



- ▶ **WISSEN SCHAFFT FORTSCHRITT®**
- ▶ **GWP WHITE PAPER UWS 20210913**
- ▶ **AUTOREN**

Dr. Christian Schurig  
M.Sc. Meteorology  
Leitung UWS  
Experte  
[christian.schurig@gwp.eu](mailto:christian.schurig@gwp.eu)

Dr. Julius A. Nickl  
Dipl. Chemiker  
Geschäftsführer  
Senior-Experte  
[julius.nickl@gwp.eu](mailto:julius.nickl@gwp.eu)

Robert Göbel  
Technischer Direktor  
Sunny Air Solutions GmbH  
[rgobel@sunnysolutions.com](mailto:rgobel@sunnysolutions.com)

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Raumluftfiltergeräte können eine wichtige Infektionsschutzmaßnahme im Rahmen der Pandemievorsorge sein. Der Vergleich unterschiedlicher Geräte fällt aufgrund unterschiedlicher Lüfterleistung, individuell resultierender Strömung und unterschiedlicher Entkeimungstechnologien schwer.

Dieses Dokument beschreibt die Entwicklung und Normierung eines Verfahrens zur Bestimmung der mikrobiellen Reinigungseffizienz in einem normierten Prüfraum. Zudem wurde ein technologie- und lüftungsleistungsunabhängiges Normierungsverfahren zum Vergleich unterschiedlicher Geräte anhand der Raumgröße mittels zweier Kennzahlen entwickelt.

Damit steht mit der GWP Arbeitsvorschrift 384 [12] ein direkter Gerätevergleich zur Verfügung, der nachvollziehbar, einfach umzusetzen ist und alle schwer zu fassende Geräteparameter aufsummiert: t50, t90 und Effizienz.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	1
2	Einführung	2
3	Experimentelles	3
4	Ergebnisse und Diskussion	4
4.1	Vergleich der natürlichen Abklingkurven	4
4.2	Vergleich der Reinigungsabklingkurven	5
4.3	Vergleich mit theoretisch möglicher Leistung	10
5	Zusammenfassung	12
6	Anhang	13
6.1	Literaturverzeichnis	13
7	Versionskontrolle	13

## 2 EINFÜHRUNG

Die Belastung einer Innenluft mit Mikroorganismen kann zu ernsthaften gesundheitlichen Problemen führen. Auch abseits besonders reglementierter Bereiche, wie OP-Sälen oder auch Lebensmittelproduktionsstätten, sind zulässige Keimbelastungen der Atemluft als maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) seitens der Berufsgenossenschaften geregelt. Ein breiteres öffentliches Interesse hat die Keimbelastung einer Innenluft im Zuge der SARS-CoV-2-Pandemie erfahren. Da das Coronavirus im Wesentlichen über die Atemluft übertragen wird, sind neben Lüftungsstrategien und Hygienekonzepten auch zunehmend technische Lösungen zur Raumluftentkeimung in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Diese Maßnahmen dienen unter anderem der Aufrechterhaltung eines Betriebs von Betrieben, Veranstaltungsstätten, Schulen und Kindergärten unter Pandemiebedingungen [1,2].

Technische Lösungen zur Raumluftentkeimung umfassen einerseits in einem Raum aufzustellende Geräte und andererseits in eine zentrale Lüftungsanlage zu integrierende Lösungen. Vor allem in Räumen aufzustellende Geräte können dabei einfach nachgerüstet werden und somit einen mit Augenmerk auf das Infektionsgeschehen sicheren Betrieb ermöglichen. Uns sind keine verbreiteten, normierte Prüfverfahren, die technisch relevant sind, bekannt.

Auf dem Markt befindliche Geräte basieren auf verschiedenen Technologien [3].

▶ Filter-basierte Geräte arbeiten nach dem HEPA-Prinzip (High Efficient Particulate Air (filter)), ähnlich der Luftaufbereitungsanlage für Reineräume. Keimbelastete Luft wird dabei mittels eines Gebläses angesaugt und durch einen Schwebstofffilter geleitet. In diesem sammeln sich Partikel einer bestimmten Größe, so auch Mikroorganismen. Mit zunehmender Belegung des Filters steigt der Druckabfall über den Filter an. Ein weiterer Betrieb des Geräts erfordert einen Austausch des Filters. Belastungen durch nichtlebende Aerosole werden ebenso aus der Innenluft entfernt; eine Abtötung eventuell vorhandener Keime erfolgt aber nicht.

▶ Im Unterschied zur Filtertechnologie wird bei der Verwendung von UVC-Strahlung die Keimbelastung der Innenluft direkt reduziert indem eventuell auftretende Keime abgetötet werden. Die Abluft dieser Geräte kann als weniger keimbelastet gelten, eine Reduktion der Aerosolbelastung erfolgt aber meist nicht. Die Effizienz dieser Entkeimungsmethode hängt

weniger von der Partikelgröße, als beim HEPA-Verfahren ab, sondern eher von der nötigen Strahlungsdosis des zu entkeimenden Mikroorganismus. Diese ist spezifisch für verschiedene Bakterien und Viren.

► Ein weiteres Verfahren zur Entkeimung basiert auf der Verneblung von Oxidationsmitteln, wie einer Wasserstoffperoxidlösung ( $H_2O_2$ ) oder Ozon ( $O_3$ ). Mit den Aerosolen der  $H_2O_2$ -Lösung bzw. des  $O_3$ -Gases in Kontakt kommende Mikroorganismen werden abgetötet in dem ihre Zellbestandteile oxidiert werden. Selbiges passiert auch mit den Zellen sich eventuell im Raum aufhaltender Personen. Aus diesem Grund dürfen  $H_2O_2$ - und  $O_3$ -basierte Entkeimungsgeräte nur bei Abwesenheit von Personen betrieben werden.

► Auch weitere Methoden wie thermisch, Ionisation, Hochspannungsabscheidung, Plasma uvm. sind bekannt.

Viele Hersteller solcher Geräte werben mit Entkeimungseffizienzen von 99,9 % und höher [4,5]. Ein direkter Vergleich verschiedener Geräte fällt aufgrund unterschiedlicher angewandter Technologien allerdings schwer. Zudem wird meist keine direkte Messung der Entkeimungseffizienz in keimbelasteten Innenräumen durchgeführt. Vielmehr wird seitens der Hersteller die Effizienz der jeweiligen Entkeimungsmethode hinsichtlich Modellkeimen, die direkt in das Gerät eingebracht werden, angegeben. Strömungsmechanische Erwägungen, wie die Durchmischung des Luftvolumens des zu entkeimenden Raumes, sowie das Verhältnis von Luftdurchsatz zur Effizienz der Entkeimung werden dabei vernachlässigt. Oder in anderen Worten: wie das Gerät in einem realen Raum arbeitet ist nicht bekannt.

