den Proben direkt über dem Abfallbehälter auch Vergleichsproben in mindestens einem Meter Entfernung von dem Abfallbehälter, aber im selben Beprobungsraum, getätigt. Um statistisch aussagekräftige Resultate zu erzielen, wurden insgesamt fünf Probenzyklen durchgeführt, davon drei innerhalb der Arbeitswoche und zwei am Wochenende. Bei Probemessungen wurde ermittelt, dass die mikrobiologische Auswertung bei einem Sammelvolumen der Umgebungsluft von 500 l (100 l/min) am besten gewährleistet ist. Schließlich wurden die jeweiligen Nährmedien nach der Beprobung entsprechend ihrem Nachweis auf Bakterien oder Pilze im Labor inkubiert, ausgezählt und mikrobiologisch analysiert. Die Ergebnisse wurden dann mittels GEE nach dem Einfluss der einzelnen Variablen statistisch ausgewertet.

Um auch den Einfluss der abgeworfenen Abfallfraktionen zu untersuchen, wurden die Abfallbehälter/-säcke nach der jeweils letzten Messung zur zentralen Abfallsammelstelle transportiert und einer Abfallsortierung zugeführt. Dabei wurde das Gesamtgewicht aufgenommen und der Abfall in die Kategorien „medizinischer Abfall“ bzw. „nicht-medizinischer Abfall“ und „organischer Abfall“ bzw. „anorganischer Abfall“ eingeteilt. Ziel war es, einen möglichen Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung der Abfallfraktionen und der Kontamination der Umgebungsluft zu untersuchen.

## 4 Zielstellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu untersuchen, ob Abfallbehälter mit nicht-infektiösem Patientenabfall (AS 18 01 04) in einem Krankenhaus der Maximalversorgung einen Einfluss auf die mikrobielle Kontamination der Umgebungsluft haben (Forschungsziel 1).

Dazu sollen die gesammelten Mikroorganismen sowohl qualitativ als auch quantitativ analysiert und mit Richtwerten bzw. vorherigen Studien verglichen werden. Daraus können dann in einem weiteren Schritt Rückschlüsse gezogen werden, welche der drei getesteten Abfallbehältertypen aus mikrobiologischer Sicht am besten für die Nutzung im Krankenhaus geeignet ist (Forschungsziel 2).

Im weiteren Verlauf sollen auch Aspekte wie hygienische Überlegungen und praktikables Abfallmanagement im Krankenhaus mit in die Bewertung der Abfallbehälter einfließen (Forschungsziel 3).

Die Ergebnisse dieser Zielstellungen sollen als Grundlage der Entwicklung von Richtlinien und Grenzwerten für die Kontrolle mikrobieller Kontamination durch Abfallbehälter in Krankenhäusern dienen. Außerdem sollen Erkenntnisse und Limitationen formuliert werden, die bei der Erstellung zukünftiger Studien zur Untersuchung der Luftkontamination durch Abfallbehälter in medizinischen Einrichtungen helfen können.

## 5 Publizierte Originalarbeit

### **Do closed waste containers lead to less air contamination than opened? A clinical case study at Jena University Hospital, Germany**

Buchner, F.; Hoffman, M.; Dobermann, U. H.; Edel, B.; Lehmann, T.; Kipp, F.

Waste Management; Volume 136; Pages 11-17; 2021

DOI: 10.1016/j.wasman.2021.09.031



# Do closed waste containers lead to less air contamination than opened? A clinical case study at Jena University Hospital, Germany

Franziskus Büchner<sup>a,\*</sup>, Marc Hoffman<sup>b</sup>, Ute-Helke Dobermann<sup>a</sup>, Birgit Edel<sup>c</sup>, Thomas Lehmann<sup>d</sup>, Frank Kipp<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute for Infectious Diseases and Infection Control, Jena University Hospital, Am Klinikum 1, D-07747 Jena, Germany

<sup>b</sup> Integrative Health and Security Management Center, Staff Section Environmental Protection, Jena University Hospital, Bachstraße 18, D-07743 Jena, Germany

<sup>c</sup> Institute of Medical Microbiology, Jena University Hospital, Am Klinikum 1, D-07747 Jena, Germany

<sup>d</sup> Institute of Medical Statistics, Computer and Data Sciences, Jena University Hospital, Bachstraße 18, D-07743 Jena, Germany

## ARTICLE INFO

### Keywords:

Waste container construction  
Waste collection  
Non-infectious waste  
Health care  
Airborne transmission  
Nosocomial infection

## ABSTRACT

Nosocomial infections are a growing challenge at hospitals. This clinical study aimed to investigate the influence of waste container construction ((open (O), closed (C), and hands-free opening (HF)) on microbial air contamination in a hospital setting.

The results are intended to help develop guidelines for waste containers for the collection of non-infectious waste at hospitals and medical facilities. The clinical experiment was conducted at the University Hospital Jena, Germany. Air Impactor samples were performed and microbiologically evaluated for bacteria and fungi both quantitatively and qualitatively. The results were statistically determined using generalized estimating equations. Quantitatively, the lowest bacterial counts in ambient air were found around closed waste containers (114.74 CFU/m<sup>3</sup>) in comparison to HF (129.28 CFU/m<sup>3</sup>) and O (126.28 CFU/m<sup>3</sup>). For fungi, the surrounding air of C (2.08 CFU/m<sup>3</sup>) and HF (1.97 CFU/m<sup>3</sup>) waste containers showed a lower impact of fungal air contamination than for O (2.32 CFU/m<sup>3</sup>). Overall, it was shown that C are more preferable to HF and O waste containers from the point of view of microbial air contamination at hospitals.

## 1. Introduction

### 1.1. Nosocomial infections in hospitals

Nosocomial infections are a growing problem in hospitals (Haque et al., 2018; McFee, 2009; Revelas, 2012). One of the most common transmission routes for nosocomial infections is airborne, making healthy indoor air quality (IAQ) essential at hospital facilities (Brandl, 2011; Fernstrom and Goldblatt, 2013; Leung and Chan, 2006). Bio-aerosols, biological particles in the air can lead to infections by airborne or droplet transmission (Beggs, 2016; Brandl, 2011).

Molds present in bio-aerosols are a common cause of allergic reactions and respiratory infections (Verma et al., 2003) and immunocompromised individuals are especially at risk (Lugauskas and Krikstaponis, 2004).

The air in hospitals contains both pathogenic and non-pathogenic

microorganisms. While the fungi species *Cladosporium* and *Penicillium* are among the most non-pathogenic microorganisms in the air (Okten and Asan, 2012), Caggiano and colleagues found pathogenic microorganisms such as *Aspergillus fumigatus* (Caggiano et al., 2014). This fungus is considered the main cause of aspergillosis and can lead to nosocomial infections (Nicolle et al., 2011; Park et al., 2019; Vonberg and Gastmeier, 2006).

Welte found, that nosocomial infections have a prevalence of 3.8% during the current hospital stay and are thus a problem that requires close attention (Welte, 2013). Therefore, all possible risk factors and transmission routes within a hospital should be investigated.

To identify the current state of research in the field of microbial contamination at hospitals and especially the impact of waste containers before starting our clinical investigations, we conducted a literature review.

**Abbreviations:** O, open waste container; C, closed waste container; HF, hands-free opening waste container; PR, patient room; SAN, sanitary unit at patient room; CW, clean workroom; SUR, soiled utility room; CFU, colony-forming unit; SEM, standard error of the mean.

