

Luftreiniger und Infektionsschutz am Arbeitsplatz



Wie können Luftreiniger einheitlich geprüft werden?

Dr. Annette Clauß

Fachbereich Materialanalytik und Innenluftchemie, Fraunhofer WKI, Braunschweig

Gliederung

Hintergrund

Luftreinerer Marktentwicklung
Wirkprinzipien
bisherige Prüfverfahren

Vorhabenbeschreibung

Prüfkammer und Messstrecke
Prüfparameter
Messverfahren

Erste Ergebnisse und Erkenntnisse



Bioaerosole in Innenräumen, insbesondere virushaltige Partikel in der Luft und die daraus resultierenden Übertragungs- und Infektionsrisiken, stellen auch eine besondere Herausforderung für den Arbeitsschutz dar

- Luftreiniger können einen Beitrag zur Senkung der Partikel- bzw. Viruslasten in der Luft leisten, dabei aber gleichzeitig eine zusätzliche Belastung für den Arbeitsschutz bedeuten (z. B. Lärm, Zugluft, sekundäre Emissionen ...)

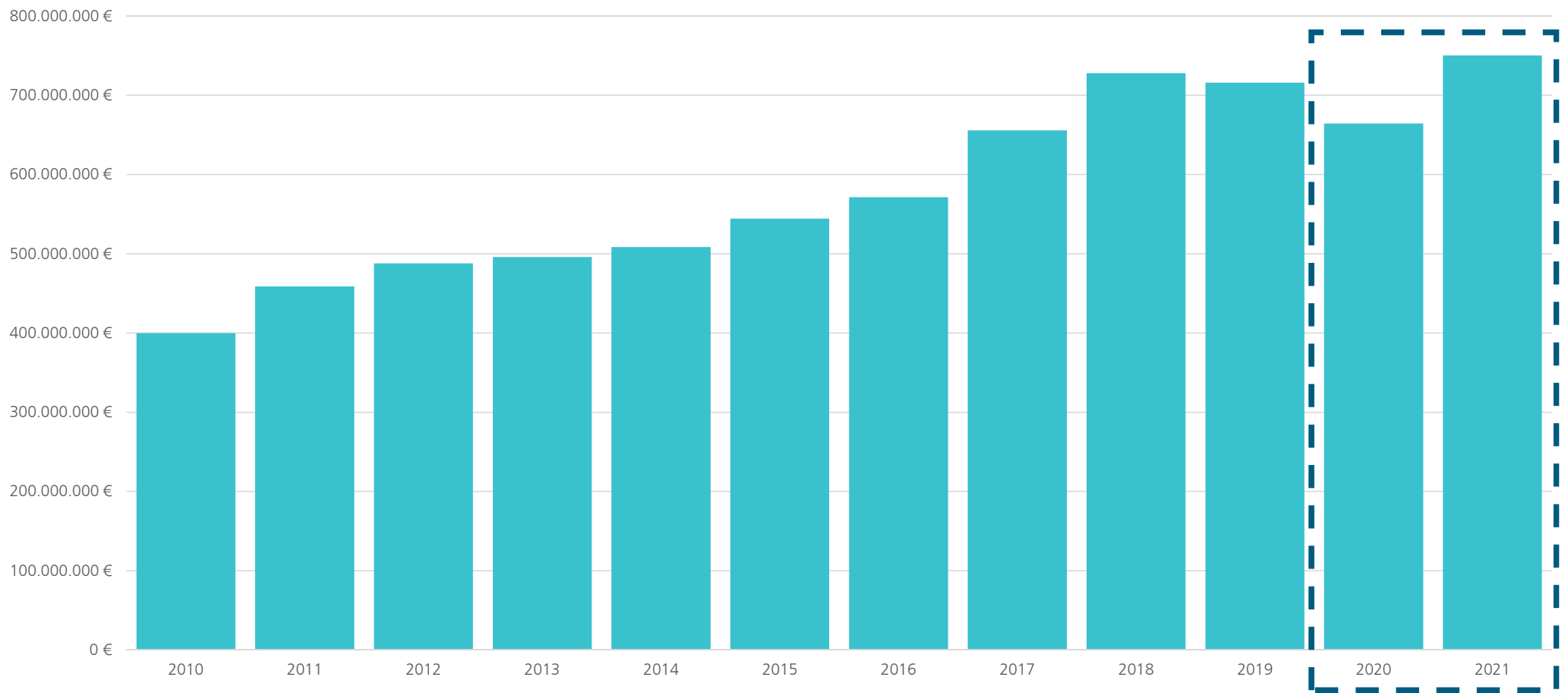


Abb. 1: Wert der zum Absatz bestimmten produzierten Apparate zum Filtrieren oder Reinigen von Luft in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2021 [Statista 2022]

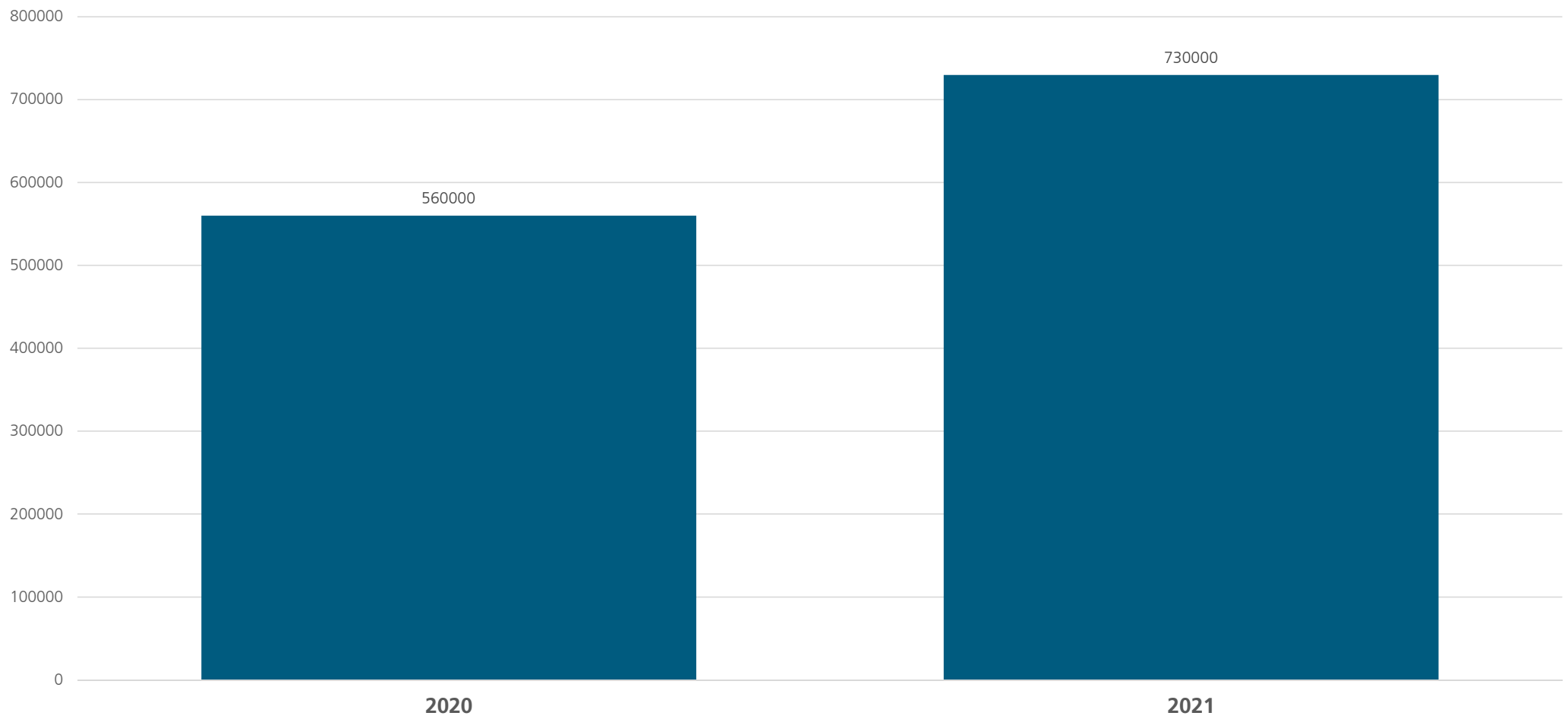


Abb. 2: Absatz von Luftreinigern in Deutschland in den Jahren 2020 und 2021 [Statista 2022]

Abb. 3: Auszüge aus der Bewerbung von mobilen Innenluftreinigern im Internet

Entfernt 99,97 % der Viren und Aerosole für ein gesundes Zuhause*

Test Microbes	Test Method	Chamber	Results
MS-2 Coliphage	Aerosolisation (high concentrations)	18 m3	6 log (99.9999%) kill in less than 5 minutes
1) Bacillus atrophaeus (gram +) "aerostable spore" 2) Staphylococcus epidermidis (gram -)	Aerosolisation (high concentrations)	18 m3	1) 1 to 2 log (99%) kill in 60 minutes 2) 5 log (99.999%) kill in 2 minutes

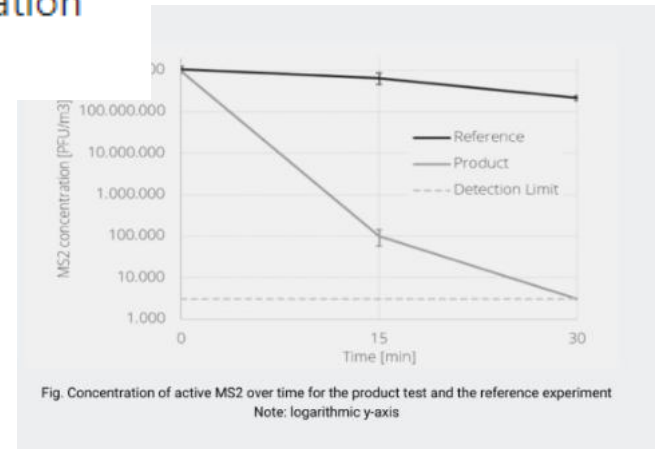
Sichere Inaktivieren aller Keime einschließlich Covid-19 Viren (Testergebnis: 99,99%)

✓ Anti-viral air purifiers fitted with HEPA* H14 filters extract 99.995% of viruses, bacteria and contaminants. filters. These have a separation efficiency of 99.995 %, with a test particle size of 0.3 - 0.5 μm , which is 10 times higher than that of H 13 filters. Also hospitals and laboratories

undergone extensive testing, proving 99.999% elimination of bacteria and 99.9999% elimination of viruses.