Ein tieferes Verständnis der Effizienz zum Vergleich verschiedener Raumluftfiltergeräte zueinander erfordert die Ermittlung der mikrobiellen Leistung unter genormten Bedingungen in einem realistischen Umfeld. Um dieses Ziel (1) zu erreichen, wurde zunächst ein genormtes Prüfverfahren zum Vergleich verschiedener Geräte entworfen und validiert, vergleiche GWP AV 384. Dieses Verfahren ermöglicht den direkten Vergleich der Effizienz verschiedener Geräte gegenüber unterschiedlichen Modellkeimen (Ziel 2). Die daraus gewonnenen Daten zu Abklingzeiten und Effizienzen dienen der Geräteauswahl.

### 3 EXPERIMENTELLES

Die Ermittlung der Entkeimungseffizienz unterschiedlicher Geräte bedarf eines genormten Vorgehens. Zur Ermittlung der Luftentkeimungseffektivität wurde im Labormaßstab ein Prüfzelt (GWP mbH) mit einer Größe eines üblichen Raumes errichtet. In diesem Prüfzelt wird mittels Aerosolgenerators eine definierte Bakterienkonzentration mit den Labormodellorganismen *E. coli* K12 bzw. *B. subtilis* DSM 10 hervorgerufen. Zur Untersuchung wurden sehr gut charakterisierte, sichere Laborbakterienstämme verwendet [6,7], um die Gefährdung durch austretende Mikroorganismen auszuschließen.

Die Stämme wurden dabei mit Hinblick auf ihre UVC-Resistenz folgendermaßen ausgewählt: Die notwendige UVC-Strahlungsdosis zum Denaturieren des gramnegativen Bakteriums *E. coli* K12 entspricht in etwa der der zur Denaturierung des SARS-CoV-2-Virus notwendigen Strahlungsdosis (vergl. Tabelle 1). Zur Denaturierung des grampositiven Bakteriums *B. subtilis* DSM10 wird eine mindestens 5-fach höhere Strahlungsdosis benötigt. Folglich markieren die Ergebnisse der Prüfungen mit diesem Bakterium einen Extremwert und lassen sich auch auf andere Krankheitserreger übertragen (vergl. Tabelle 1).

Die Bakterienkonzentration zum Versuchsbeginn erreicht dabei einen Wert von ca. 5000 koloniebildenden Einheiten je  $m^3$  Luft und entspricht damit einer hochbelasteten Innenluft. Mit dem Abschluss der Verneblung erfolgt das Einschalten des zu untersuchenden Geräts. Im Verlauf des Experiments wird die Luft des Prüfzelts regelmäßig mittels Luftkeimsammlers und Agar-Platten beprobt. Die Auswertung der Agar-Platten erfolgt nach einer Bebrütung mittels des

Plattenzählverfahrens. Zum Abschluss der Prüfung werden in der Luft des Prüfzelts verbleibende Bakterien mittels eines Wasserstoffperoxidverneblers, UVC-Röhren und einer Zwangsentlüftung denaturiert, so dass eine saubere Atmosphäre für jede Prüfung zur Verfügung steht.

Tabelle 1: Erforderliche UVC-Strahlendosen zur Denaturierung der Modellkeime und verschiedener Krankheitserreger

Mikroorganismus	Strahlendosis zur Denaturierung (mWs/cm <sup>2</sup> )	Quelle
<i>Escherichia coli</i> K12	4 - 7	Walker et al. 2007, Heßling et al. 2020
<i>Bacillus subtilis</i> DSM10	24,5 - 26	Nicholson & Galeano 2003
SARS-CoV-2-Virus (Coronavirus)	2,5 - 4	Walker et al. 2007, Heßling et al. 2020
Influenzavirus	3,4 - 13,2	Walker et al. 2007, Heßling et al. 2020
Herpesvirus	6	Walker et al. 2007
λ-Bakteriophage	13,2	Walker et al. 2007
<i>Legionella pneumophila</i>	1	Heßling et al. 2020
<i>Staphylococcus aureus</i>	2,2	Heßling et al. 2020
<i>Salmonella enteridis</i>	4	Heßling et al. 2020
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5,5	Heßling et al. 2020

## 4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### 4.1 Vergleich der natürlichen Abklingkurven

Nach Entwicklung der Messmethodologie galt es zunächst sicherzustellen, dass zur Bewertung der Prüflinge innerhalb des Prüfzelts stabile Bedingungen vorherrschen. Dazu wurden natürliche Abklingkurven, sogenannte Nullmessungen, ohne Prüflinge ermittelt. Die Herangehensweise gleicht einer Prüfung mit Luftfilter, nur dass keine zusätzliche Reinigung stattfindet. Die natürlichen Abklingkurven wurden mit beiden Modellmikroorganismen bestimmt und finden sich in Abbildung 1.