\* Corresponding author.

E-mail address: [franziskus.buechner@uni-jena.de](mailto:franziskus.buechner@uni-jena.de) (F. Büchner).

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.031>

Received 6 April 2021; Received in revised form 13 September 2021; Accepted 27 September 2021

Available online 8 October 2021

0956-053X/© 2021 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1.2. Sources for microbial air contamination in hospitals

The concentration of the microorganism, the infectious dose, and pathogen virulence play a decisive role in the transmission of airborne infections (Cole and Cook, 1998). Several studies have addressed the issue of which factors affect microbial contamination in the air of hospitals. These include temperature, relative humidity, ventilation, surface types, staff activities, and their cleaning routine (Hiwar et al., 2021). Qualitative and quantitative analyses of airborne microorganisms were performed at various locations, such as the main lobby, different wards, intensive care unit, operating theater, or biomedical laboratory (Fekadu and Getachewu, 2015; Kim et al., 2010; Li and Hou, 2003).

Besides, various potential causes of the release of microorganisms into hospital air were investigated. These include the ventilation in a hospital building or the impact of flushing in bathrooms (Knowlton et al., 2018; Mingotti et al., 2021; Offermann et al., 2016).

### 1.2.1. Release of microorganisms in the waste management sector

Waste management in hospitals has been well researched as a possible cause of the spread of healthcare-associated infections (Tudor et al., 2010). The objective of reducing microbial contamination in the ambient air has been tested in several studies. Motta et al. tried to reduce microbial growth by the use of sodium dichloroisocyanurate (NaDCC) at a very early stage, namely already inside the waste container, to reduce a possible release of bacteria and fungi from the waste container (Motta et al., 2018).

In contrast, Madsen et al. as well as Gladding and Gwyther addressed the consequences of the release of microorganisms from waste containers. Madsen found that waste collection workers are exposed to high concentrations of airborne bacteria and fungi, while Gladding and Gwyther found that waste containers that have not been replaced for an extended period of time can release aerosols in potentially hazardous concentrations (Gladding and Gwyther, 2017; Madsen et al., 2020).

Our study aims to fill the research gap between the aforementioned studies by investigating the stage of waste container use between provision of empty waste bags to the collection of the filled waste bags. In doing so, we aim to determine which waste container is best suited for the collection of non-infectious waste.

**1.2.1.1. Influence of waste containers.** Several previous studies have been published on the release of microorganisms from single-use versus re-usable infectious waste containers, containers used for sharp waste, hospital-specific and household waste (Krist et al., 2005; Neely et al., 2003; Runner, 2007). Furthermore, Jedlicka et al. investigated under laboratory conditions different types of closed waste containers with various opening mechanisms to determine the release of microorganisms into the ambient air (Jedlicka et al., 2012).

## 1.3. Research gap

While the studies cited above have already addressed the problem of microbial release into the ambient air in hospitals, we investigated to the best of our knowledge for the first time in a clinical study whether there is a difference in ambient air contamination between three different types of waste container constructions for the collection of non-infectious waste in hospitals.

This is despite the fact that non-infectious waste accounts for 75–95% of medical waste in hospitals (Askarian et al., 2010; Beghdadli et al., 2010; Sawalem et al., 2009).

Therefore, this study aims to address the question of whether there is a difference in qualitative or quantitative microbial ambient air contamination between three diverse types of waste container constructions: open (O), closed (C), and hands-free opening (HF) waste containers.

## 2. Methods

### 2.1. Study design

The study was conducted at the University Hospital Jena, Germany.

The clinical trials were carried out in five sample cycles during September and October 2017. Impactor samples were selected to measure the quality and quantity of bacteria and fungi in the air.

The study was conducted in three hospital wards of different disciplines: a surgical ward, a ward of internal medicine (diabetology) as well as an intensive care unit (ICU). These three wards were specifically selected to take account of the variety of waste dropped into the waste containers due to the different clinical pictures and requirements of the patients.

At each ward, the ambient air of waste containers with non-infectious municipal waste was examined at the patient rooms and their sanitary unit, clean workroom, and soiled utility room. These four rooms are mainly used in every ward for dropping non-infectious waste into the existing waste containers. Patient rooms occupied by patients with an infectious disease or suspected infectious disease were excluded from the study to prevent the patient as the main source of determined airborne microorganisms.

Three different types of waste containers were analyzed: O, C, and HF.

The sampled waste containers are defined for the collection of waste, “whose collection and disposal is not subject to special requirements in order to prevent infection (for example dressings, plaster casts, linen, disposable clothing, diapers)”, according to the directive on the list of waste materials (AVV) (Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 2001).

The determined O (Tork® 563000, Essity Professional Hygiene Germany GmbH, Germany, V = 50 l, WDH 398 × 298 × 629 mm) have direct, undisturbed access to the ambient air and are shown in Fig. 1.

The C (Abfallsammler MS165 L, Hammerlit GmbH, Germany, V = 70



Fig. 1. Open waste container (Tork, V = 50 l).

l, WDH 410 × 495 × 950 mm) we used in our study are equipped with a lid on the waste container, which must be opened by hand to deposit waste. (Fig. 2)

The HF (Abfallsammler Clappy MS71, Hammerlit GmbH, Germany, V = 70 l, WDH 585 × 490 × 975 mm) is similar to the C type, as it has a mechanism for the opening of the waste container, too. (Fig. 3)

During the impactor air sampling, the HF and C were opened and closed once every 60 s to simulate the effect of the opening process during normal use of the containers. All measurements were performed by the same sampler, and all examined HF and C waste containers had the same opening mechanism. This was tried several times by the sampler before starting the samples to ensure the most consistent opening and closing. A total of 500 l (100 l/min) measuring volume per sampling was collected directly above the opening of the waste containers. Reference samples were taken at a distance of at least one meter from the examined waste container but in the same room and at the same height.

The impactor air samples were performed 8 h, 24 h, and 48 h post waste bags replacement (hereinafter referred to as „waiting time“).

Waste bags are routinely replaced every 24 h by the hospital cleaning personnel. In addition, a 48-h waiting period was selected to simulate the effect on the release of airborne microorganisms from the waste containers if the replacement was not carried out properly after 24 h. At the ICU, samples were collected only 8 h and 24 h after waste bag replacement due to the shorter replacement interval on this ward.

Out of the five sample cycles, three of them were carried out between Monday to Friday and twice on the weekend, to take account of the different workloads and the associated different waste quantities and contents during the week or at the weekend.

For each measurement, temperature and relative humidity at the room of sampling have been recorded.

The sampling plan included 410 samples each for bacteria and fungi. The waste containers on the diabetology (6 waste containers to be sampled) and the surgery ward (5 waste containers) were each



Fig. 2. Closed waste container (on the right side) (Hammerlit, V = 70 l).



Fig. 3. Hands-free to open waste container (Hammerlit, V = 70 l).

examined after 8 h, 24 h, and 48 h waiting time. For the ICU (4 sampled waste containers), samples were only taken after 8 h and 24 h. Since 5 sampling cycles were performed per waste container, a total of 205 test measurements were planned each for bacteria and fungi. For the reference samples, the same number of specimens (205) was taken, resulting in a total of 410 samples each for bacteria and fungi. Since the cleaning personnel of the hospital accidentally removed waste bags ahead of time despite the prior agreement, 23 samples (5.6% of the samples) each for bacteria and fungi could not be taken, so that a total of 774 samples were examined – 387 each for bacteria and fungi. Of these, 294 samples were taken from O, 100 from C, and 380 from HF waste containers.