Reduction of microorganisms
-
$R_{2h} = 71,15\%$
$R_{6h} = 78,45\%$
$R_{20h} = 97,62\%$

measured achieving a 99.9999% reduction in hard to kill airborne MS-2 virus in five minutes!



*Aus der Luft, die den Filter passiert, getestet mit NaCl-Aerosol
gemäß DIN71460-1

Entfernt
99,97 % der
Viren und
Aerosole für ein
gesundes
Zuhause*

- VDI 3926-1, DIN ISO 1157: Prüfung von abreinigbaren Filtermedien
- DIN EN 779: Prüfung von Filtermedien für Raumlufthfilter (Grob- und Feinstaubfiltermedien)
- DIN EN 1822-3: Prüfung von Schwebstofffiltermedien
- DIN EN 779: Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumlufthtechnik - Bestimmung der Filterleistung
- DIN EN ISO 16890-1 bis -4: Luftfilter für die allgemeine Raumlufthtechnik (Effizienzklassifizierungssystem basierend auf Feinstaub - PMX)
- DIN EN 1822: Prüfung von Schwebstofffiltern (EPA, HEPA, ULPA)
- DIN EN ISO 29462: Raumlufthfilterprüfung in der raumlufthtechnischen Anlage (RLTA)
- Eurovent 4/21: Energieklassifizierung von Raumlufthfiltern (Feinstaubfiltern)
- DIN 71460-1& -2/ ISO/TS 11155-1: Prüfnorm für KFZ-Innenraumfilter
- DIN EN 60335-2-69 Anhang AA, Prüfung und Klassifizierung von Industriestaubsauger bzw. Staubbeseitigenden Maschinen
- DIN EN ISO 15012-1: Einrichtungen zum Erfassen und Abscheiden von Schweißrauch (Prüfung von Schweißrauchabscheidern)
- DIN 8416: gewerblich genutzte Entstauber
- DIN EN 60312-1: Staubsauger für den Hausgebrauch – Prüfverfahren sowie Prüfung von Staubsaugerbeutel &–ablufthfilter
- VDI 6022, Blatt 5: Raumlufthtechnik, Raumlufthqualität; Vermeidung allergener Belastungen; Anforderung an die Prüfung und Bewertung von technischen Geräten und Komponenten mit Einfluss auf die Atemluft
- JEM Standard 1467-2013, Air Cleaners of Household and Similar Use
- NRCC 54013-2011: Method for testing portable air cleaners
- ANSI/AHAM Ac-1-2006: Method For Measuring Performance Of Portable Household Electric Room Air Cleaners
- GB/T 18801:2015: Air cleaner, National Standard of the People's Republic of China, ICS 97.080
- DIN/TS 67506: Entkeimung von Raumlufth mit UV-Strahlung –UV-C-Sekundärlufthgeräte
- VDI-EE 4300 Blatt 14: Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten
- [...]

- Bioaerosole besitzen sehr unterschiedliche Eigenschaften (elektrische Ladung, Form, Größe und Tenazität) die sich in im luftgetragenen Zustand ändern können
- angewendete Prüfnormen für die Wirksamkeit von Luftreinigern beinhalten keine genormten Prüfmethoden, um einen Nachweis der Abscheidung und Inaktivierung von Viren zu führen

Tab. 1: aktuell auf dem Markt verfügbare Wirktypen bei Innenluftreinigern

Luftreinigertyp	Wirkungsweise
Filtergerät	mechanische Filtration über Passage durch Gewebeschichten unterschiedlicher Porengröße (z. B. Impaktion, Interzeption, Diffusion)
UVC-Gerät	Bestrahlung der passierenden Luft mit energiereichem UV-Licht, meist mit Wellenlängen von ca. 253,7 nm (Absorptionsmaximum DNA 260 nm)
Elektrostat (Elektrofilter)	elektrostatische Abscheidung (Aufladung der luftgetragenen Partikel im elektrischen Feld und Abscheidung an Niederschlagselektrode)
Elektretfilter	Abscheidung in Filtergeweben mit permanenter elektrischer Polarisierung (ungeladene Partikel aufgrund von Influenz, geladene Partikel infolge Coulombscher Kraft)
Plasmagenerator	zwischen Elektroden mit hoher elektrischer Spannung kurzfristiger Wechsel der Raumluft in Plasma-Zustand (Entstehung von Ionen und reaktionsfreudigen Radikalen)
Ozongenerator	Oxidation von Partikeln (Ozongeneration meist durch Korona-Entladung hoher elektrischer Spannungen)
Ionisator	Produktion von hauptsächlich negativ geladenen (Sauerstoff-) Ionen durch hohe elektrische Entladungen (Koronaentladungen und Feldemission)
Hydroxylradikal-Generator	Abgabe von Hydroxylradikalen in die Raumluft, Inaktivierung von z. B. Viruspartikeln außerhalb des Luftreinigers



- Neben klassischer Filtration werden auch Verfahren eingesetzt welche die Inaktivierung potentiell infektiöser Bioaerosole zum Ziel haben



- Vor allem bei diesen Verfahren können unerwünschte Nebeneffekte wie die Freisetzung von UV-Strahlung, Ozon oder sekundären Reaktionsprodukten entstehen



es soll ein Vorschlag für ein standardisierbares Verfahren erarbeitet werden, welcher sowohl die Effektivität aller gängigen Wirkprinzipien zur Reduktion der Virenfracht in der Innenluft überprüfen kann, als auch mögliche Risiken für die Menschen, die sich nach oder während der Luftreinigung in den Räumen aufhalten (z. B. durch Stickoxide oder Strahlung) berücksichtigt.

→ Durch DGUV Forschungsförderung finanziertes Kooperationsprojekt
„Entwicklung und Evaluierung eines Prüfstandards für die Wirksamkeit von Luftreinigern zur Reduktion der Virenfracht in Innenraumluft“

Fachbereich Materialanalytik und Innenluftchemie (MAIC)

Forschungsschwerpunkte

- Innenluftchemie und Partikeldynamik
- Funktionelle Baustoffe
- Schadstoffe in Museen
- SVOC und Partikel
- Prüfkammern, GC/MS-Analytik
- Produktuntersuchungen

mehr als 30 Jahre Erfahrung in der Prüfung von Luftreinigern



Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie (ITTN)

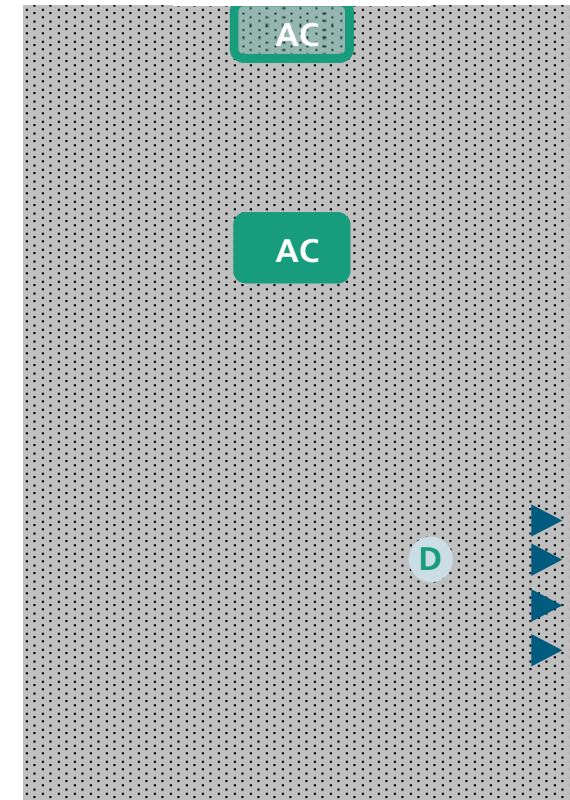
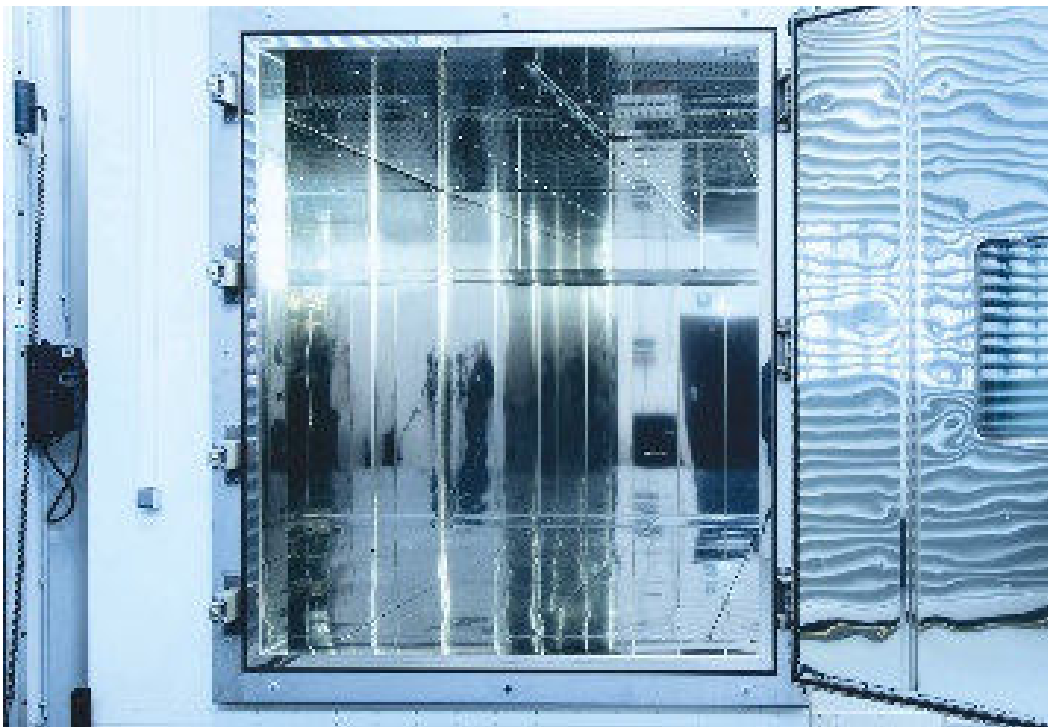
Arbeitsgruppen