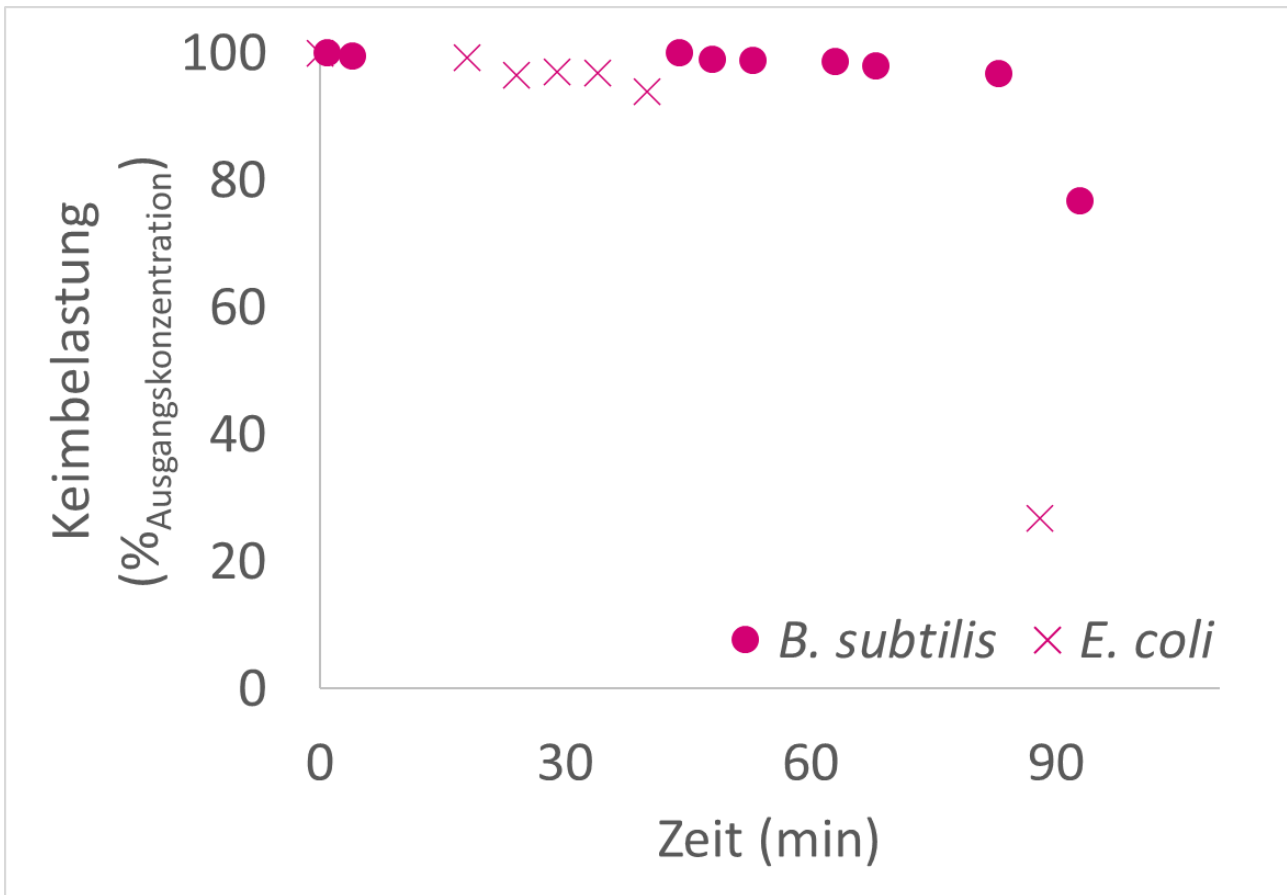


Abbildung 1: Natürliche Abklingkurven der Modellorganismen *E. coli* & *B. subtilis*. Während einer Messzeit von bis zu 90 min liegen relativ konstante Konzentrationen vor.

Aerosole haben eine unterschiedliche atmosphärische Lebensdauer in Abhängigkeit ihrer Partikelgröße. Partikel mit einer Größe >10 µm neigen zum schnellen Niederschlag auf Oberflächen durch Gravitation, bedingt durch ihre relativ im Vergleich zur Partikelgröße höhere Masse. Partikel mit einer Größe < 5 – 10 µm haben dahingegen eine längere atmosphärische Lebensdauer in Abhängigkeit ihrer Größe; sie werden auch *air born* genannt. Die untersuchten Modellkeime haben eine Größe von ca. 1 µm und sollten demnach eine für die Versuche ausreichende atmosphärische Lebensdauer haben. Wie in Abbildung 1 zu sehen, zeigt *E. coli* dennoch ein schnelleres Abklingen als *B. subtilis*. Vermutlich lässt sich dieses Ergebnis mit der Eigenschaft von *B. subtilis* Endosporen zu bilden erklären. Diese Dauerformen werden unter ungünstigen Wachstumsbedingungen gebildet und sind deutlich kleiner als die eigentliche *B. subtilis*-Zelle. Dementsprechend besitzen Endosporen eine größere atmosphärische Lebensdauer und verbleiben länger in der Luft des Prüfzelts. Verglichen mit dem Corona-Virus, das deutlich kleiner ist, ist ihre atmosphärische Lebensdauer dennoch geringer.

#### 4.2 Vergleich der Reinigungsabklingkurven

Die Bestimmung der Reinigungsabklingkurven erfolgte analog der unter 3 Experimentelles beschriebenen Vorgehensweise jeweils separat für jeden Mikroorganismus. Die folgende Abbildung 2 zeigt die Reinigungsabklingkurve eines UVC-Geräts mit 700 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> Luftumwälzungsrate im Prüfzelt.

