TECHNIK WISSEN 2021 BY HOWATHERM

HOWATHERM

HERZLICH WILLKOMMEN

zum ONLINE-VORTRAG mit Prof. Dr.-Ing. **Christoph Kaup**

Bessere Raumluftqualität durch Luftreiniger?

SYSTEMS by HOWATHERM

TECHNIK WISSEN 2021 BY HOWATHERM

HOWATHERM

HERZLICH WILLKOMMEN

zum ONLINE-VORTRAG mit Prof. Dr.-Ing. **Christoph Kaup**

Wie im Vergleich Raumlufttechnische Anlagen Aerosole und damit eine mögliche Virenlast in Räumen verringern.

SYSTEMS by HOWATHERM

Verdünnung

HOWATHERM

„Verdünnung“ der Belastung durch Außenluftzufuhr

Belastete **Abluft** wird **abgeführt** und durch **unbelastete Außenluft ersetzt.**

Vorteil

Belastete Raumluft wird durch „**Frischluft**“ ersetzt. Der **CO_2-Anteil** wird niedrig gehalten. Auch andere Schadstoffe werden reduziert.

Nachteil

Die enthaltene **Wärme** wird ebenfalls **abgeführt**. Dieser Nachteil kann durch WRG gemildert werden.

Die **Feuchte** im Raum wird auch **abgeführt**. Der Raum **trocknet** mit zunehmender AUL-Menge **aus.**

Befeuchtung wird „**notwendiger**“.

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

„Verdünnung“ der Belastung durch Filtration

Belastete **Abluft** wird **gefiltert** und als „**unbelastete**“ **Umluft** dem Raum erneut zugeführt.

Vorteil

Die **Wärme** und **Feuchte** im Raum werden **wenig beeinflusst.**

Nachteil

Die belastete Raumluft wird nicht durch „**Frischluft**“ ersetzt.

Der **CO_2-Anteil** wird **nicht reduziert**.

Auch andere **gasförmige Schadstoffe** werden nicht verringert.

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

erforderliche Lüftungsrate

$$Q_h = G_h / (C_{h,i} - C_{h,o}) / \varepsilon_V$$

Q_h	durch Verdünnung erforderliche **Lüftungsrate** [m³/s]
$\mathbf{G_h}$	**die Stofflast einer Verunreinigung [mg/s]**
$\mathbf{C_{h,i}}$	**der Richtwert für eine Verunreinigung [mg/m³]**
$C_{h,o}$	Konzentration in der Zuluft [mg/m³]
ε_V	**Lüftungseffektivität**

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Lüftungseffektivität

$$\varepsilon_V = (c_E - c_S) / (c_I - c_S)$$

ε_V	Lüftungseffektivität (1 = ideale **Mischlüftung** > 1 **Quelllüftung** und < 1 Kurzschlusslüftung)
c_E	Verunreinigungskonzentration Abluft [mg/m³]
c_S	Verunreinigungskonzentration Zuluft [mg/m³]
c_I	Verunreinigungskonzentration Atemluft [mg/m³]

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Luftwechsel oder -erneuerungsrate

Luftwechselrate ist abhängig vom Volumenstrom und vom Raumvolumen.

Lufterneuerung

Soll alle **20 Minuten** die Raumluft erneuert werden ist eine **Luftwechselrate von 3** notwendig. Mindestens ist eine LW = 3 notwendig um eine stabile Raumströmung zu erreichen.