- Tierhygiene und Tierhaltung
- Tierschutz und Nutztierethologie
- Ethik in der Veterinärmedizin
- Haltung und Tierschutz von Versuchstieren

mehr als 30 Jahre Erfahrung im Bereich Bioaerosolmessung

→ Durch DGUV Forschungsförderung finanziertes Kooperationsprojekt
„Entwicklung und Evaluierung eines Prüfstandards für die Wirksamkeit von
Luftreinigern zur Reduktion der Virenfracht in Innenraumlufte“

Fachbereich Materialanalytik und Innenluftchemie (MAIC)



*Schematische Darstellung der Messkammer
in Aufsicht, AC = Luftreiniger, D = Phagendosierung*



2×10^{10}
Phagen
pro ml

etwa 8 ml
vernebelt
→ ca.
 $1 \times 10^{10}/\text{m}^3$

Dosierung der Phagen
über Ports in der
Kammerwand oder mit
Vernebler in der
Kammer





Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie (ITTN)

- Messstrecke im mikrobiologischen Labor der Schutzstufe 2
- zu Einrichtungszwecken aus KG-Rohren (Foto), mittlerweile aus Edelstahl
- Vergleich der Surrogatmarker untereinander (bes. mit dem nur unter S2-Bedingungen handhabbaren Influenzavirus)
- Vergleich der Effizienz der Sammelmethode



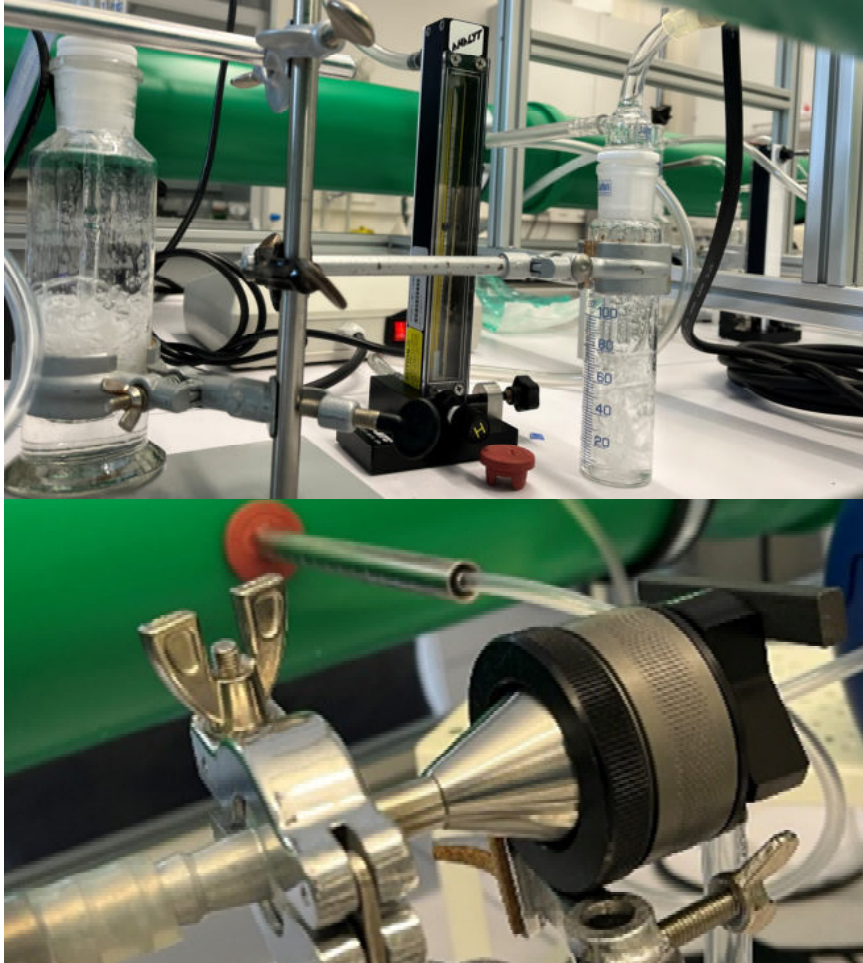
Probennahmeports für Impinger ● und Gelatinefilter ▲, Messung von u.a. Luftdruck, -feuchte und -geschwindigkeit ↓, sowie Nanopartikelkonzentration ★

Fotos Vivian Lochte, ITTN. TiHo Hannover




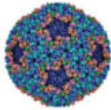
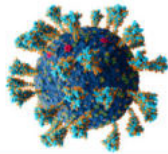
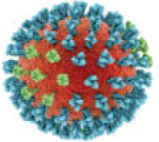
Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie (ITTN)

- Messstrecke im mikrobiologischen Labor der Schutzstufe 2
- zu Einrichtungszwecken aus KG-Rohren (Foto), mittlerweile aus Edelstahl
- Vergleich der Surrogatmarker untereinander (bes. mit dem nur unter S2-Bedingungen handhabbaren Influenzavirus)
- Vergleich der Effizienz der Sammelmethode



Fotos Vivian Lochte, ITTN. TiHo Hannover

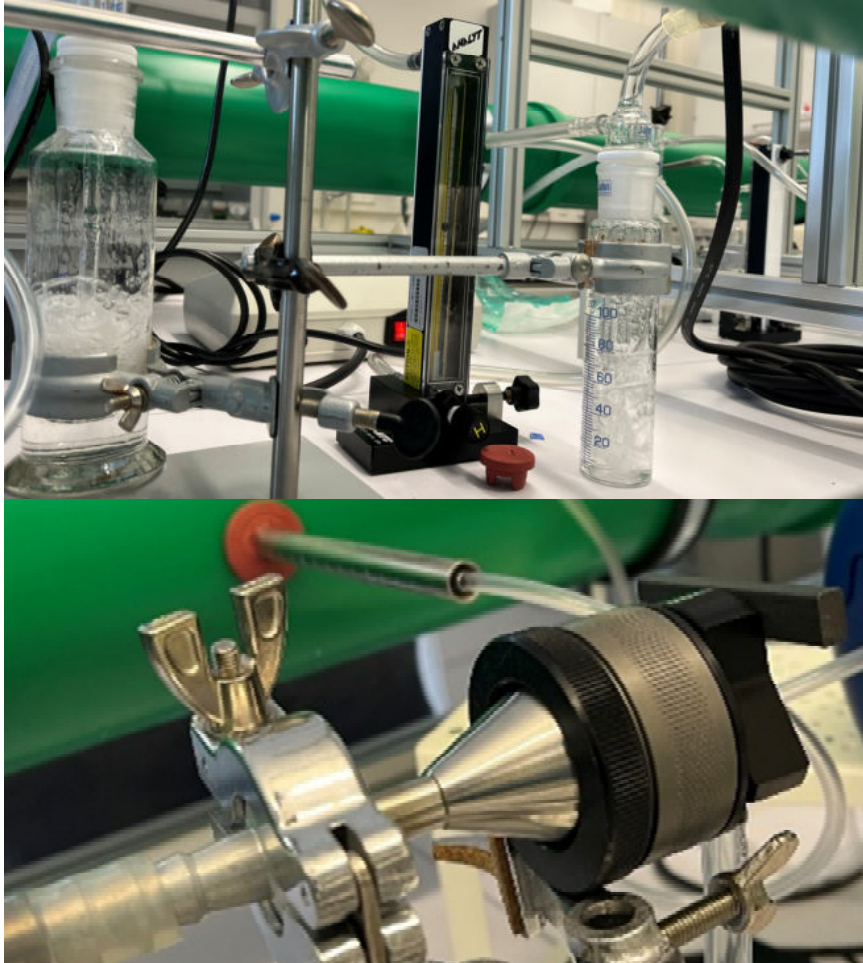
Tab. 2: Vergleich einiger Eigenschaften verschiedener Viren und Phagen

	MS2 	Phi6 	SARS-CoV2 	Influenza 
Durchmesser ca.	30 nm	85 nm	100 nm	80 - 120 nm
Hülle	unbehüllt	behüllt	behüllt	behüllt
DNA/RNA	(+)ssRNA	dsRNA	(+)ssRNA	(+/-)ssRNA
Anzucht (min. Sicherheitsstufe)	<i>E. coli</i> Kultur (S1)	<i>Pseudomonas</i> sp. Kultur (S1)	Zellkultur (S3)	Zellkultur embryonierte Hühnereier (S2/S3)
Nachweis	qPCR pfu in Host-Kultur (Zweischicht-Agar-Verfahren)		qPCR	qPCR (selten pfu in Zellkultur)

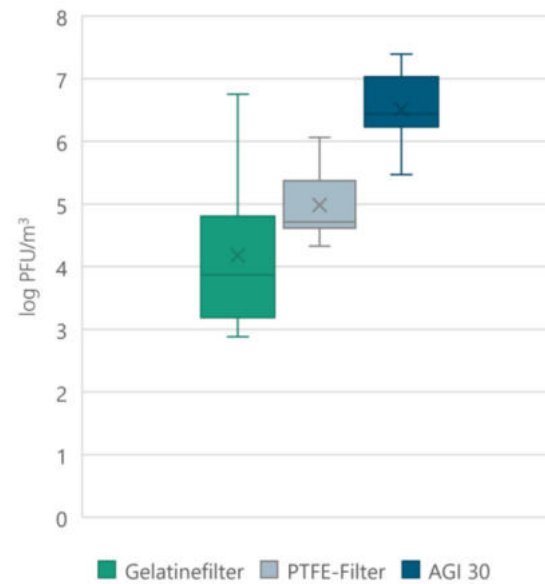
Quelle Phagen/Virusbilder: Wikimedia commons

Tab. 3: angewandte Verfahren zur Aerosolsammlung und ihre Kennzahlen

Verfahren	Kennzahlen	Vorteile	Nachteile
AGI-30 Impinger	Luftansaugöffnung: 8 mm Volumenstrom: 12,5 l/min	keine Austrocknung, unabhängig von Luftfeuchte und Temperatur	möglicher Verlust durch Reaerosolisierung, Scherkräfte an kritischer Düse
Gelatinefilter	Luftansaugöffnung: variabel Volumenstrom: 3,5 bis 5 l/min Porengröße: 3µm	zur Analyse in Flüssigkeit lösbar, geringer Einfluss auf Virus- Infektiösität	Beschädigung bei hoher/ niedriger Luftfeuchte
PTFE-Filter	Luftansaugöffnung: variabel Volumenstrom: 3,5 bis 5 l/min Porengröße: 1µm	unabhängig von Luftfeuchtigkeit, geöffnet anwendbar	wenig Daten für Lebendnachweis
Coriolis Sampler	Volumenstrom: 100 – 300 l/min	großes Probenvolumen durch Cyclontechnik, einfache Handhabung	nicht in Messstrecken anwendbar, Verlust von Probenflüssigkeit, nicht für lange Zeitintervalle programmierbar