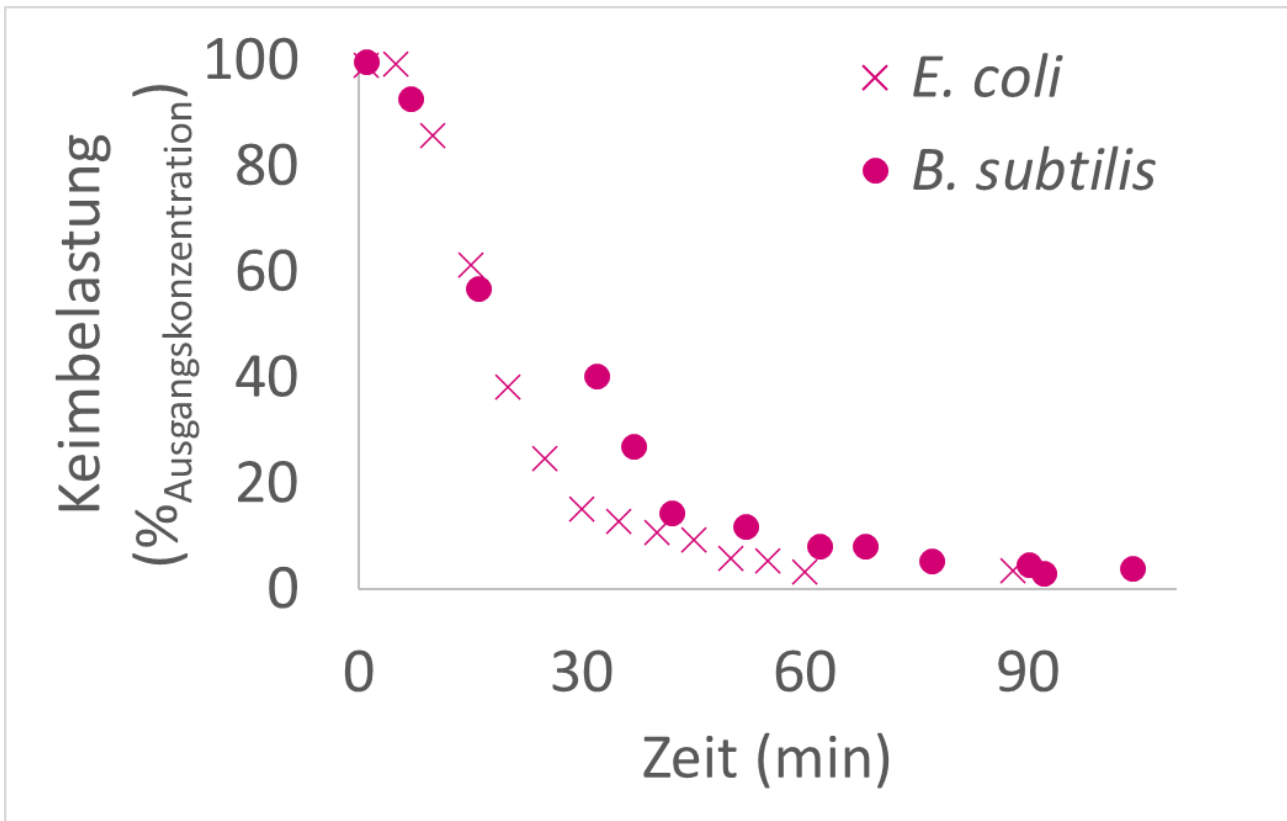


Abbildung 2: Reinigungsabklingkurve eines UVC-basierten Geräts mit den Modellkeimen *E. coli* und *B. subtilis*

Wie man der Abbildung 2 entnehmen kann, zeigt das untersuchte Gerät für beide Modellkeime eine Reinigungsleistung, da die Bakterienkonzentration im Vergleich zur natürlichen Abklingkurve (Abbildung 1) deutlich schneller sinkt. Ferner lässt sich feststellen, dass die Konzentration des Modellorganismus *E. coli* schneller sinkt als die des Modellorganismus *B. subtilis*. Diese Beobachtung lässt sich mit der höheren UVC-Strahlenresistenz von *B. subtilis* erklären (vergl. Tabelle 1). Diese bewirkt, dass weniger Zellen von *B. subtilis* bei einem Durchgang durch das Luftentkeimungsgerat denaturiert werden als bei *E. coli* und folglich die in der Luft des Prüfzelts verbleibende Konzentration bei *B. subtilis* zu einem gegebenen Zeitpunkt höher ist.

Bei einem Gerät mit HEPA-Filter würde man erwarten, dass die Entkeimungsleistung für beide Modellkeime ähnlich ist, da beide Modellkeime eine vergleichbare Größe aufweisen. Wie in Abbildung 3 zu sehen unterscheiden sich die Abklingkurven für beide Modellkeime dennoch.

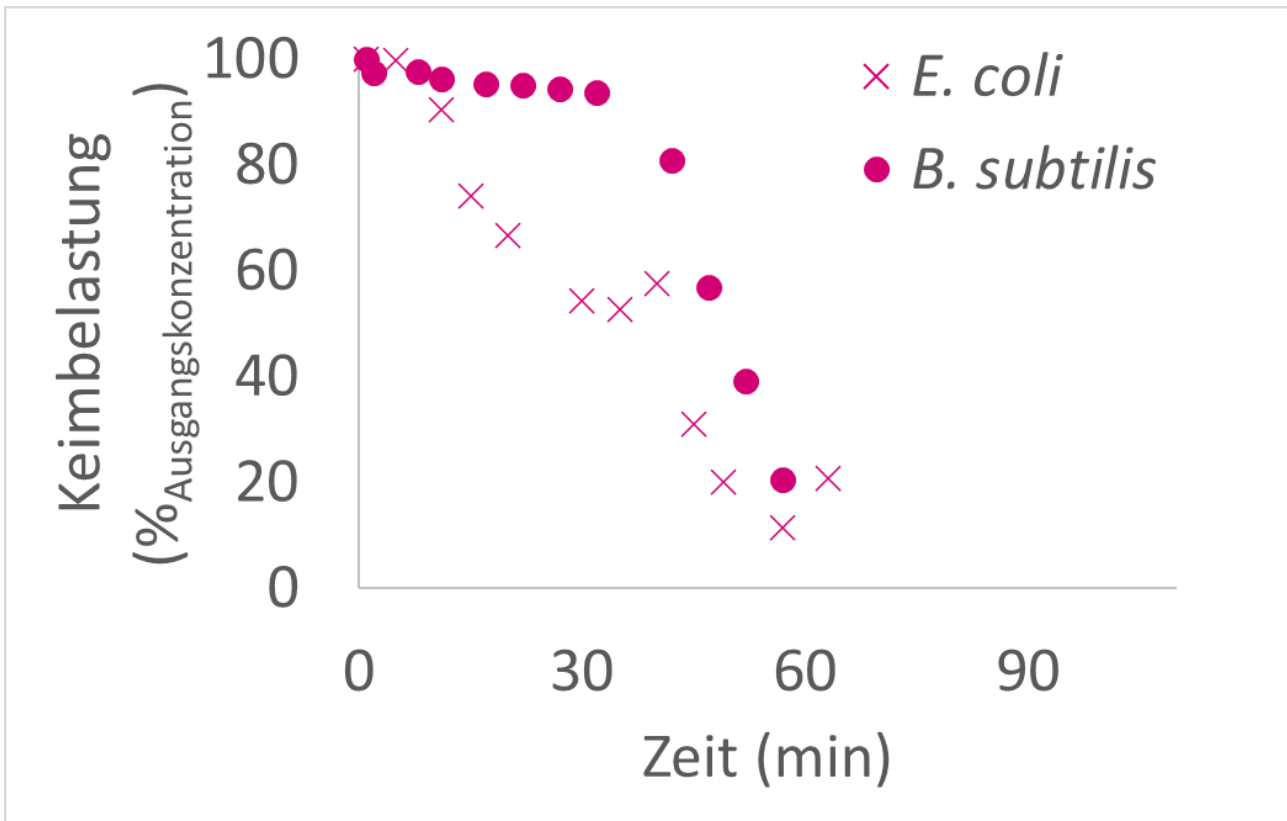


Abbildung 3: Reinigungsabklingkurve eines HEPA-basierten Geräts mit 1000 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> Lüftungsleistung mit den Modellkeimen *E. coli* & *B. subtilis*

Dieses Ergebnis lässt sich zum einen mit den Endosporen des *B. subtilis* erklären. Da diese kleiner als *E. coli* Zellen sind, wird das Herausfiltern länger dauern. Zum anderen spielt bei der Filtereffizienz nicht nur die Zellgröße, sondern auch die Zellform eine Rolle. Beispielsweise bedingt eine unterschiedliche Oberflächenstruktur einen unterschiedlichen aerodynamischen Durchmesser [11] der Zellen, so dass sie sich im Luftstrom unterschiedlich verhalten werden.