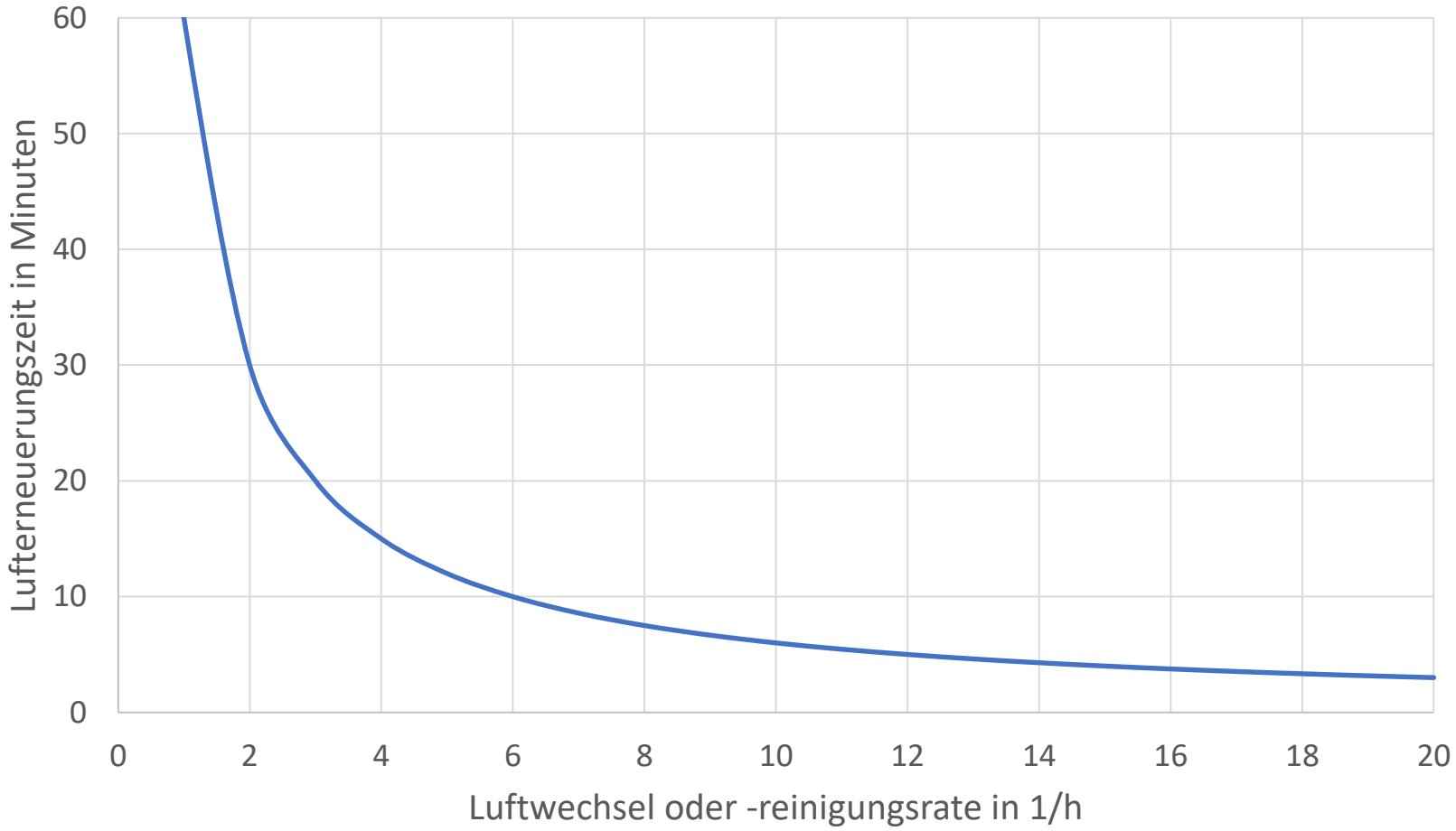
Empfehlung

Bis 6-fachem Luftaustausch bestehen meist **keine Bedenken** in Bezug auf Zugerscheinungen.

Laut **VDI EE 4300 Blatt 14** ist mindestens **4-facher Luftwechsel** entsprechend empfohlen.