Wiederfund kultivierbarer MS2 in einer Messstrecke bei 1 m/s Luftgeschwindigkeit



Wiederfund kultivierbarer MS2 in einer Messstrecke bei 3 m/s Luftgeschwindigkeit

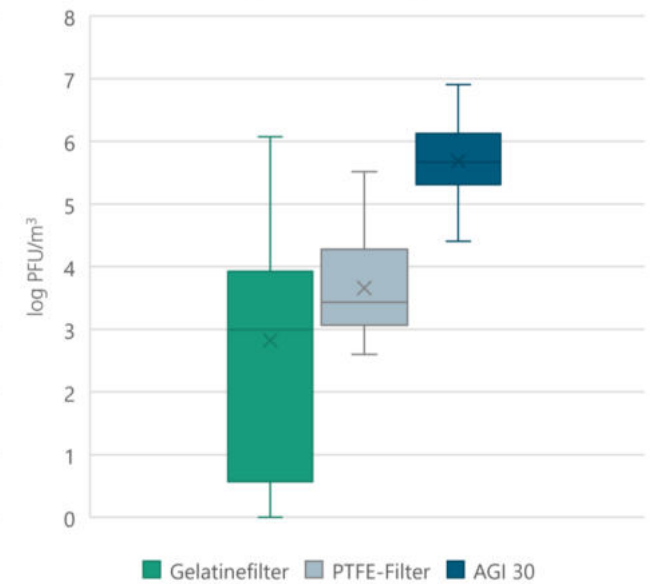


Abb. 4: Box-and-Whisker-Plots auf logarithmierter y Achse zum Vergleich des Wiederfunds kultivierbarer MS2 in der Messstrecke mit Luftgeschwindigkeiten von 1 und 3 m/s bei der Verwendung von Gelatinefiltern, Teflonfiltern und AGI 30

Fotos Vivian Lochte, ITTN. TiHo Hannover

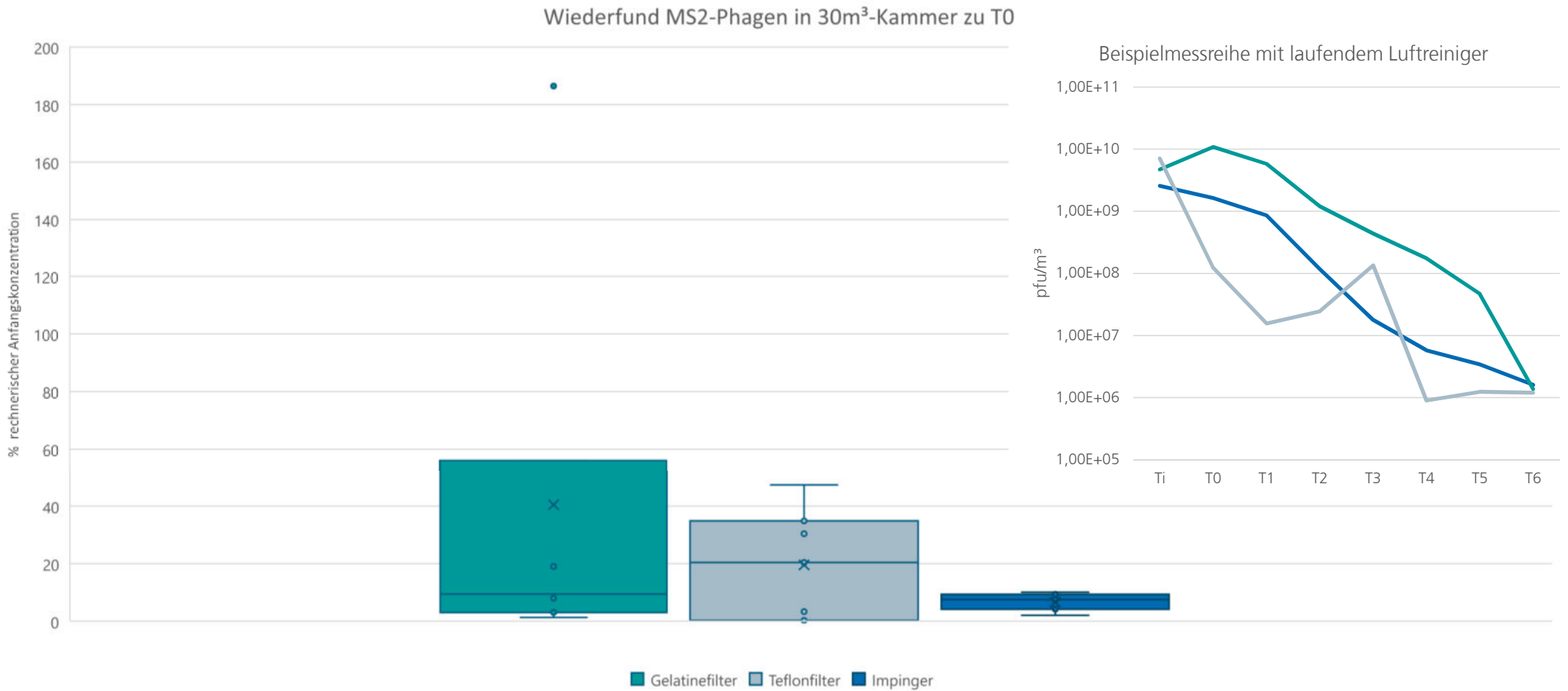


Abb. 5: Wertebereiche der mittels Impingement und Filtration gefundene MS2-Konzentrationen in % der jeweiligen Anfangskonzentrationen
 Abb. 6 (rechts): Konzentrationsverläufe von MS2 (pfu/m³) mit drei verschiedenen Sammelmethode in einer Messung mit laufendem Luftreiniger

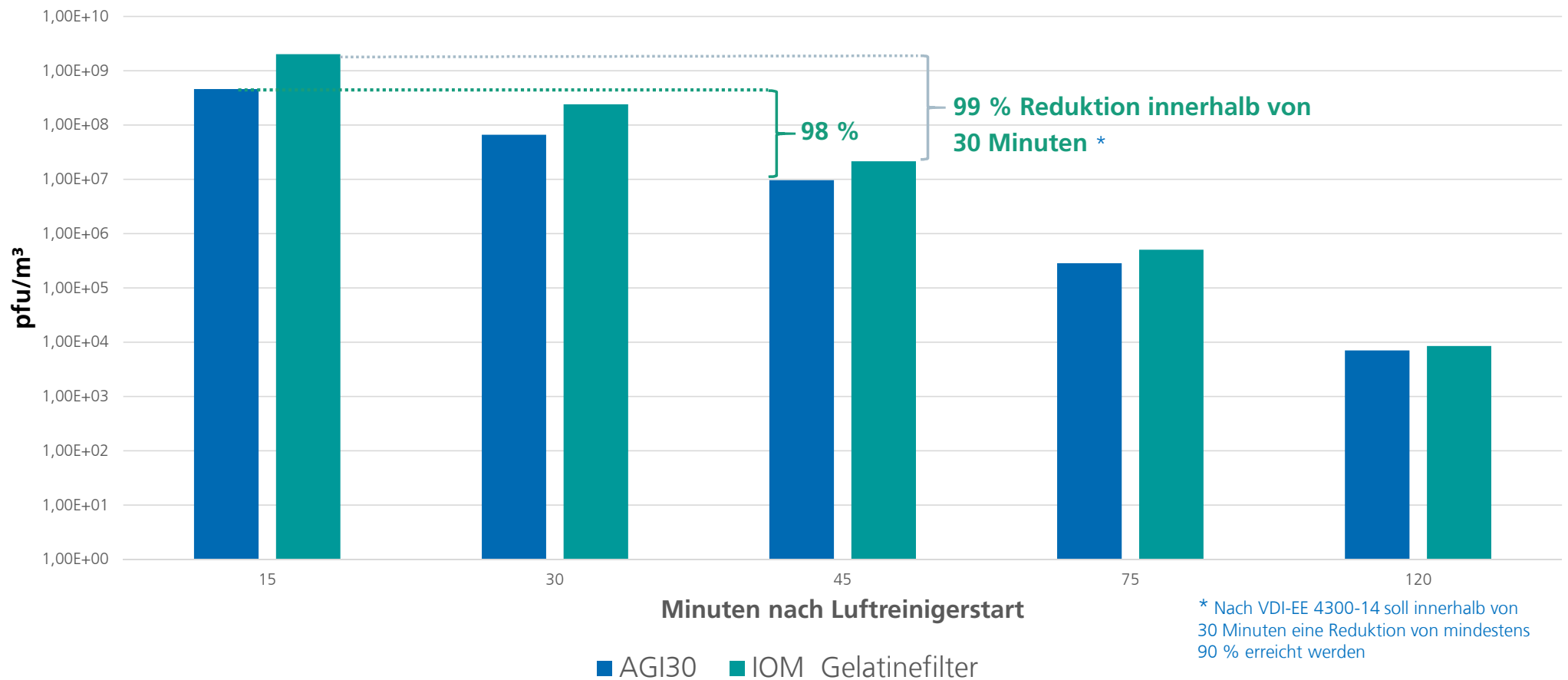


Abb. 7: mittels Impingement und Filtration gefundene MS2-Konzentrationen in der Luft im zeitlichen Verlauf in der Testkammer bei Betrieb eines Innenluftreinigers