Der Vergleich der Reinigungsabklingkurven des UVC- mit denen des HEPA-Geräts zeigt, dass das UVC-Gerät eher eine exponentielle Abnahme zeigt, während das HEPA-Gerät eine lineare Abnahme zeigt. Abbildung 4 zeigt die Reinigungsabklingkurve eines H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Verneblers. Wie beim UVC-Gerät zeigt sich auch hier ein exponentieller Verlauf.

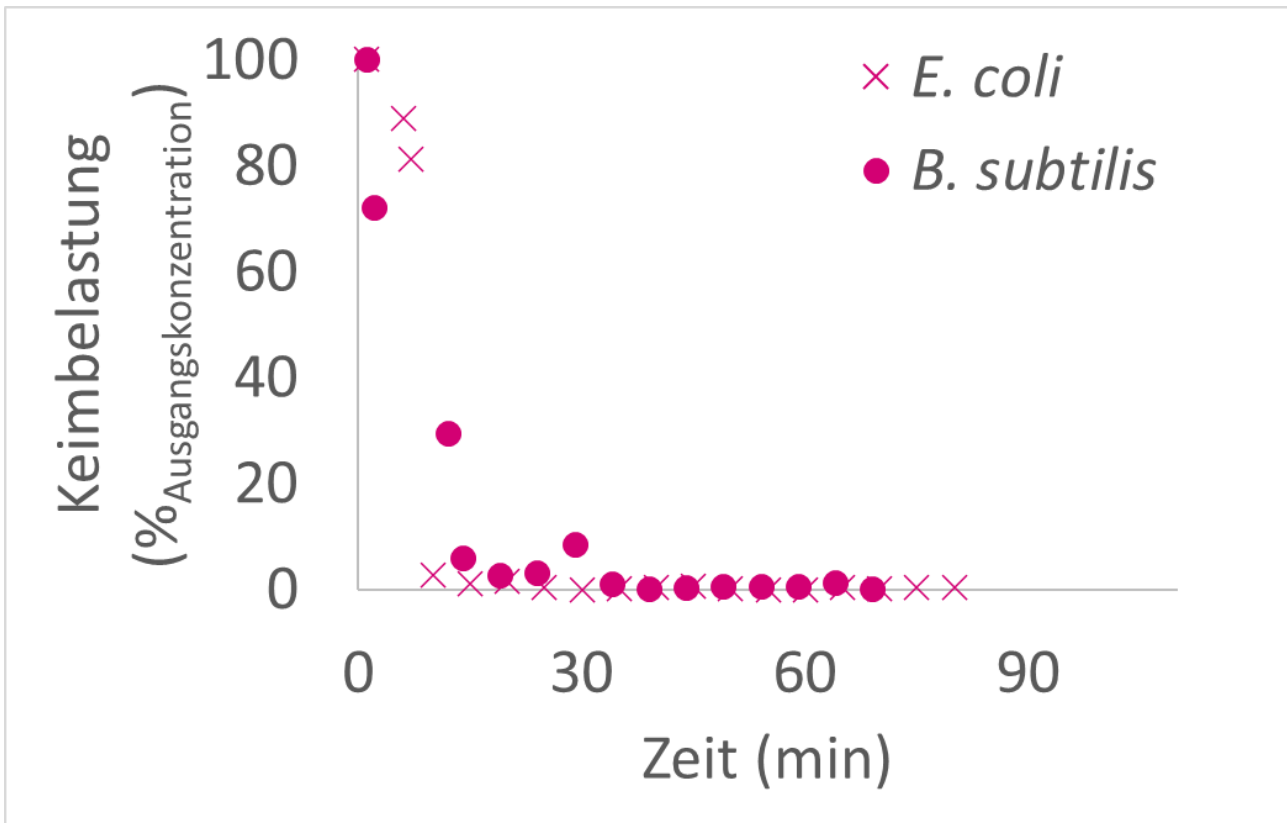


Abbildung 4: Reinigungsabklingkurve eines H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-basierten Geräts mit 500 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> Lüftungsleistung mit den Modellkeimen *E. coli* & *B. subtilis*

Das Vernebeln eines Oxidationsmittels zur Luftentkeimung ist eine sehr wirkungsvolle Methode bezüglich beider Modellkeime. Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, werden beide Modellkeime wirkungsvoll denaturiert. Auch die robusteren Endosporen des *B. subtilis* werden offenbar wirkungsvoll denaturiert. Trotz der sehr guten Entkeimungsleistung ist, wie eingangs beschrieben, ein Einsatz dieser Technologie in Räumen in denen sich Personen aufhalten verboten.

Allen bislang vorgestellten Geräten konnte eine Wirksamkeit nachgewiesen werden. Wie Abbildung 5 zu entnehmen, befinden sich auch Geräte auf dem Markt denen keine Reinigungsleistung nachgewiesen werden kann.