Figure 4 shows the room sampling plan. The waste containers found in each room were sampled. Their opening condition (O, HF, C) varied between the three selected wards. Furthermore, there are no sanitary units in the patient rooms at the ICU due to the medical conditions of the patients located there.

## 2.2. Measurement

Airborne measurements were taken using the impactor principle as described and used in previous studies (Brandl, 2011; Ghosh et al., 2015; Napoli et al., 2012). In the current study, we used a Microbiological Air Sampler (VWR® Microbiological Air Sampler SAS Super ISO 100, Italy).

To grow bacteria, Columbia agar plates (Columbia agar with sheep blood (Contact Plate), Fisher Scientific GmbH, Germany) were used, while for fungi growing DG-18-agar plates (DG-18 Contact Plate, OXOID GmbH, Germany) were utilized.

## 2.3. Microbiology

The Columbia agar plates were incubated at  $36 \pm 1$  °C for 48 h. After 24 h, the agar plates were first checked and as well after 48 h to count the colony-forming units (CFU). Bacteria were determined (e.g., catalase, indole, oxidase) and Maldi-Tof (Vitek®MS, bioMérieux

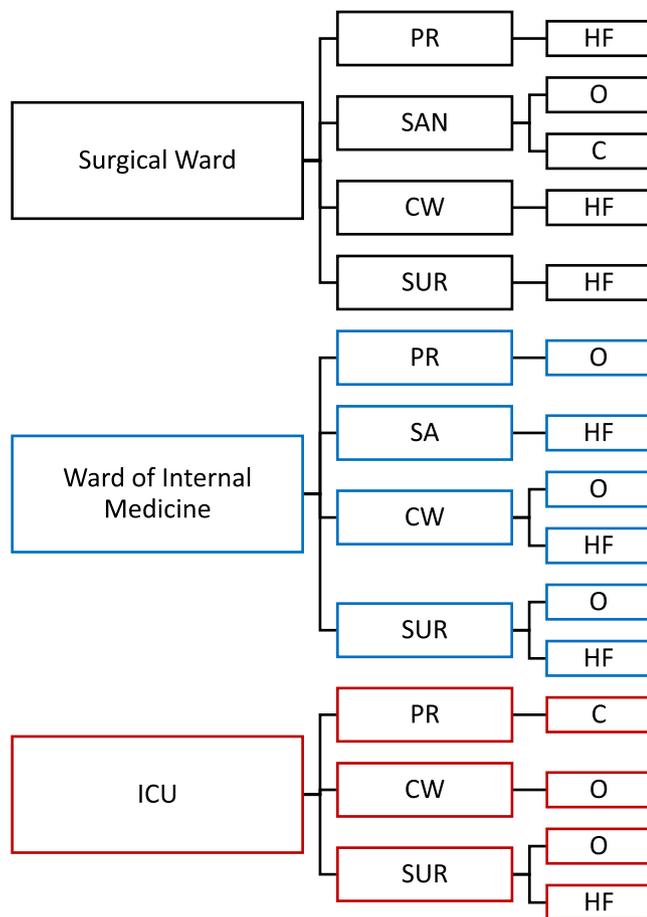


Fig. 4. Sample protocol for examined wards, rooms on wards and waste containers. PR, Patient Room, SAN, Sanitary Unit at Patient Room, CW, Clean Workroom, SUR, Soiled Utility Room, O, Open waste container, C, Closed waste container, HF, Hands-free waste container.

Deutschland GmbH, Germany) was used as a further diagnostic method to differentiate bacterial cultures.

Fungi were incubated for up to 7 days at  $30 \pm 1$  °C on DG-18-agar plates. The growth was controlled after 2, 4, and 7 days. Fungal species were subcultivated on Sabouraud agar (Sabouraud Dextrose Agar pH5.6, Fisher Scientific GmbH, Germany). Subsequently, the fungi were differentiated by light microscopy with identification keys (Atlas of clinical fungi, G.S. de Hoog, J. Guarro, J. Gene & M.J. Figueras 2001) or Maldi-Tof (Vitek®MS, bioMérieux Deutschland GmbH, Germany). Total viable counts were determined.

#### 2.4. Statistical analysis

The statistical analysis was conducted with SPSS (IBM, SPSS Statistics, 2017, USA). Generalized estimating equation (GEE) was used to allow the analysis of repeated measurements and to include the multiple variables of the study. In agreement with the distribution of the results, linear or poisson regression was chosen. A p-value < 0.05 was stated as significant. In order to the GEE, continuous variables are given as mean  $\pm$  SEM.

### 3. Results

#### 3.1. Qualitative analysis

Coagulase-negative *Staphylococci*, *Micrococci*, *Bacillus* spp. and *Streptococcus* spp. were the most frequently detected bacteria in our

samples. Less frequent bacterial species that were identified included *Corynebacterium* spp. and *Enterococcus casseliflavus*.

*Aspergillus fumigatus* and *Rhizopus* sp. were the most frequently detected fungi isolates. Other *Aspergillus* species, *Mycelia sterilia*, *Fusarium* and *Penicillium* were found infrequently. A qualitative analysis of the determined microorganisms is shown in Fig. 5.

While bacteria were found in all samples performed (387/387 measurements, 100%), fungi were detected much less frequently in air samples (207/387 measurements, 53.5%).

#### 3.2. Quantitative analysis

Results from the impactor air samples are shown in Table 1. Total viable counts up to 608 CFU/m<sup>3</sup> were measured. The lowest number of bacteria was found for C. The highest bacterial count was observed for HF, followed by O. No significant differences for total bacterial count between O, HF, or C waste containers were found.

The lowest number of fungi were detected in the HF waste containers. The detected fungal counts for O were significantly higher than the counts for HF. Compared to O, lower fungal counts were detected for C (Table 2).

The samples directly above the waste container show higher air contamination levels than the reference samples >1 m away from the waste container for both the bacteria and fungi samples. However, no significant difference in the measured airborne count was found between the type of sample for either bacteria or fungi. (Table 3)

### 4. Discussion

#### 4.1. Previous studies and reference limits

In the current study, we investigated the influence of waste container construction on the release of microorganisms. We quantitatively and qualitatively examined the number of airborne microorganisms from O, HF, and C waste containers.

Mandal and Brandl stated in their work that there are no generally valid, internationally accepted limits for airborne microorganisms (Brandl, 2011). That assertion is supported by a note from the German Social Accident Insurance (DGUV), stating that “there are currently no binding limit values or standard concentrations in Germany for assessing the air in indoor workplaces in terms of biological parameters.” (Hahn and Kleine, 2013). Therefore, the results of our study were compared with previous studies (Augustowska and Dutkiewicz, 2006; Cabo Verde et al., 2015; Zemouri et al., 2017) and reference limits (Nathanson, 1995).

#### 4.2. Discussion of the current study results

The airborne bacteria and fungi detected in our study were also found in previous studies investigating air contamination in hospitals (Zemouri et al., 2017). These mainly include transient, non-pathogenic microorganisms.