Konzentrationen in der Luft der Messkammer

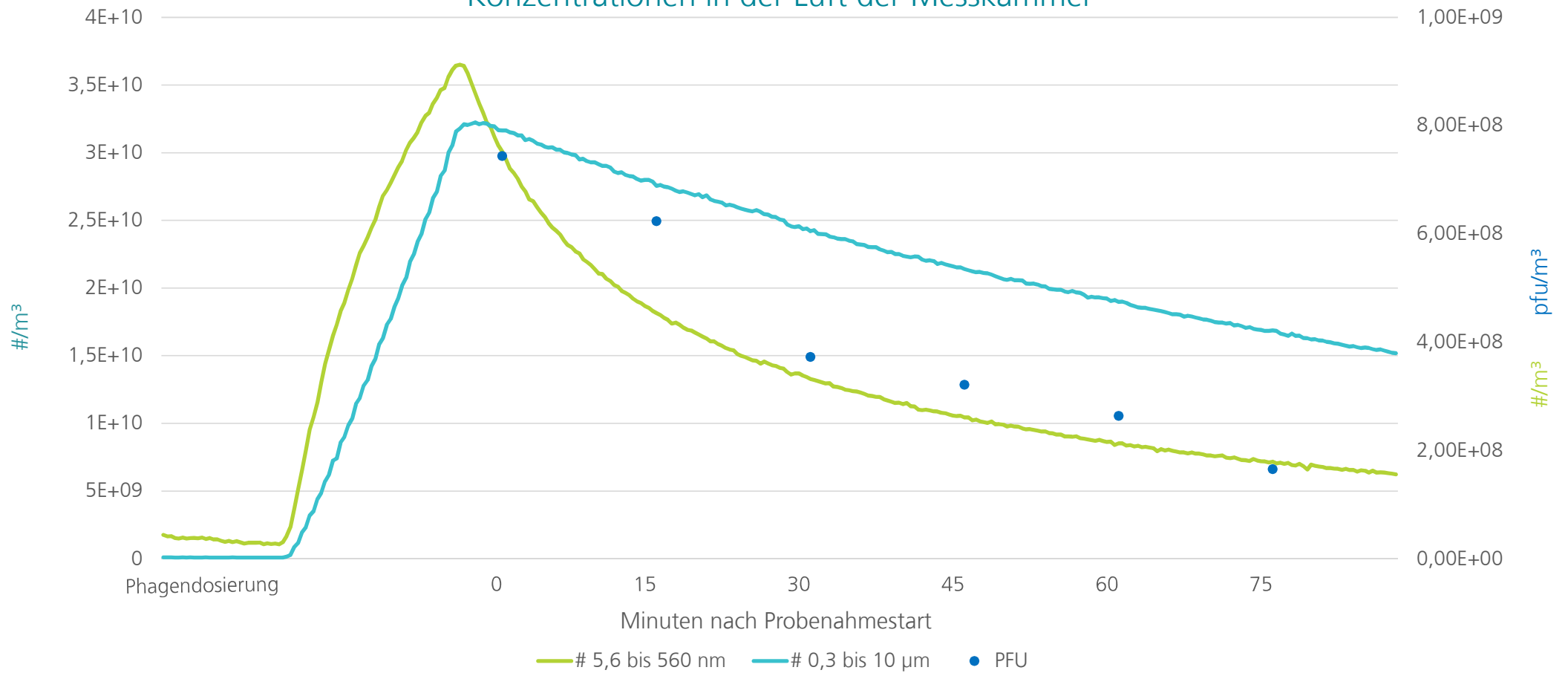


Abb. 8: gemessene Konzentrationen an plaquebildenden Einheiten (pfu) des MS2-Phagen und Partikelzahlen im zeitlichen Verlauf nach Dosierung in der Testkammer im Umluftbetrieb

Konzentrationen in der Luft der Messkammer bei laufendem Luftreiniger (Filtration)

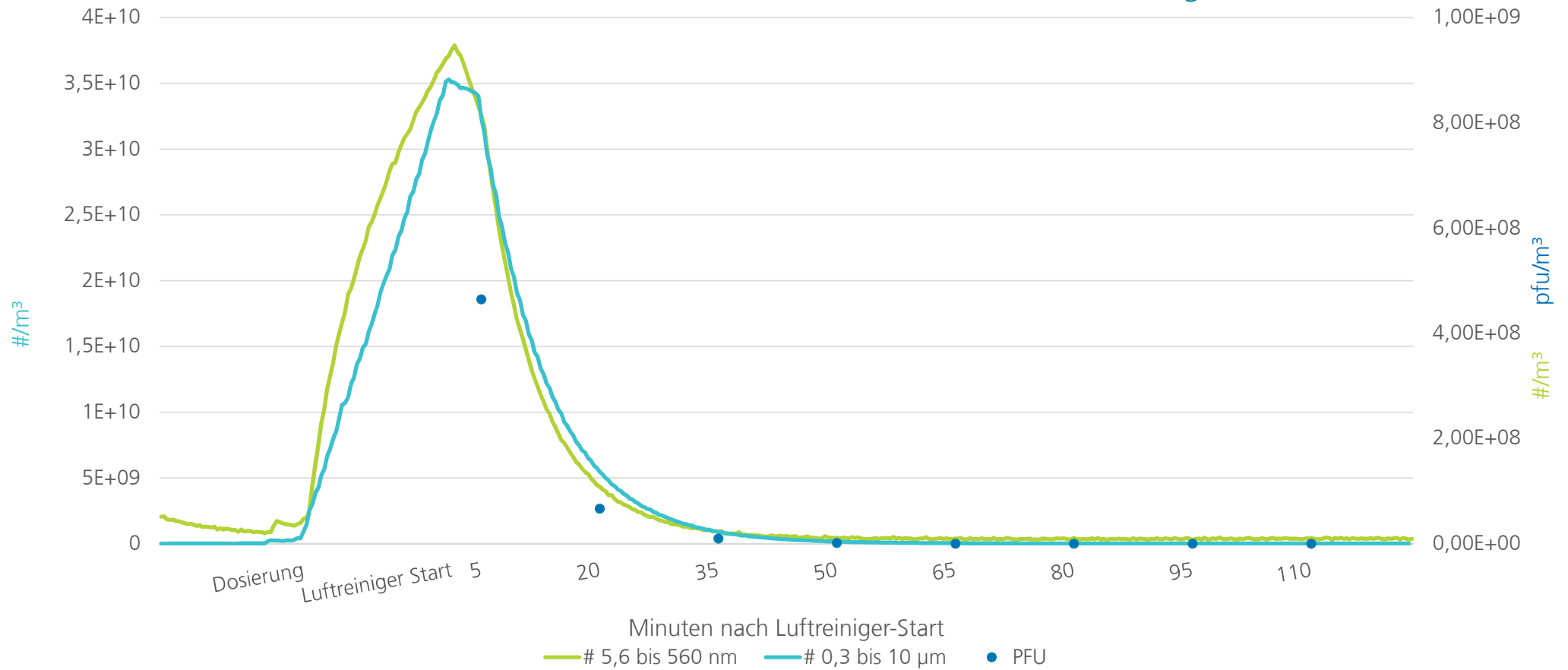


Abb. 9: gemessene Konzentrationen an plaquebildenden Einheiten (pfu) des MS2-Phagen und Partikelzahlen im zeitlichen Verlauf nach Dosierung in der Testkammer im Umluftbetrieb unter Luftreinigereinfluss

Partikelgrößenverteilung in der Luft der Messkammer nach Dosierung von MS2-Phagen

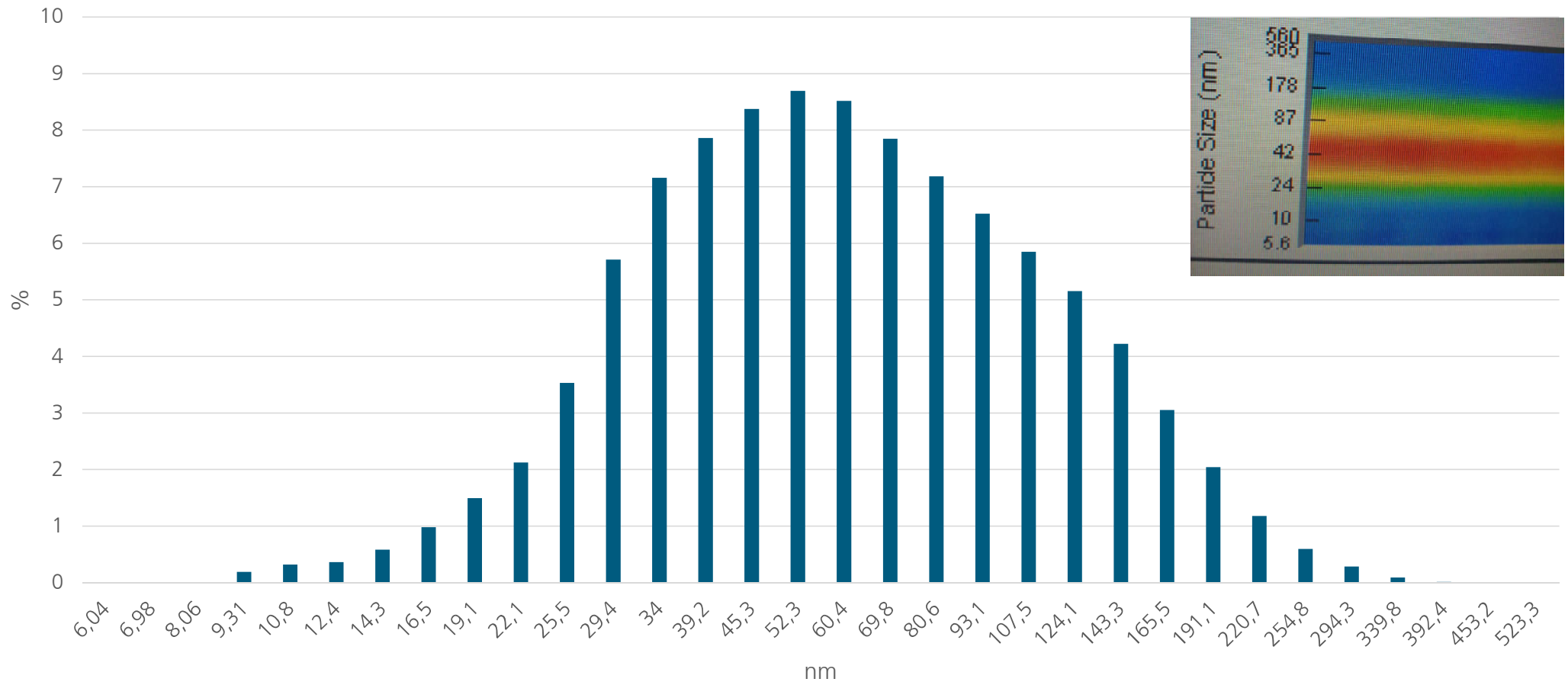


Abb. 10: Prozentanteil der gefundenen Partikelzahlen pro cm^2 Kammerluft 30 Minuten nach Start der Phagendosierung (Maximum) in den unterschiedlichen Größenfraktionen

Partikelgrößenverteilung in der Luft der Messkammer 2 h nach Dosierung von MS2- Phagen