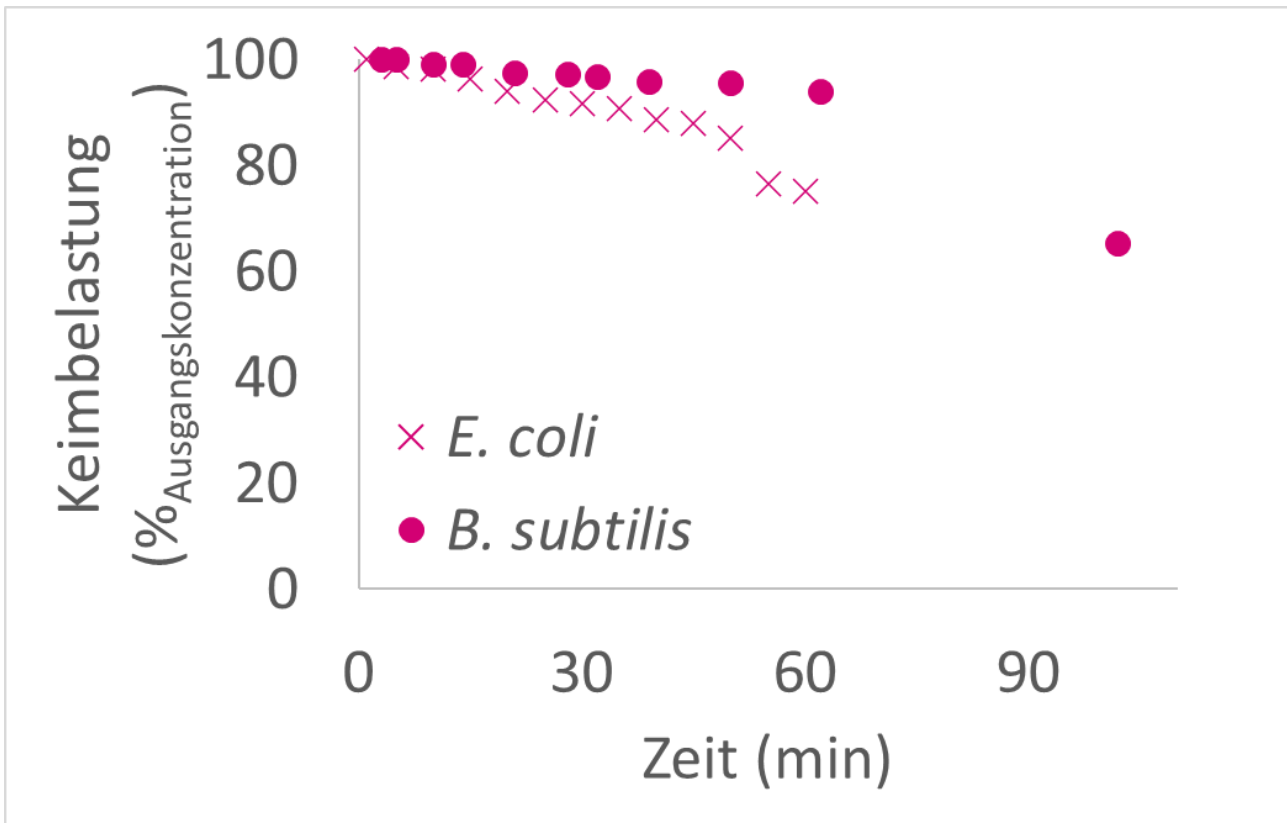


Abbildung 5: Reinigungsabklingkurve eines HEPA-basierten Geräts für den Heimgebrauch mit den Modellkeimen *E. coli* & *B. subtilis*

Dieses Gerät wird für die Heimanwendung vorgesehen und bei einem Luftstrom von 1000 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> mit einer Wirksamkeit von 99 % beworben. Die gemessenen Daten unterscheiden sich aber nicht signifikant von denen der natürlichen Abklingkurven aus Abbildung 1.

Zum besseren Vergleich der einzelnen Geräte wurde die Zeit zum Erreichen von 50 & 90 % Reinigungsleistung (t<sub>50</sub>- bzw. t<sub>90</sub>-Zeit) aus den Reinigungsabklingkurven für beide Modellkeime ermittelt. Diese Daten sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Abklingzeiten von untersuchten Geräten für die beiden Modellkeime *E. coli* & *B. subtilis*

Messung	<i>E. coli</i>		<i>B. subtilis</i>	
	t <sub>50</sub> min	t <sub>90</sub> min	t <sub>50</sub> min	t <sub>90</sub> min
nat. Abklingkurve	90	120	160	600
UVC-Gerät	10	40	20	60
HEPA-Gerät	40	60	45	70
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Gerät	5	15	6	16
Heimgerät	90	120	155	520

Basierend auf diesen Daten lassen sich verschiedene Geräte, die auf unterschiedlichen Verfahren basieren und mit verschiedenen Lufteleistungen arbeiten auf jeweils 2 Zahlenwerte normieren. Diese erleichtern dem Anwender den Vergleich unterschiedlicher Geräte.

### 4.3 Vergleich mit theoretisch möglicher Leistung

Betrachtet man die Verdünnung der gereinigten Luft im Meßzelt, so ergibt sich ein exponentieller Abfall der Keim-Konzentration. Vorausgesetzt wird hier, dass die das Lüftergerät durchströmte Luft perfekt abgereinigt wird. Abbildung 6 zeigt theoretisch bestmögliche Abklingkurven für das Prüfzelt für unterschiedliche Lüftungsleistungen.