However, *Aspergillus fumigatus* was found in the air samples at all three types of waste containers. This microorganism is of particular interest as it represents one of the most important airborne facultative pathogenic fungi for nosocomial infections of immunocompromised patients (Brakhage, 2005). Although previous studies have reported the presence of *Aspergillus* on wards and ICU (Goncalves et al., 2018), the detection and presence of this fungus especially in the ICU in the current study needs further investigation. The development of fungal spores due to the composition of the waste content itself is not to be expected because of the long propagation time of fungi and the daily change of the waste bags. Jedlicka et al. showed that fungal spores were released into the ambient air from HF waste containers added with *Aspergillus niger* (Jedlicka et al., 2012). As already successfully showed once by Jedlicka et al., constructions of waste containers, which minimize the vortex

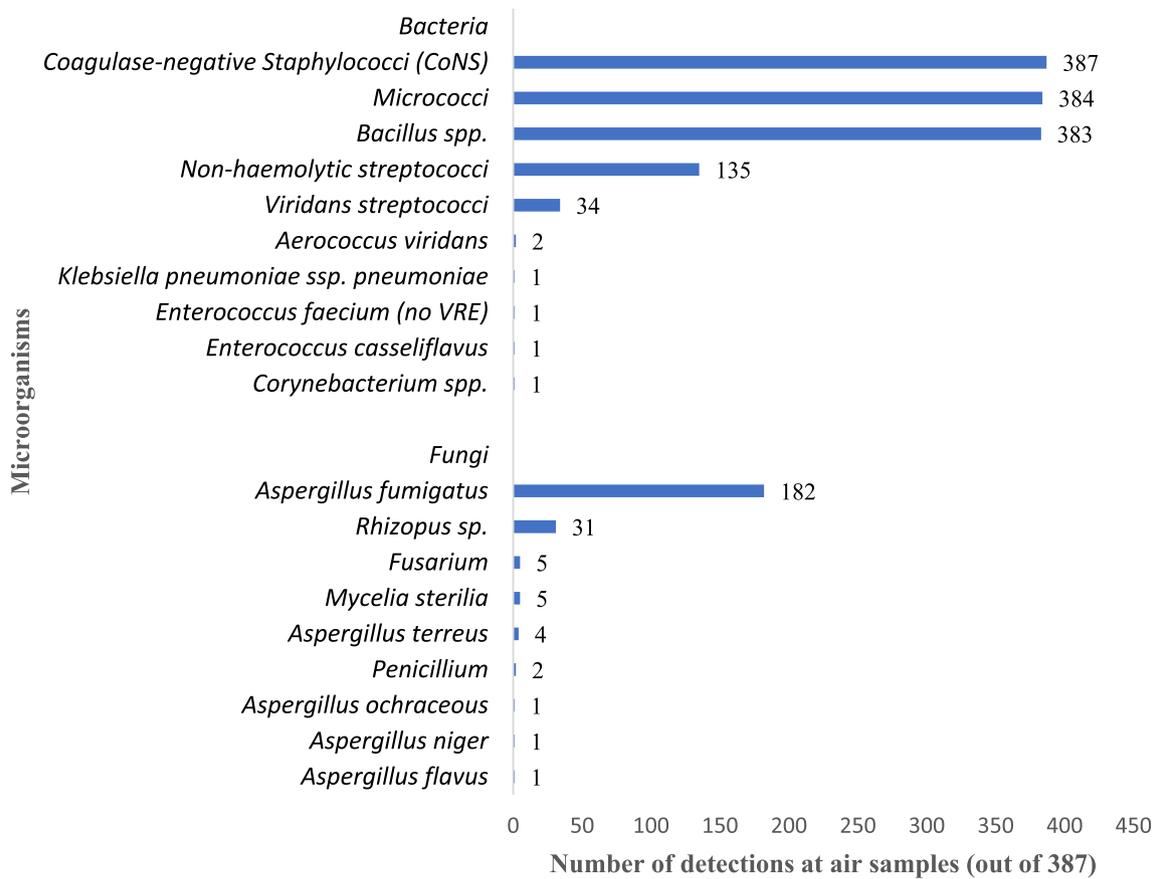


Fig. 5. Qualitative and quantitative analysis of determined microorganisms.

Table 1

Quantitative analysis of detected bacteria.

Type of the waste container	Number of samples N	Mean CFU/m <sup>3</sup>	SEM
O	147	126.28 <sup>a</sup>	9.700
C	64	114.74 <sup>a</sup>	12.994
HF	195	129.28 <sup>a</sup>	5.244

CFU, colony-forming units.

SEM, Standard error of the mean.

Means in a column with superscripts without a common letter differ, P < 0.05.

Table 2

Quantitative analysis of the detected fungi for the impactor air samples.

Type of the waste container	Number of samples N	Mean CFU/m <sup>3</sup>	SEM
O	147	2.32 <sup>a</sup>	0.155
C	64	2.08 <sup>ab</sup>	0.236
HF	195	1.97 <sup>b</sup>	0.177

CFU, colony-forming units.

SEM, Standard error of the mean.

Means in a column with superscripts without a common letter differ, P < 0.05.

effect and thus the release of mold spores, should be examined.

C showed the least number of airborne bacterial counts suggesting them to be the best method of waste disposal of non-infectious waste at hospitals and medical facilities from the point of view of bacterial air contamination. For HF and O, higher microbial counts were found. However, there is no significantly higher release of microorganisms from O or HF in contrast to C waste containers, resulting in that all three types of tested waste containers are suitable for the collection of non-infectious hospital waste from the perspective of bacterial air

Table 3

Quantitative comparison between the results of the test samples and the reference samples for bacteria and fungi.

Type of sample	Mean CFU/m <sup>3</sup> (Bacteria)	SEM (Bacteria)	Mean CFU/m <sup>3</sup> (Fungi)	SEM (Fungi)
Test sample	125.89 <sup>a</sup>	6.817	2.22 <sup>b</sup>	0.147
Reference sample	120.98 <sup>a</sup>	8.171	2.02 <sup>b</sup>	0.155

CFU, colony-forming units.

SEM, Standard error of the mean.

Means in a column with superscripts without a common letter differ, P < 0.05.

contamination.

This result is supported by the fact, that the determined total viable counts for bacteria for all examined waste containers are in line with or even slightly below the counts reported in previous studies (Augustowska and Dutkiewicz, 2006; Cabo Verde et al., 2015; Zemouri et al., 2017) and reference limits (Nathanson, 1995).

For the fungal air contamination counts, the lowest values were found for HF waste container, while O showed the highest contamination counts. A significant difference was found between the measured values for HF and O. Due to the very low fungal air contamination counts for all tested waste container types (1.97–2.32 CFU/m<sup>3</sup>), no clinical relevance can be interpreted from this statistical significance. The examined fungal contamination values are also within or even below published counts from previous airborne fungal measurements (Zemouri et al., 2017).

When the results of the bacterial and fungal air measurements are considered together, C waste containers are preferable to HF and O from the point of view of microbiological air contamination, even though the overall differences between the three examined waste containers are

small. However, hygienic considerations must also be taken into account when discussing which waste container is best suited for the collection of non-infectious waste in hospitals.

The comparisons between the test samples and the reference samples show that for both bacteria and fungi the measured microbial counts for the reference samples are below those of the test samples. However, there is no statistically significant deviation for either bacteria or fungi. Nevertheless, these results show that the examined waste containers influence the contamination of their ambient air. Therefore, their influence on microbial air contamination must be closely controlled, especially at sensitive sites such as hospitals.