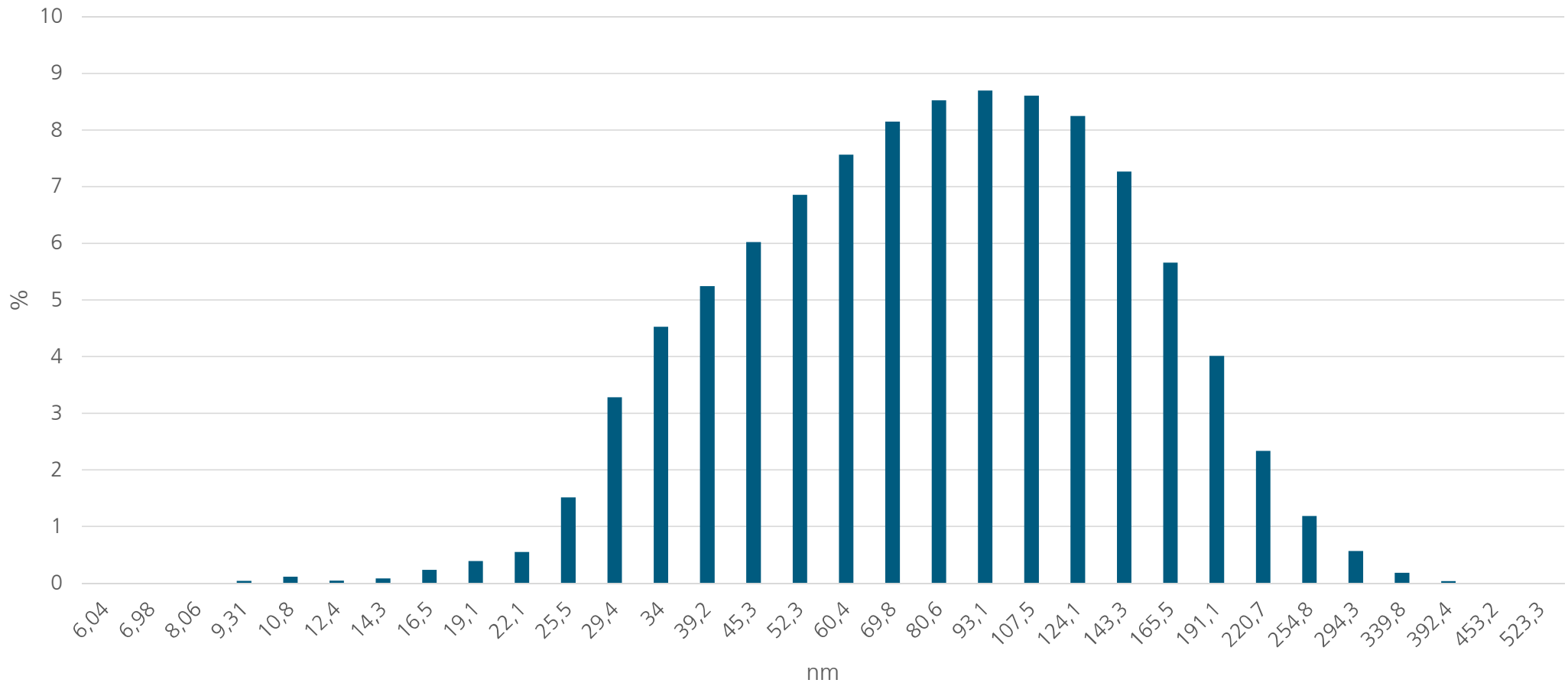


Abb. 11: Prozentanteil der gefundenen Partikelzahlen pro cm^2 Kammerluft zwei Stunden nach Start der Phagendosierung (Maximum) in den unterschiedlichen Größenfraktionen

Konzentrationsverläufe in der Kammer mit Luftreiniger (UV + Filtration)

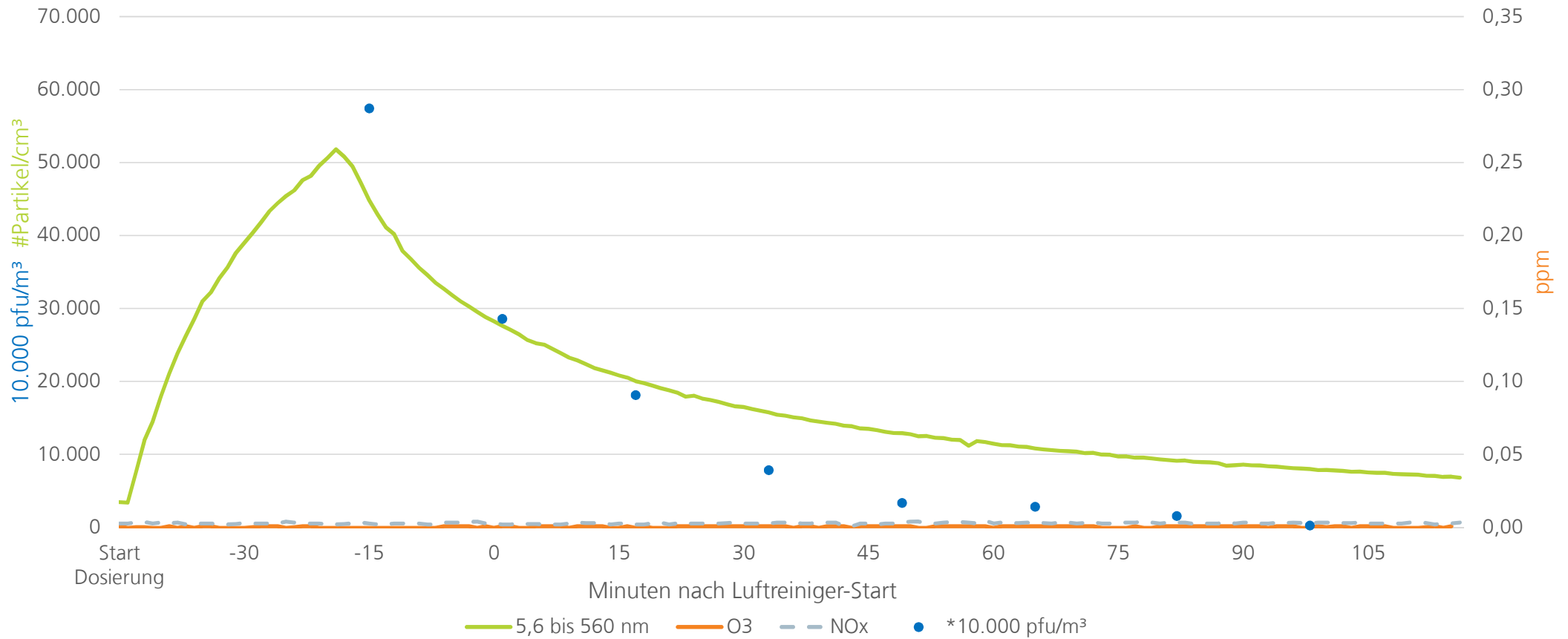


Abb. 12: gemessene Konzentrationen verschiedener Parameter im zeitlichen Verlauf nach Dosierung in der Testkammer im Umluftbetrieb unter Luftreinigereinfluss

Konzentrationsverläufe in der Kammer mit Luftreiniger (Ozon + Filtration)

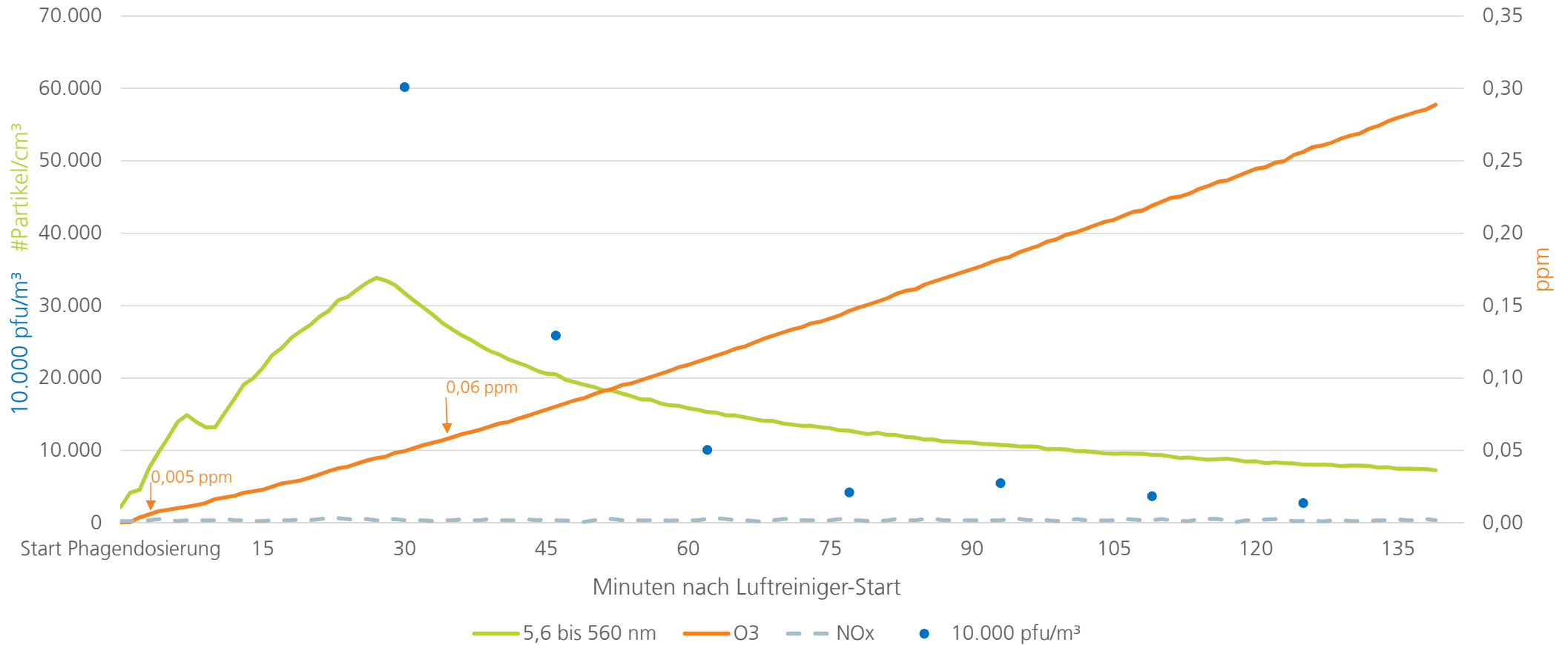


Abb. 13: gemessene Konzentrationen verschiedener Parameter im zeitlichen Verlauf nach Dosierung in der Testkammer im Umluftbetrieb unter Luftreinigereinfluss, aus technischen Gründen starteten Phagensdosierung und Luftreiniger gleichzeitig