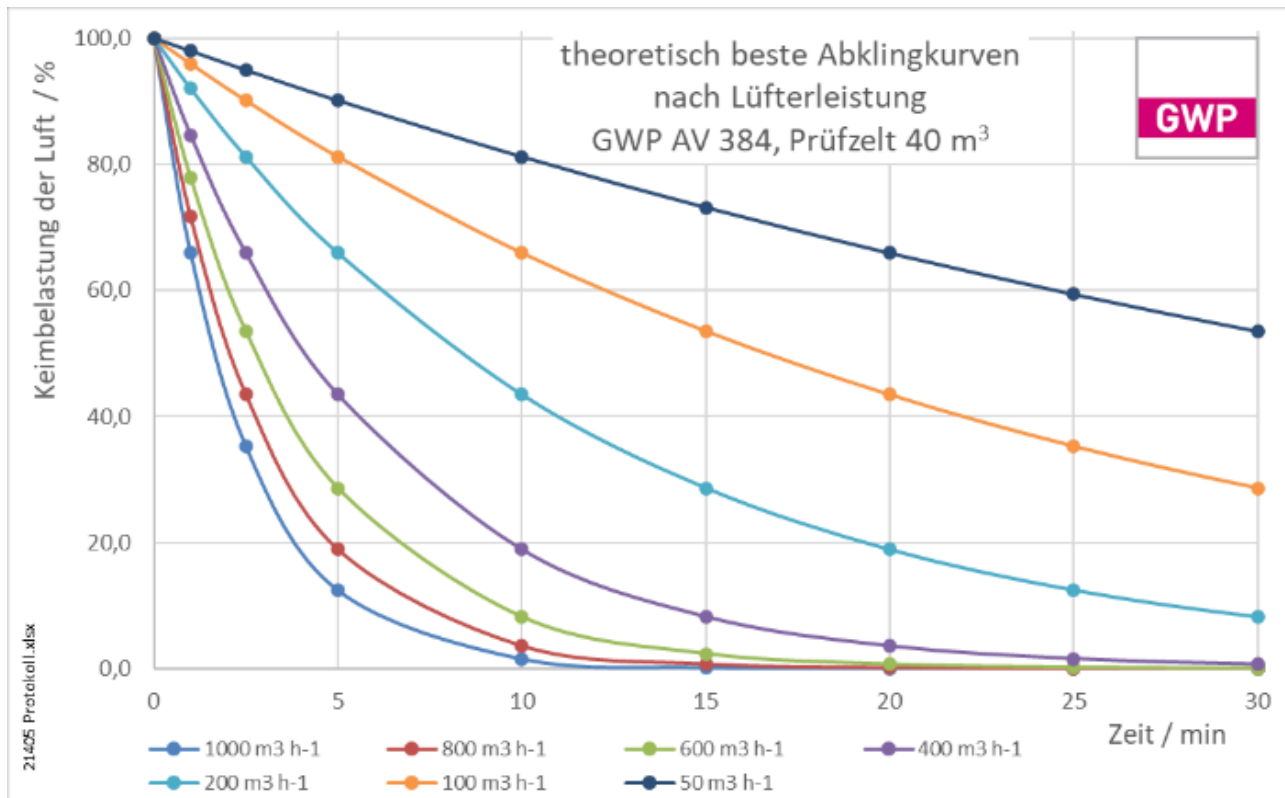


Abbildung 6: Theoretisch erreichbare Abklingkurven bei 100 % Wirksamkeit der Reinigung im Lüfterstrom

Die dafür zugrundeliegenden Daten sind in folgender Tabelle 3 enthalten und beziehen sich auf das errichtete Prüfzelt (siehe 3 Experimentelles)

Tabelle 3: Überblick der theoretisch erreichbaren t<sub>50</sub> & t<sub>90</sub> Zeiten

Lüfterleistung	Abklingzeit t <sub>50</sub>	Abklingzeit t <sub>90</sub>	Volumenwechsel
m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	min	min	h <sup>-1</sup>
50	37,2	> 90	außerhalb Meßbereich; wäre ca. 1
100	17	55	2,5
200	7,9	28,2	4
400	4,0	13,5	10
600	2,8	9,3	15
800	2,5	7,7	20
1.000	2,0	6,1	25

Ein Abgleich dieser theoretisch besten Leistung mit den gemessenen Daten erlaubt die Berechnung einer  $t_{90}$ -Effizienz verschiedener Geräte. Dieser Parameter beschreibt unabhängig von der  $t_{90}$ -Zeit der Geräte ihre Effizienz unabhängig von der Lüftungsleistung. Für die vorgestellten Geräte berechnete  $t_{90}$ -Effizienzwerte finden sich in folgender Tabelle 4.

Tabelle 4:  $t_{90}$ -Effizienzen ( $t_{90\text{eff}}$ ) der untersuchten Geräte erlauben Vergleich unabhängig von der Lüfterleistung

Prüfling	<i>E. coli</i>		<i>B. subtilis</i>	
	$t_{90}$ min	$t_{90\text{eff}}$ %	$t_{90}$ min	$t_{90\text{eff}}$ %
UVC-Gerät	40	20	60	13
HEPA-Gerät	60	10	70	9
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Gerät	15	73	16	69
Heimgerät	120	5	520	1

Wie bereits aus den Abklingkurven der Abbildung 5 zu entnehmen, zeigt das H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Gerät die höchste Effizienz, während das Heimgerät nur eine Effizienz zwischen 5 bis 1 % zeigt obwohl die Lüfterleistung des Heimgeräts doppelt so hoch ist. Ebenso zeigt das HEPA-Gerät eine gute Wirksamkeit in Abbildung 3, aber nur eine geringe Effizienz, da seine Lüftungsleistung sehr hoch ist. Das untersuchte UVC-Gerät zeigt eine Effizienz im mittleren Bereich.

Die folgende Abbildung 7 enthält die Gegenüberstellung der theoretisch besten Leistung (blaue Kurve) zu Messdaten eines UVC-basierten Geräts. Sehr deutlich ist hier die Diskrepanz zwischen maximaler Effizienz und tatsächlicher Leistung sichtbar. Messungen nach der GWP AV384 erlauben so den direkten Vergleich gemessener mit theoretischen Daten.