Waste containers that improve the disadvantages of the examined waste containers in our study should be developed and investigated in the future. These disadvantages include hand opening required for the C, the disadvantageous vortex effect when the opening mechanism is actuated for the HF, and the lack of coverage for the O. Various studies have now started to address this issue for better control of microbial air contamination (Jedlicka et al., 2012; Samann, 2017).

#### 4.3. Hygienic aspects of waste collection

As a basis for a low microbial load, uniform hygiene standards apply to all three tested containers, which must be adhered to at all times. This includes the regular replacement of waste containers when they are full or after 24 h at the latest. Furthermore, the waste must be “collected directly at the point of generation in tear-resistant, moisture-proof and leak-proof waste bags and transported in securely closed bags to the central collection point without being sorted or transferred from one bag to another.” (LAGA, 2021). It is also important to clean the waste containers constantly with disinfectant at regular intervals, both outside and inside. It should also be taken into account that, when using the C, hand contact is necessary to open the lid. This in turn requires additional hand and surface disinfection after the use of C to prevent transmission of pathogens (World Health Organization, 2009). Thus, the microbial load can be reduced within the different waste containers and in their ambient air.

#### 4.4. Limitations

Finally, it is important to note that the study had certain limitations as we deliberately decided against laboratory measurements to take account of the complex waste management situation at a hospital.

Firstly, it was not possible to assemble a “standard” waste, as each waste composition was different due to different therapies, false drops of waste, and the individuality of the patients.

We therefore initially planned a waste sorting. After the last air measurement (after 24 h at ICU or 48 h at the other examined wards), the waste bags were taken to the central waste collection point and sorted into the categories “non-medical waste versus medical waste” and “organic waste versus inorganic waste”. The individual waste fractions were weighed for subsequent evaluation. Unfortunately, we discovered that the content of waste bags for which the last sample was taken after a waiting time of 48 h could often no longer be separated into their original waste fractions. Thus, we found for example partly leaked liquid canisters or dressings absorbed with liquids. Due to this, only 126 of the 387 sampled waste containers (32.6%) could be sorted correctly by us. We therefore decided against using these data for our statistical analysis or waste composition information in our manuscript.

In order to nevertheless obtain meaningful data, we ran five sample cycles to obtain a statistical average of the quantitative and qualitative results.

Secondly, the three examined waste container types have different capacities. While the O can carry 50 l waste bags, the HF and C waste containers at the examined hospital are designed for waste bags of 70 l. The different volumes are due to the different manufacturers of the waste containers used in the hospital. Standardization of the volumes of

different waste containers was therefore not possible.

Lastly, the samples were collected during the current ward operation to obtain data on a daily clinical routine. Variables, such as the behavior of the patients, nursing and cleaning personnel, as well as activities such as ventilating the rooms could not be controlled as in laboratory tests. To minimize inaccuracies, extensive preparatory measures were taken. These included inspections of the wards under examination, providing replacement waste containers as well as giving written and oral instructions to the clinic and cleaning personnel.

## 5. Conclusion

As waste containers are used in hospitals worldwide, their impact on microbial contamination of the ambient air needs to be investigated, controlled and reduced as much as possible, especially in view of the major challenge of nosocomial infections.

It could be shown in our study that the waste containers in the sampled hospital influence the contamination of the ambient air. From a microbiological point of view, C waste containers should be preferred to HF and O waste containers.

However, until waste container constructions are available that eliminate the disadvantages of each of the three waste containers examined by us, a compromise must be made between reducing microbial air contamination, hygienic considerations (such as opening a waste lid by hand), and practicable waste management at hospitals.

Our results, experiences and limitations of the study can on the one hand serve as a platform for the study design of future investigations. Concerning the control of the release of microorganisms into the ambient air from waste containers, studies should be conducted regarding the influence of the dropped waste fractions on the release of microorganisms from waste containers in hospitals and on other construction forms of waste containers for the collection of non-infectious waste.

On the other hand, our study can serve in the development of guidelines and limits for the control of microbial contamination in medical facilities and hospitals.

## Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

## Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

## Acknowledgments

The authors would like to thank the reviewers for their valuable comments, which led to an improved manuscript in terms of both quality and style. Furthermore, the authors acknowledge their colleagues for their invaluable contributions.

## Appendix A. Supplementary material

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.031>.

## References

- (LAGA), B.L.-A.A., 2021. Vollzugshilfe zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes. 43.
- Askarian, M., Heidarpoor, P., Assadian, O., 2010. A total quality management approach to healthcare waste management in Namazi Hospital, Iran. *Waste Manag.* 30, 2321–2326 &&&.