Konzentrationsverläufe in der Kammer mit Luftreiniger (Elektroabscheider)

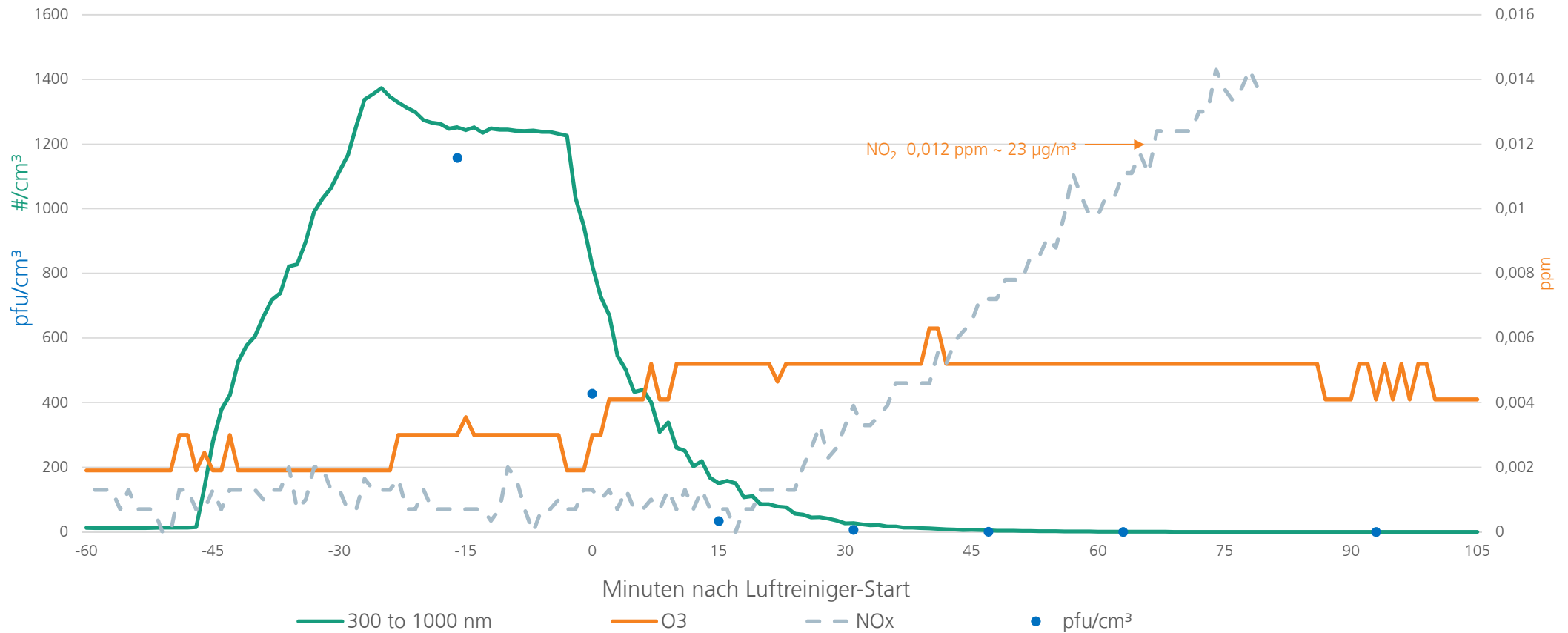


Abb. 14: gemessene Konzentrationen verschiedener Parameter im zeitlichen Verlauf nach Dosierung in der Testkammer unter Luftreinigereinfluss

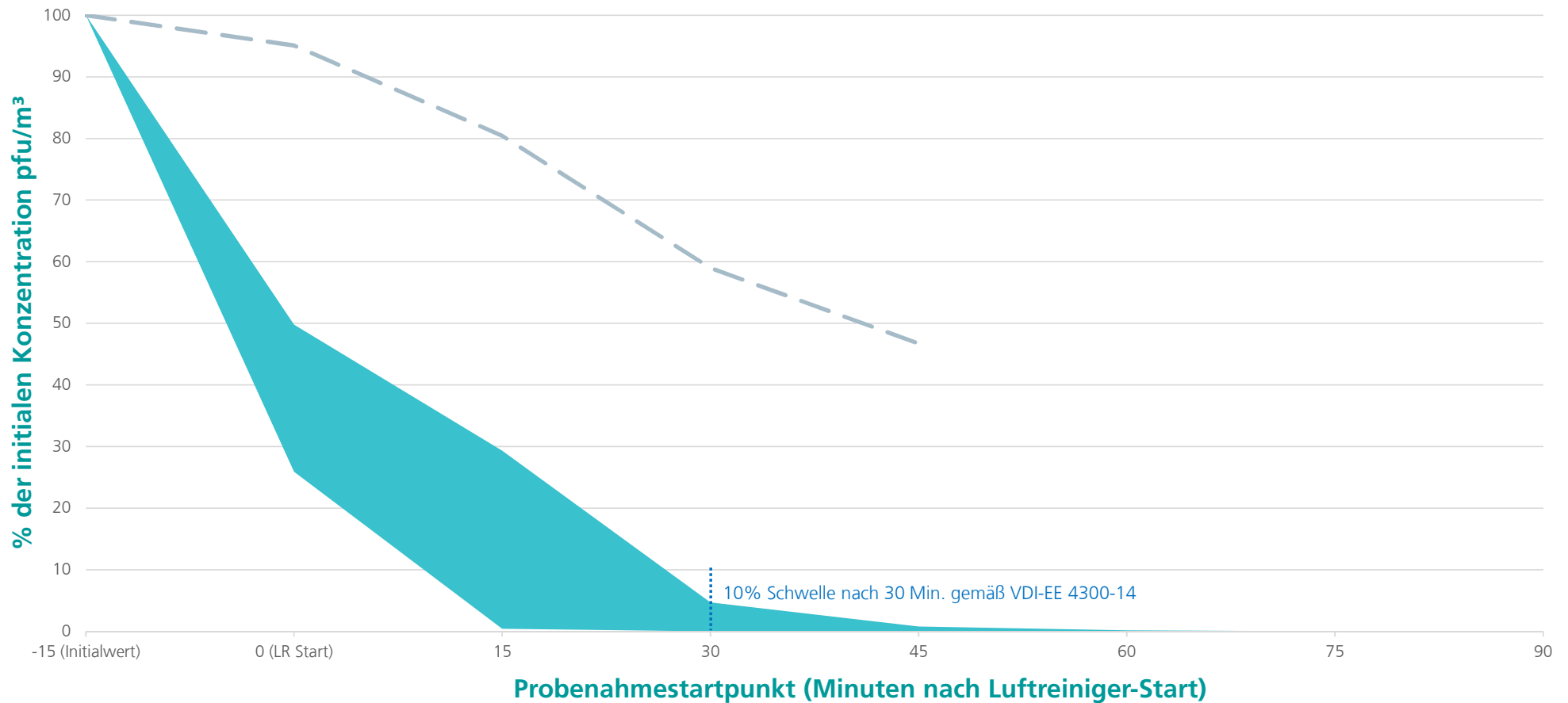


Abb. 15: Wertebereich der in der Luft gefundenen MS2-Konzentrationen (pfu/m^3) in Prozent der Startkonzentration (absolute Minima und Maxima der Messungen von sechs verschiedenen Luftreinigern) im zeitlichen Verlauf in Messkammer **mit Umluftbetrieb**, die gestrichelte graue Linie repräsentiert den „natural decay“ (Phagenabmangelung ohne Luftreiniger, exemplarisch anhand der Ergebnisse einer Messreihe)

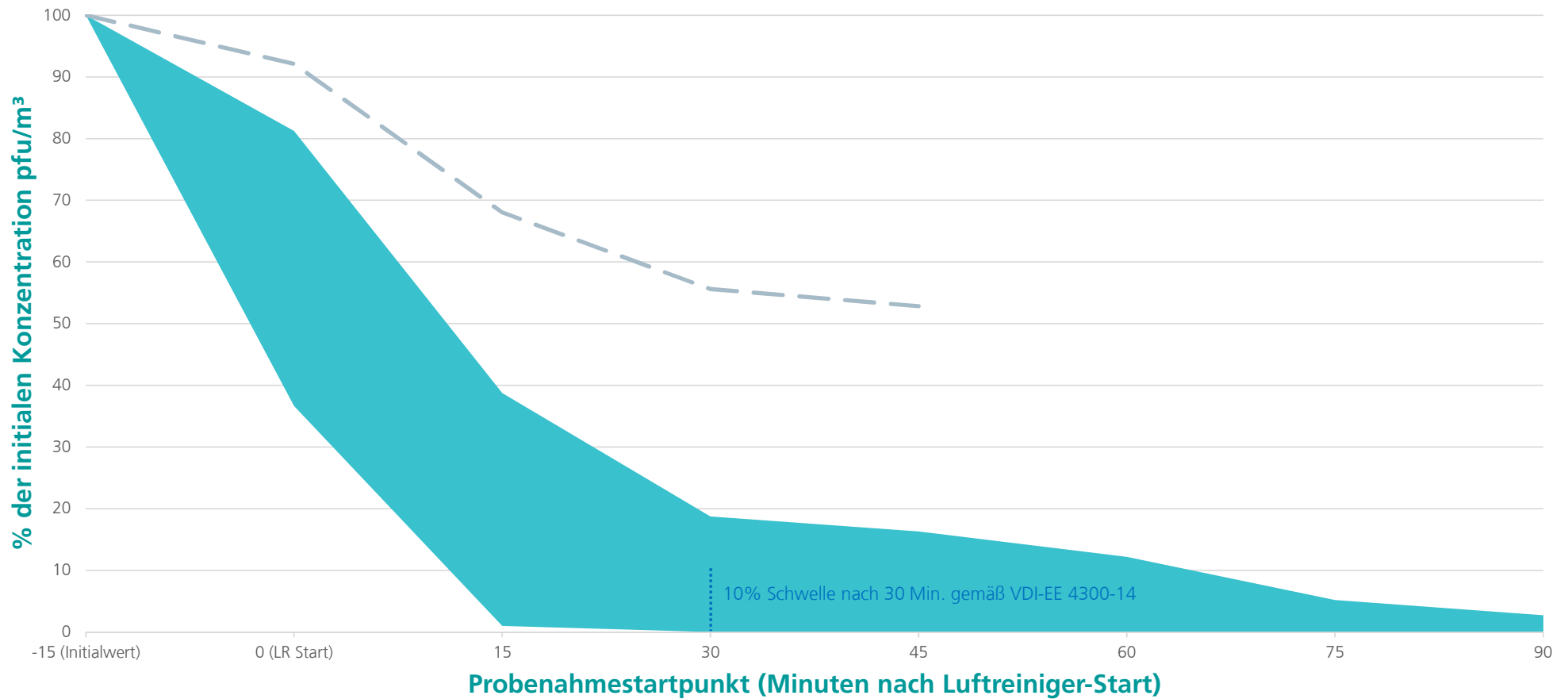


Abb. 16: Wertebereich der in der Luft gefundenen MS2-Konzentrationen (pfu/m^3) in Prozent der Startkonzentration (absolute Minima und Maxima der Messungen von sechs verschiedenen Luftreinigern) im zeitlichen Verlauf in Messkammer **ohne zusätzliche Ventilation**, die gestrichelte graue Linie repräsentiert den „natural decay“ (Phagenabmangelung ohne Luftreiniger, exemplarisch anhand der Ergebnisse einer Messreihe)