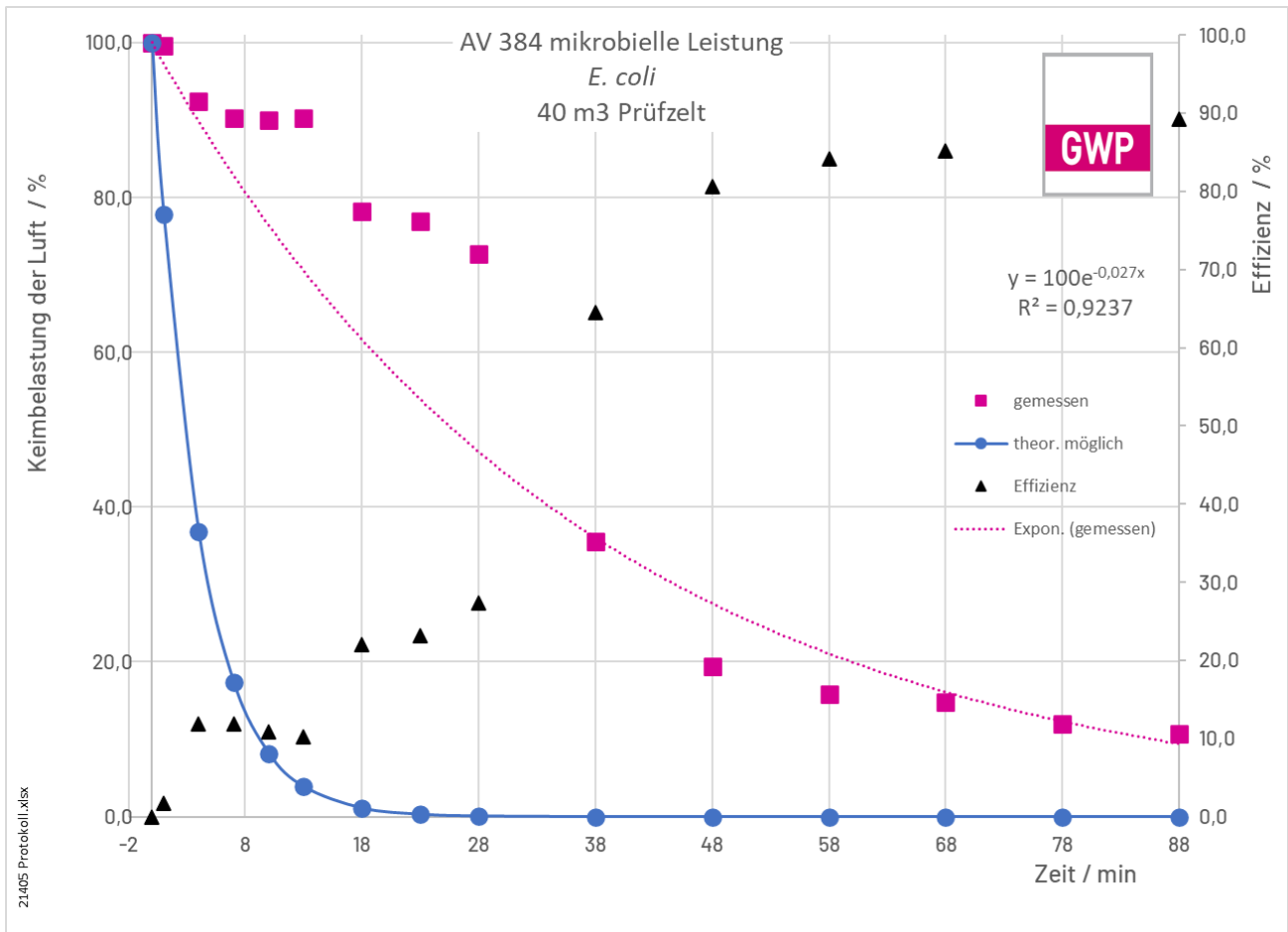


Abbildung 7: Abgleich der theoretisch möglichen Reinigungsleistung mit einer tatsächlichen Messung zur Ermittlung der Geräteeffizienz; UVC-Technologie, ca. 600 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Saubere Raumluft kann nicht nur in Pandemiezeiten ein Faktor für den sicheren Betrieb öffentlicher Einrichtungen sein. Der Bewertung unterschiedlicher Raumluftentkeimungskonzepte und Geräte kommt nicht zuletzt aufgrund zutreffender Investitionsentscheidungen eine wichtige Bedeutung zu.

Mittels der vorgestellten Methode GWP AV384 lassen sich unterschiedlichste Entkeimungsgeräte unabhängig von ihrer Leistung hinsichtlich ihrer mikrobiellen Reinigungseffizienz vergleichen. Dadurch können wirksame von nicht wirksamen Geräten unterschieden werden. Die Bestimmung der Effizienz erlaubt den Vergleich unterschiedlicher Geräte und die Selektion des effizientesten Geräts für eine bestimmte Raumgröße.

Die kontinuierliche Weiterentwicklung des Verfahrens wird im Erstellen einer Datenbank zur Effizienz unterschiedlichster Gerätetypen münden, wobei deren Eignung für den Anwender dank nachvollziehbarer Parameter wie t90-Zeit und t90-Effizienz transparent bleibt.

## 6 ANHANG

### 6.1 Literaturverzeichnis

- [1] Christian J. Kähler, Thomas Fuchs, Benedikt Mutsch, Rainer Hain (Version vom 22.09.2020): Schulunterricht während der SARS-CoV-2 Pandemie – Welches Konzept ist sicher, realisierbar und ökologisch vertretbar?
- [2] Umweltbundesamt, Stand: 16. November 2020 Einsatz mobiler Luftreiniger als lüftungsunterstützende Maßnahme in Schulen während der SARS-CoV-2 Pandemie  
Stellungnahme der Kommission Innenraumlufthygiene (IRK) am Umweltbundesamt  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/201116\\_irk\\_stellungnahme\\_luftreiniger.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/201116_irk_stellungnahme_luftreiniger.pdf)
- [3] <https://www.bgw-online.de/SharedDocs/FAQs/DE/News/Lueftung/Corona-mobile-Luftreiniger-Funktionsweise.html>
- [4] [https://de.trotec.com/shop/maschinen/luftreinigung/luftreiniger-zur-virenfiltrierung.html?gclid=Cj0KCQIA7YyCBhD\\_ARIsALkj54pEJy10SH4xYEhXyo\\_f1pVrT07LDkSe9XneOXcAZ-2sEx5mSNYLgpUaAsRuEALw\\_wcB](https://de.trotec.com/shop/maschinen/luftreinigung/luftreiniger-zur-virenfiltrierung.html?gclid=Cj0KCQIA7YyCBhD_ARIsALkj54pEJy10SH4xYEhXyo_f1pVrT07LDkSe9XneOXcAZ-2sEx5mSNYLgpUaAsRuEALw_wcB)
- [5] [https://www.miele.com/media/ex/com/Professional/Landingpages/Luftfilter/Miele\\_AirControl\\_Whitepaper\\_1\\_2020.pdf](https://www.miele.com/media/ex/com/Professional/Landingpages/Luftfilter/Miele_AirControl_Whitepaper_1_2020.pdf)
- [6] [http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/06\\_Gentechnik/ZKBS/01\\_Allgemeine\\_Stellungnahmen\\_deutsch/02\\_Bakterien/Escherichia\\_coli\\_ehec.pdf%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26v%3D4](http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/06_Gentechnik/ZKBS/01_Allgemeine_Stellungnahmen_deutsch/02_Bakterien/Escherichia_coli_ehec.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D4)
- [7] <http://www.gbt-ursprung.at/gbt/projekte/synbio/de/index.php?seite=bacillussubtilis>
- [8] Walker & Gwangpyoko (2007): Effect of Ultraviolet Germicidal Irradiation on Viral Aerosols. E,S&T 41, p. 5460-5465.
- [9] Hessling et al. (2020) Selection of parameters for thermal coronavirus inactivation – a data-based recommendation. GMS Hygiene and Infection Control
- [10] Nicholson & Galeano (2003): UV Resistance of Bacillus anthracis Spores Revisited: Validation of Bacillus subtilis Spores as UV Surrogates for Spores of B. anthracis. AMB 69(2), p. 1327-1330.
- [11] Friedlander (1977): Smoke, Dust, and Haze - Fundamentals of Aerosol Dynamics. John Wiley & Sons, New York, ISBN 0-471-01468-0, S. 164.
- [12] Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH: GWP Arbeitsvorschrift AV384 Rev.01 2021. Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH, Zorneding.

## 7 VERSIONSKONTROLLE

Revision Datum	Autor	Bemerkung
2021-09-02	SC	Erstellung
2021-09-06	JAN	Überarbeitung
2021-09-13	SC	neues Format, Überarbeitung mit Exponentialfunktion Start 100