- Augustowska, M., Dutkiewicz, J., 2006. Variability of airborne microflora in a hospital ward within a period of one year. *Ann. Agric. Environ. Med.* 13, 99–106.
- Beggs, C.B., 2016. The airborne transmission of infection in hospital buildings: fact or fiction? *Indoor Built Environ.* 12, 9–18.
- Beghdadi, B., Ghomari, O., Taleb, M., Fanello, S., 2010. Implementation of WHO healthcare waste management (HCWM) approach in an Algerian hospital. *Waste Manag.* 30, 162–163.
- Brakhage, A.A., 2005. Systemic fungal infections caused by *Aspergillus* species: epidemiology, infection process and virulence determinants. *Curr. Drug Targets* 6, 875–886.
- Brandl, H., 2011. Bioaerosols in indoor environment - a review with special reference to residential and occupational locations. *Open Environ. Biol. Monit. J.* 4, 83–96.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2001. *Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV)*, p. 32.
- Cabo Verde, S., Almeida, S.M., Matos, J., Guerreiro, D., Meneses, M., Faria, T., Botelho, D., Santos, M., Viegas, C., 2015. Microbiological assessment of indoor air quality at different hospital sites. *Res. Microbiol.* 166, 557–563.
- Caggiano, G., Napoli, C., Coretti, C., Lovero, G., Scarafie, G., De Giglio, O., Montagna, M. T., 2014. Mold contamination in a controlled hospital environment: a 3-year surveillance in southern Italy. *BMC Infect. Dis.* 14, 595.
- Cole, E.C., Cook, C.E., 1998. Characterization of infectious aerosols in health care facilities: an aid to effective engineering controls and preventive strategies. *Am. J. Infect. Control* 26, 453–464.
- Fekadu, S., Getachewu, B., 2015. Microbiological assessment of indoor air of teaching hospital wards: a case of Jimma University Specialized Hospital. *Ethiop. J. Health Sci.* 25, 117–122.
- Fernstrom, A., Goldblatt, M., 2013. Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. *J. Pathog.* 2013, 493960.
- Ghosh, B., Lal, H., Srivastava, A., 2015. Review of bioaerosols in indoor environment with special reference to sampling, analysis and control mechanisms. *Environ. Int.* 85, 254–272.
- Gladding, T.L., Gwyther, C.L., 2017. A study of the potential release of bioaerosols from containers as a result of reduced frequency residual waste collections. *Sci. Total Environ.* 576, 481–489.
- Goncalves, C.L., Mota, F.V., Ferreira, G.F., Mendes, J.F., Pereira, E.C., Freitas, C.H., Vieira, J.N., Villarreal, J.P., Nascete, P.S., 2018. Airborne fungi in an intensive care unit. *Braz. J. Biol.* 78, 265–270.
- Hahn, N., Kleine, H., 2013. *Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld*. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin.
- Haque, M., Sartelli, M., McKimm, J., Abu Bakar, M., 2018. Health care-associated infections - an overview. *Infect Drug Resist.* 11, 2321–2333.
- Hiwar, W., King, M.F., Shuweihi, F., Fletcher, L.A., Dancer, S.J., Noakes, C.J., 2021. What is the relationship between indoor air quality parameters and airborne microorganisms in hospital environments? A systematic review and meta-analysis. *Indoor Air* 31, 1308–1322.
- Jedlicka, S.S., Stravitz, D.M., Lyman, C.E., 2012. Airborne microorganisms from waste containers. *Ind. Health* 50, 548–555.
- Kim, K.Y., Kim, Y.S., Kim, D., 2010. Distribution characteristics of airborne bacteria and fungi in the general hospitals of Korea. *Ind. Health* 48, 236–243.
- Knowlton, S.D., Boles, C.L., Perencevich, E.N., Diekema, D.J., Nonnenmann, M.W., Program, C.D.C.E., 2018. Bioaerosol concentrations generated from toilet flushing in a hospital-based patient care setting. *Antimicrob. Resist. Infect. Control* 7, 16.
- Krist, H., Hoppenheidt, K., Muecke, W., 2005. *Hygiene of Health Service Waste*. Utz Verlag, Munich.
- Leung, M., Chan, A.H., 2006. Control and management of hospital indoor air quality. *Med. Sci. Monit.* 12, SR17–23.
- Li, C.S., Hou, P.A., 2003. Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms. *Sci. Total Environ.* 305, 169–176.
- Lugauskas, A., Krikstaponis, A., 2004. Filamentous fungi isolated in hospitals and some medical institutions in Lithuania. *Indoor Built Environ.* 13, 101–108.
- Madsen, A.M., Frederiksen, M.W., Bjerregaard, M., Tendal, K., 2020. Measures to reduce the exposure of waste collection workers to handborne and airborne microorganisms and inflammogenic dust. *Waste Manag.* 101, 241–249.
- McCree, R.B., 2009. Nosocomial or hospital-acquired infections: an overview. *Dis. Mon.* 55, 422–438.
- Mingotti, N., Grogono, D., Dello Ioio, G., Curran, M., Barbour, K., Taveira, M., Rudman, J., Haworth, C.S., Floto, R.A., Woods, A.W., 2021. The impact of hospital-ward ventilation on airborne-pathogen exposure. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 203, 766–769.
- Motta, O., Zarrella, I., Cucciniello, R., Capunzo, M., De Caro, F., 2018. A new strategy to control the proliferation of microorganisms in solid hospital waste and the diffusion of nosocomial infections. *Infez. Med.* 26, 210–215.
- Napoli, C., Tafuri, S., Montenegro, L., Cassano, M., Notarnicola, A., Lattarulo, S., Montagna, M.T., Moretti, B., 2012. Air sampling methods to evaluate microbial contamination in operating theatres: results of a comparative study in an orthopaedics department. *J. Hosp. Infect.* 80, 128–132.
- Nathanson, T., 1995. *Indoor Air Quality in Office Buildings: A Technical Guide*. Health Canada, Ottawa.
- Neely, A.N., Maley, M.P., Taylor, G.L., 2003. Investigation of single-use versus reusable infectious waste containers as potential sources of microbial contamination. *Am. J. Infect. Control* 31, 13–17.
- Nicolle, M.C., Benet, T., Vanhems, P., 2011. *Aspergillus*: nosocomial or community-acquired? *Med. Mycol.* 49 (Suppl 1), S24–29.
- Offermann, F.J., Eagan, A., Offermann, A.C., Subhash, S.S., Miller, S.L., Radonovich, L.J., 2016. Potential airborne pathogen transmission in a hospital with and without surge control ventilation system modifications. *Build. Environ.* 106, 175–180.
- Okten, S., Asan, A., 2012. Airborne fungi and bacteria in indoor and outdoor environment of the Pediatric Unit of Edirne Government Hospital. *Environ. Monit. Assess.* 184, 1739–1751.
- Park, J.H., Ryu, S.H., Lee, J.Y., Kim, H.J., Kwak, S.H., Jung, J., Lee, J., Sung, H., Kim, S. H., 2019. Airborne fungal spores and invasive aspergillosis in hematologic units in a tertiary hospital during construction: a prospective cohort study. *Antimicrob. Resist. Infect. Control* 8, 88.
- Revelas, A., 2012. Healthcare - associated infections: A public health problem. *Niger Med. J.* 53, 59–64.
- Runner, J.C., 2007. Bacterial and viral contamination of reusable sharps containers in a community hospital setting. *Am. J. Infect. Control* 35, 527–530.
- Samann, F., 2017. The design and implementation of smart trash bin. *Acad. J. Nawroz Univ.* 6, 141–148.
- Sawalem, M., Selic, E., Herbell, J.D., 2009. Hospital waste management in Libya: a case study. *Waste Manag.* 29, 1370–1375.
- Tudor, T.L., Woolridge, A.C., Phillips, C.A., Holliday, M., Laird, K., Bannister, S., Edgar, J., Rushbrook, P., 2010. Evaluating the link between the management of clinical waste in the National Health Service (NHS) and the risk of the spread of infections: a case study of three hospitals in England. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 213, 432–436.
- Verma, K., Jain, V., Rathore, A., 2003. Role of *Aspergillus* Spp. in causing possible nosocomial aspergillosis among immunocompromised cancer patients. *Indian J. Allergy Asthma Immunol.* 17, 77–83.
- Vonberg, R.P., Gastmeier, P., 2006. Nosocomial aspergillosis in outbreak settings. *J. Hosp. Infect.* 63, 246–254.
- Welte, T., 2013. Nosocomial infections - a present and future challenge. *Dtsch Arztebl. Int.* 110, 625–626.
- World Health Organization, 2009. *Guidelines on Hand Hygiene in Health Care, WHO Guidelines on Hand Hygiene in Health Care: First Global Patient Safety Challenge Clean Care Is Safer Care*. World Health Organization, Geneva.
- Zemouri, C., de Soet, H., Crielaard, W., Laheij, A., 2017. A scoping review on bio-aerosols in healthcare and the dental environment. *PLoS ONE* 12, e0178007.

## 6 Diskussion

### 6.1 Ergebnisse und Diskussion der Forschungsziele

Die vorliegende Studie zeigt folgende Ergebnisse auf:

Es konnte mittels der Vergleichsproben gezeigt werden, dass die getesteten Abfallbehälter einen Einfluss auf die mikrobielle Kontamination ihrer Umgebungsluft haben. Dabei wurden Unterschiede zwischen den getesteten Abfallbehältern gefunden (Forschungsziel 1).