Natural Decay in Kammer ohne Durchmischung

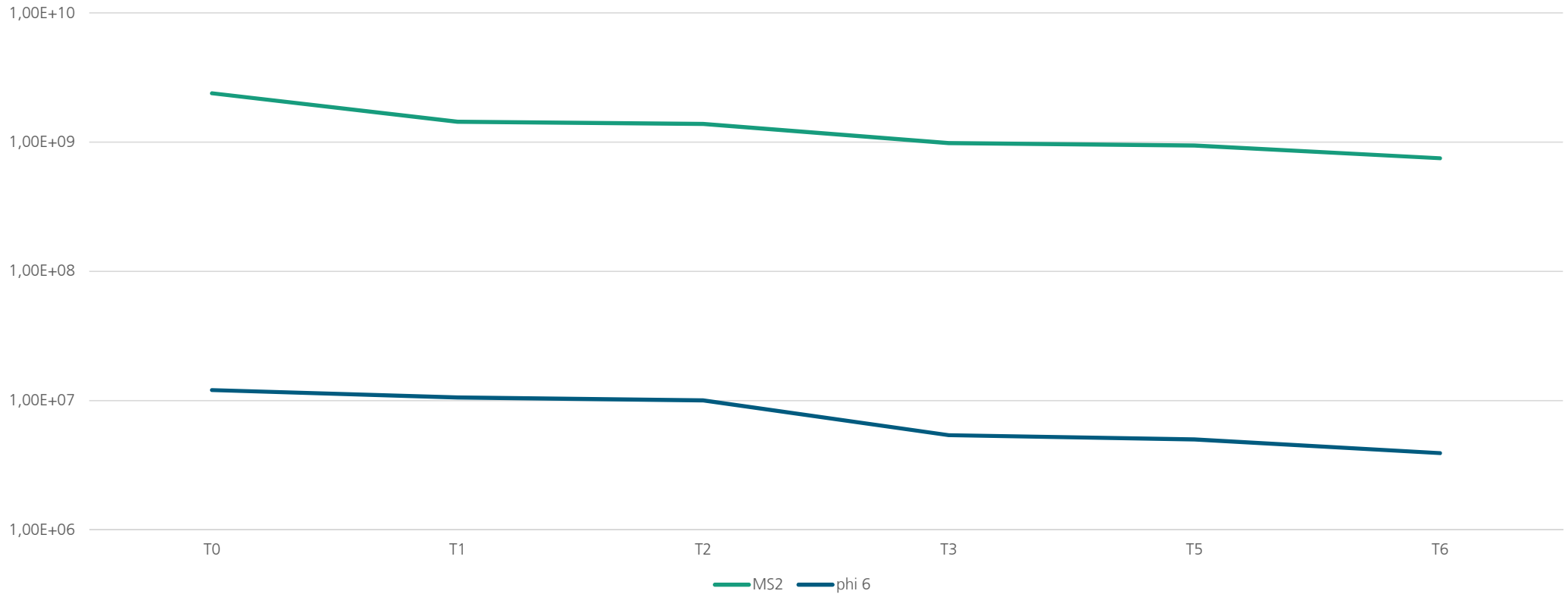


Abb. 17: In der Luft der Kammer gefundene Phagen-Konzentrationen (pfu/m^3) ohne zusätzliche Ventilation, Phagenabmangelung ohne Luftreiniger (natural decay) für MS2- und phi6-Phagen

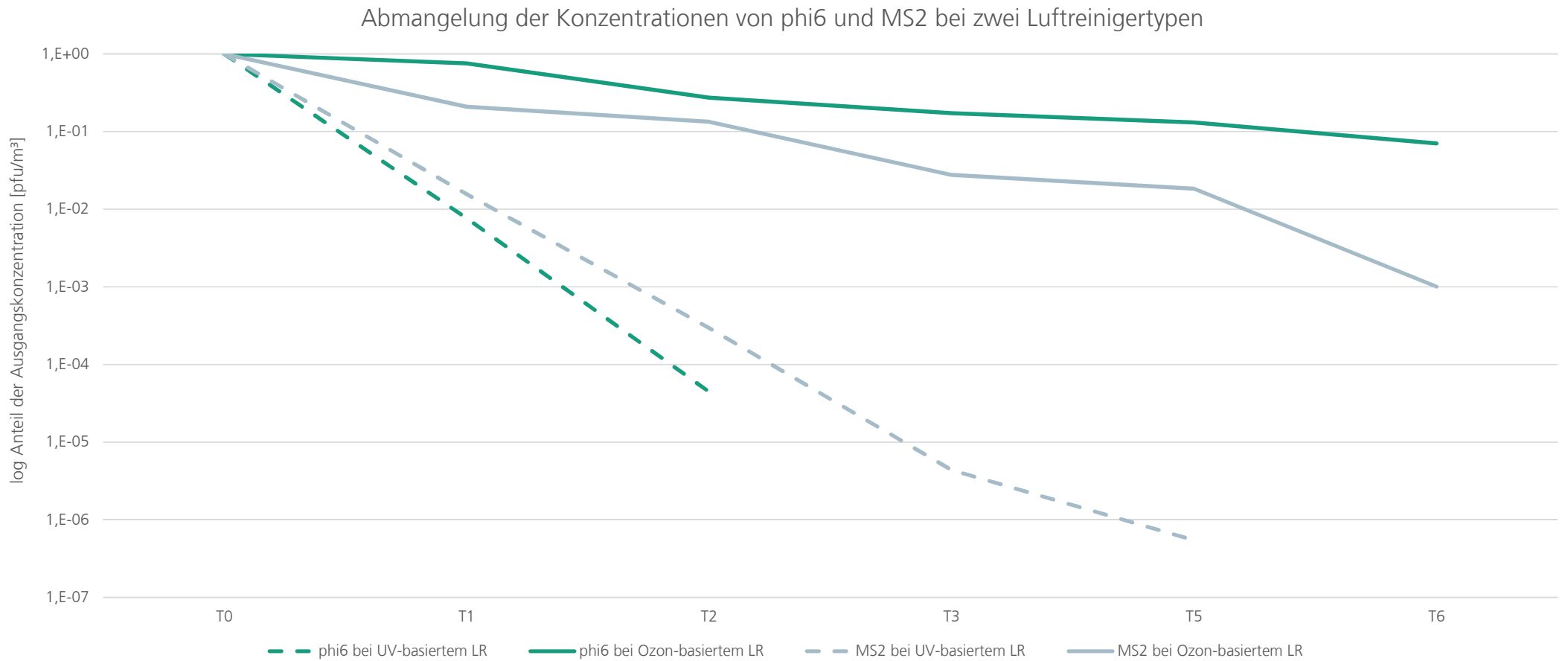


Abb. 18: Anteil der In der Luft der Kammer gefundenen Phagen-Konzentrationen relativ zur Startkonzentration (bei T0), Phagenabmangelung mit zwei Luftreiniger-Typen (Ozon-basiert und UV-basiert, ohne zusätzliche Ventilation) für MS2- und phi6-Phagen



Bei der Prüfung von Innenluftreinigern hinsichtlich ihrer Effektivität zur Virusabscheidung oder –inaktivierung gibt es viele „Stellschrauben“ die einen entscheidenden Einfluss auf das Abschneiden eines Luftreinigers haben können.

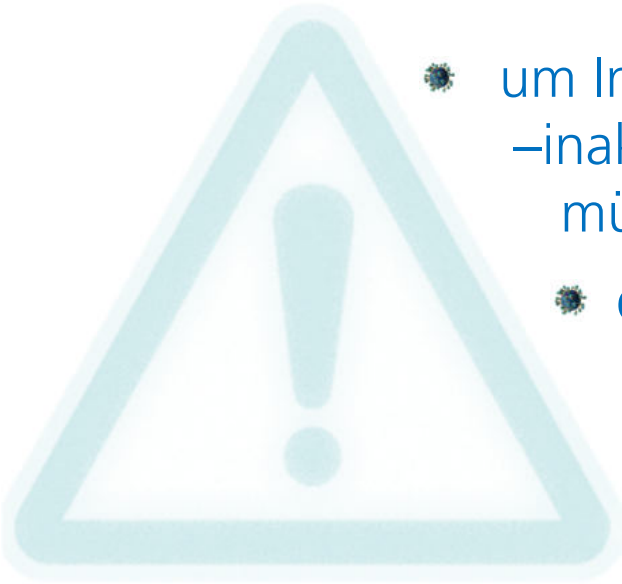
z.B.:

- Surrogatmarker / Verneblung

Art und Konzentration, Dosierungs-Position, -Start und –Dauer

- Messkammer oder Messstrecke / Messmethode

Ventilationsregime, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Messposition und -dauer

- 
- um Innenluftreiniger im Hinblick auf ihr Virusabscheide- oder –inaktivierungsvermögen miteinander vergleichen zu können, müssen all diese Parameter bekannt und beherrschbar sein
 - die gewählten Verfahren sollen möglichst keine hohen Schwellen (z. B. hohe Sicherheitsstufen, teure Messtechnik) enthalten, die Prüfinstitutionen im Wettbewerb zwingt, auf andere Methoden auszuweichen
 - das vereinheitlichte Verfahren muss gut bekannt und weit verbreitet sein



Prüfstandard für die Wirksamkeit von Luftreinigern zur Reduktion der Virenfracht in Innenraumluft

**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!**