Aus quantitativer Sicht zeigten C-Behälter bei Betrachtung der Proben auf Bakterien und Pilzsporen insgesamt geringere Luftkontaminationswerte im Vergleich zu HF- und O-Behältern. Die gefundenen Luftkontaminationswerte lagen dabei für alle drei getesteten Abfallbehälter in der Nähe bzw. sogar unterhalb der publizierten Werte aus den Vergleichsstudien der Übersichtsarbeit (Zemouri et al. 2017). Des Weiteren wurden bis auf eine Auswertung (Vergleich O- zu HF-Behältern für die Testung auf Pilzsporen) keine signifikanten Unterschiede ( $p < 0,05$ ) bei der statistischen Auswertung der quantitativen Messungen zwischen den drei beprobten Abfallbehältern gefunden. Aus den Ergebnissen lässt sich folgern, dass der C-Behälter aus mikrobiologischer Sicht den besten der drei getesteten Abfallbehältertypen darstellt. Da die Unterschiede zwischen den beprobten Behältern jedoch nicht signifikant sind und die Messwerte auf dem Niveau vorheriger Studienergebnisse liegen, können alle drei Abfallbehälter als geeignet für die Sammlung nicht-infektiöser Patientenabfälle im Krankenhaus angesehen werden. Bei der qualitativen Analyse der untersuchten Luftproben zeigte sich, dass ähnlich wie in vorherigen Studien hauptsächlich nicht-pathogene Mikroorganismen gefunden wurden. Es konnte jedoch in den Luftproben von allen drei getesteten Abfallbehältern der fakultativ-pathogene Pilz *Aspergillus fumigatus* nachgewiesen werden. Dieser Pilz ist von besonderem klinischem Interesse, da er einen der wichtigsten Erreger nosokomialer Infektionen bei immunkompromittierten Patienten darstellt (Brakhage 2005). Der Ursprung dieses Pilzes in den Luftproben muss daher weiter untersucht werden, um zukünftig das Vorkommen dieses Pilzes in der Umgebungsluft zu minimieren (Forschungsziel 2).

Neben der Luftkontamination durch Abfallbehälter spielen auch weitere hygienische Faktoren eine wichtige Rolle bei der Abfallerfassung. Dazu gehören Hygienestandards, die dauerhaft eingehalten werden müssen, wie die regelmäßige Leerung der Abfallbehälter nach maximal 24 Stunden und die Sammlung des Abfalls in „reißfesten, feuchtigkeitsbeständigen und dichten Behältnissen“ (LAGA 2021). Des Weiteren müssen die Abfallbehälter sowohl von außen, als auch von innen regelmäßig gesäubert und desinfiziert werden.

Für C-Behälter zeigte sich der Nachteil, dass bei der Benutzung eine Hand zum Öffnen des Deckels benötigt wird. Damit wird im Vergleich zu den anderen beiden getesteten Abfallbehältern weitere Hand- und Oberflächendesinfektion notwendig. Neben der in unserer Studie getesteten Freisetzung von Mikroorganismen aus dem abgeworfenen Abfall kommt somit für C-Behälter eine weitere mögliche Quelle der Kontamination durch den Deckel des Abfallbehälters hinzu, welcher bei den anderen beiden Abfallbehältern (O- und HF-Behälter) aus Konstruktionsgründen nicht vorhanden ist.

Des Weiteren ist der Vorgang des Abwerfens von Abfall in C-Behälter aufgrund sich daran anschließender, zusätzlicher Hand- und Oberflächendesinfektion aufwändiger und zeitintensiver als beim Abwurf von Abfällen in O- oder HF-Behälter. Das bedeutet im klinischen Alltag für das Pflegepersonal eine zeitliche Mehrbelastung. Das Abwerfen von Abfall ist eine Routine-Aufgabe, welche vielfach an einem Arbeitstag durchgeführt wird. Die Zeit, welche durch die Nutzung von O- oder HF-Behältern im Gegensatz zur Nutzung von C-Behältern eingespart wird, kann durch das Pflegepersonal zur Ausführung anderer Arbeiten genutzt werden.

Diese Aspekte müssen neben den mikrobiologischen Untersuchungen mit in die Gesamtbewertung für die klinische Nutzung verschiedener Abfallbehälter zur Sammlung nicht-infektiöser Patientenabfälle einfließen. Während C-Behälter in unserer Studie leicht geringere Werte für die Freisetzung von Mikroorganismen im Gegensatz zu O- und HF-Behältern aufweisen (nicht signifikante Unterschiede), zeigen sich deutliche Nachteile für C-Behälter während ihrer klinischen Nutzung beim Abwurf von Abfall im Vergleich zu den beiden anderen Abfallbehältertypen (Forschungsziel 3).

## 6.2 Limitationen

Da die Untersuchungen im laufenden Krankenhausbetrieb durchgeführt wurden, konnten nicht alle Variablen dauerhaft kontrolliert werden. Die vorliegende Studie weist daher verschiedene Limitationen auf.

Zunächst war es nicht möglich, einen „Standard“-Abfall zu definieren, da die Abfallzusammensetzung je nach Erkrankung und Patient variiert. Auch der Abwurf von Abfällen, die nicht für die getesteten Abfallbehälter bestimmt waren (Fehlabwürfe), konnte nicht ausgeschlossen werden. Diese Limitation der Studie sollte durch die Abfallsortierung im Anschluss an die Luftproben wissenschaftlich erfasst werden. Aufgrund der langen Standzeit der Abfallbehälter für die Beprobung (bis 48 h) mussten wir leider feststellen, dass der Abfall oft nicht mehr in einzelne Fraktionen getrennt werden konnte. Es wurden beispielsweise ausgelaufene Flüssigkeiten oder mit Flüssigkeiten aufgesogene Verbände in den Abfallsäcken gefunden. Aus diesem Grund konnte lediglich ein Drittel der beprobten Abfallbehälter auch nach den aufgestellten Variablen sortiert werden. In Folge der geringeren statistischen Datenmenge entschieden wir uns gegen die Aufnahme der Ergebnisse in unsere Studie. Wir empfehlen jedoch für zukünftige Studien, das Studiendesign so anzupassen, dass eine Abfallsortierung mit belastbaren Ergebnissen durchgeführt werden kann, um den Einfluss des abgeworfenen Abfalls auf die Luftkontamination besser einschätzen zu können.

Die beprobten Abfallbehälter haben aufgrund ihrer Bereitstellung durch verschiedene Hersteller nicht alle das gleiche Fassungsvermögen. Während O-Behälter Abfallsäcke mit 50 l Volumen fassen, sind es bei C- und HF-Behältern jeweils Abfallsäcke mit 70 l Volumen. Um die aktuelle Abfallbehälter-Situation im beprobten Krankenhaus zu analysieren, wurde diese Limitation bewusst akzeptiert. In zukünftigen Studien könnte dies jedoch umgangen werden, indem Abfallbehälter mit gleichem Fassungsvermögen für alle in der Studie untersuchten Konstruktionsformen bereitgestellt werden.

Darüber hinaus wurden die Proben während des laufenden Krankenhausbetriebes genommen. Das Verhalten der Patienten, des medizinischen Personals und des Reinigungspersonals konnte nicht dauerhaft kontrolliert werden. So war es uns unter anderem nicht möglich, die Dauer des Lüftens durch Öffnung der Fenster im

Patientenzimmer zu regulieren. Um diesen Fehler zu minimieren, wurden die beprobten Stationen vorher begutachtet und sowohl das Pflege- als auch das Reinigungspersonal vor den Untersuchungen mündlich und schriftlich instruiert. Des Weiteren wurden Ersatzbehälter bereitgestellt, um eine Überfüllung der untersuchten Abfallbehälter zu verhindern.

### 6.3 Ausblick und zukünftige Studien

Unsere Studie hat gezeigt, dass Abfallbehälter einen Einfluss auf die mikrobielle Kontamination der Umgebungsluft haben. Aufgrund der großen Anzahl möglicher Einflüsse auf die mikrobielle Kontamination sind weitere Studien mit dem Fokus auf einzelne Variablen notwendig, um herauszufinden, wie groß der Einfluss der einzelnen Parameter auf die Gesamtkontamination ist. Sowohl unser Studiendesign, als auch die Vorgehensweise bei der Durchführung und Auswertung der Proben können dafür als Grundlage dienen.

Des Weiteren sollten neuartige Abfallbehälter entwickelt und getestet werden, welche die Nachteile der in unserer Studie getesteten Abfallbehälter verbessern. Diese sind für C-Behälter der mit der Hand zu öffnende Deckel, für HF-Behälter der Vortex-Effekt, welcher zur Verwirbelung der Luft beim Öffnen und Schließen des Abfallbehälters führt (Jedlicka et al. 2012) und für O-Behälter die höhere mikrobielle Kontamination aufgrund des fehlenden Verschlusses.

Ziel sollte es daher sein, in Zukunft einen sowohl aus mikrobiologischer, als auch aus hygienischer und arbeitsorganisatorischer Sicht zufriedenstellenden Abfallbehälter für die Sammlung von nicht-infektiösem Krankenhausabfall zu entwickeln. Dazu wurden inzwischen erste Studien, welche die Entwicklung moderner, digital unterstützter Abfallbehälter beschreiben, veröffentlicht (Samann 2017).

## 7 Fazit

Die Fragestellung der mikrobiellen Luftkontamination ausgehend von Abfallbehältern mit nicht-infektiösen Abfällen stellt sich aus Sicht der Infektionsvermeidung für jede medizinische Einrichtung und insbesondere für Krankenhäuser der Maximalversorgung mit teilweise immunkompromittierten Patienten.

Unsere Studie hat gezeigt, dass die Abfallbehälter im untersuchten Krankenhaus die sie umgebende Luft mikrobiell beeinflussen. Dabei stellte sich heraus, dass aus mikrobiologischer Sicht C-Behälter für die Sammlung nicht-infektiöser Krankenhausabfälle besser geeignet sind als HF- bzw. O-Behälter.

Für den klinischen Einsatz muss jedoch beachtet werden, dass C-Behälter im Hinblick auf hygienische Aspekte (Öffnen des Deckels mit der Hand) Nachteile gegenüber den anderen beiden getesteten Abfallbehältertypen aufweisen, so dass keine allgemeine Empfehlung für die priorisierte Nutzung von C-Behältern in Krankenhäusern und medizinischen Einrichtungen gegenüber O- oder HF-Behältern ausgesprochen werden kann.

Unsere Ergebnisse können als Richtwerte für die mikrobielle Luftkontamination von Abfallbehältern mit nicht-infektiösem Patientenabfall dienen. Gleichzeitig sind weitere, zukünftige Studien nötig, um den Einfluss multipler Faktoren auf die mikrobielle Luftkontamination von Abfallbehältern genauer einschätzen zu können.

## 8 Literaturverzeichnis

- Brakhage AA. 2005. Systemic fungal infections caused by *Aspergillus* species: epidemiology, infection process and virulence determinants. *Curr Drug Targets*, 6 (8):875-886.
- Hahn N, Kleine H. 2013. Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV).
- Jäger E, Kalnowski G, Rüdén H. 1986. Untersuchung von krankenhausspezifischen Abfällen auf hygienische Anforderungen an die Entsorgung; Forschungsbericht 10 3 02 111. Berlin: Umweltbundesamt.
- Jäger E, Xander L, Ruden H. 1989. Medical waste. 1. Microbiologic studies of wastes of various specialties at a large and small hospital in comparison to housekeeping waste. *Zentralbl Hyg Umweltmed*, 188 (3-4):343-364.
- Jedlicka SS, Stravitz DM, Lyman CE. 2012. Airborne microorganisms from waste containers. *Ind Health*, 50 (6):548-555.
- Koch-Institut R. 2016. Definitionen nosokomialer Infektionen für die Surveillance im Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System (KISS-Definitionen) Robert Koch-Institut.
- Krist H, Hoppenheidt K, Muecke W. 2005. *Hygiene of Health Service Waste*. Munich: Utz Verlag.
- LAGA BL-AA. 2021. Vollzugshilfe zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes.43.
- Madsen AM, Frederiksen MW, Bjerregaard M, Tendal K. 2020. Measures to reduce the exposure of waste collection workers to handborne and airborne microorganisms and inflammogenic dust. *Waste Manag*, 101:241-249.
- Rüdén H, Jäger E. 1987. Über die mikrobielle Kontamination von Krankenhausabfällen und deren Gefährdungspotential Hygienische Maßnahmen bei der Ver- und Entsorgung im Krankenhaus: (ibs Instrumente, Wäsche und Abfälle); Referate des 4. Berliner Krankenhaushygienischen Symposiums des Instituts für Hygiene der Freien Universität Berlin am 31.11.1984. Berlin: Rüdén, H., 33-46.

- Samann FEF. 2017. The Design and Implementation of Smart Trash Bin. Academic Journal of Nawroz University, 6 (3):141-148.
- Schulze-Röbbecke R. 2015. Übertragung nosokomialer Infektionen und Prinzipien der Transmissionsprävention. Krankenhaushygiene up2date, 09 (04):281-300.
- Zemouri C, de Soet H, Crielaard W, Laheij A. 2017. A scoping review on bio-aerosols in healthcare and the dental environment. PLoS One, 12 (5):e0178007.

## 9 Anhang

### 9.1 Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Doktorvater Prof. Dr. Kipp für die Übernahme der Betreuung meiner Arbeit, die vielen Korrekturlesungen und die Förderung meiner wissenschaftlichen Ausbildung.

Weiterhin möchte ich mich bei Prof. Dr. Mathias Pletz und bei Oberärztin Dr. Ute-Helke Dobermann für die Überlassung des Themas und die Hilfe bei der wissenschaftlichen Erarbeitung und der logistischen Umsetzung der Beprobungen bedanken.

Einen besonderen Dank möchte ich an Herrn Dipl.-Ing. Dr. Hoffmann aussprechen, der in vielen persönlichen Gesprächen nicht nur meine wissenschaftliche Arbeit gefördert hat, sondern mich auch in Momenten der Unsicherheit und des Misserfolges unterstützt und motiviert hat, die Arbeit fortzuführen.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Dr. rer. pol. Dr. Thomas Lehmann für seine unermüdliche Hilfe bei der statistischen Planung der Probennahme und Auswertung der Ergebnisse und bei Frau Dr. rer. nat. Birgit Edel für Ihre Unterstützung bei der mikrobiologischen Analyse der Untersuchungen bedanken.

Ein großer Dank gilt allen Freunden und Bekannten, die mich an den verschiedensten Stellen bei der Durchführung der Arbeit unterstützt haben und die viele Stunden Zeit für das Korrekturlesen meines Papers und der Promotionsarbeit investiert haben.

Schlussendlich möchte ich mich bei meiner Familie bedanken. Vielen Dank für eure bedingungslose Unterstützung und Motivation bei der Erstellung der Arbeit.

## 9.2 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Prof. Dr. med. Frank Kipp

Prof. Dr. med. Mathias Pletz

Dr.-Ing. Marc Hoffmann

Dr. med. Ute-Helke Dobermann

Dr. rer. nat. Birgit Edel

Dr. rer. pol. Thomas Lehmann,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Ort, Datum

Unterschrift des Verfassers