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

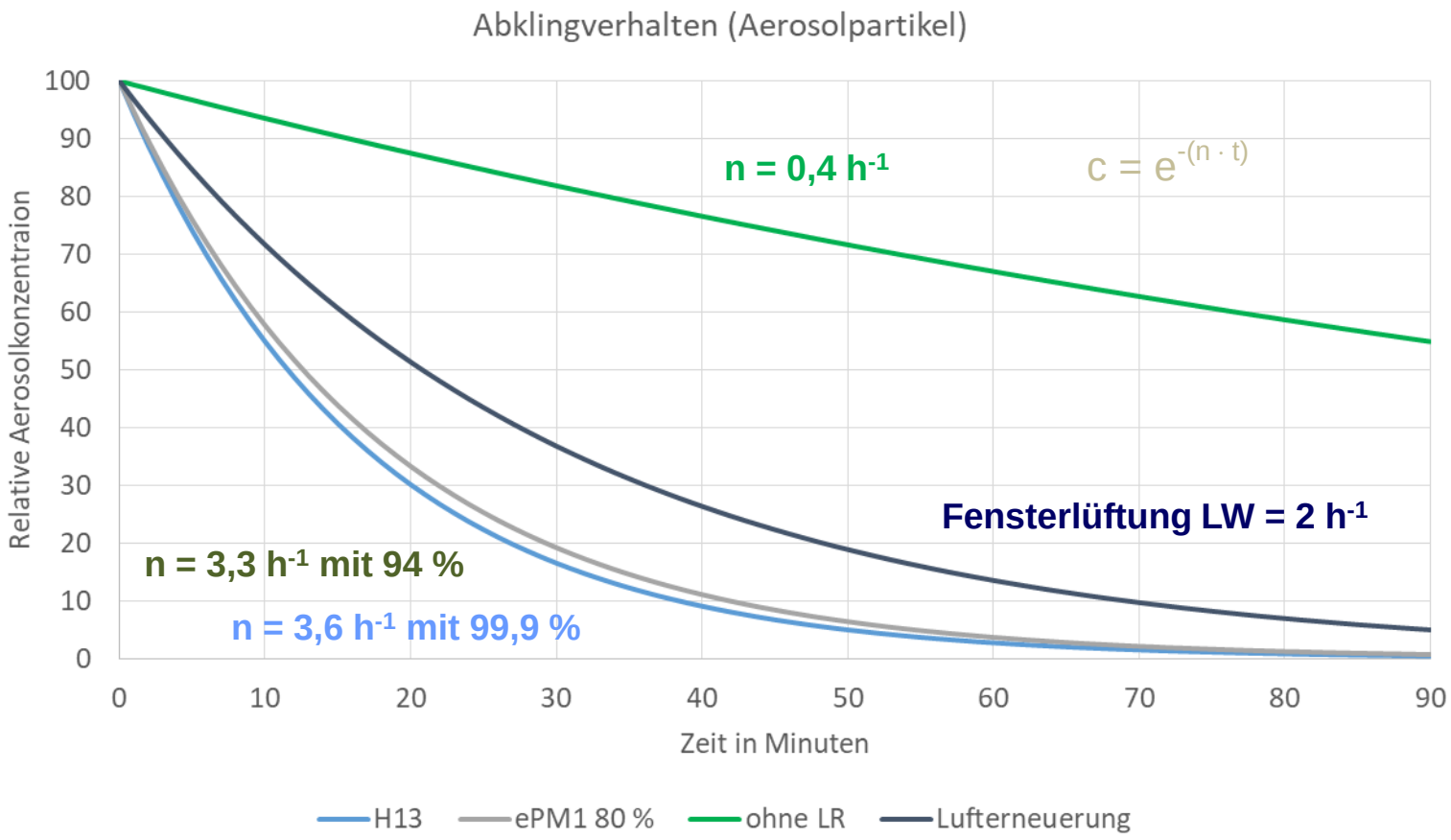
Luftwechsel- oder -erneuerungsrate zur -zeit



© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Reduktion nach „Anfangsbelastung“

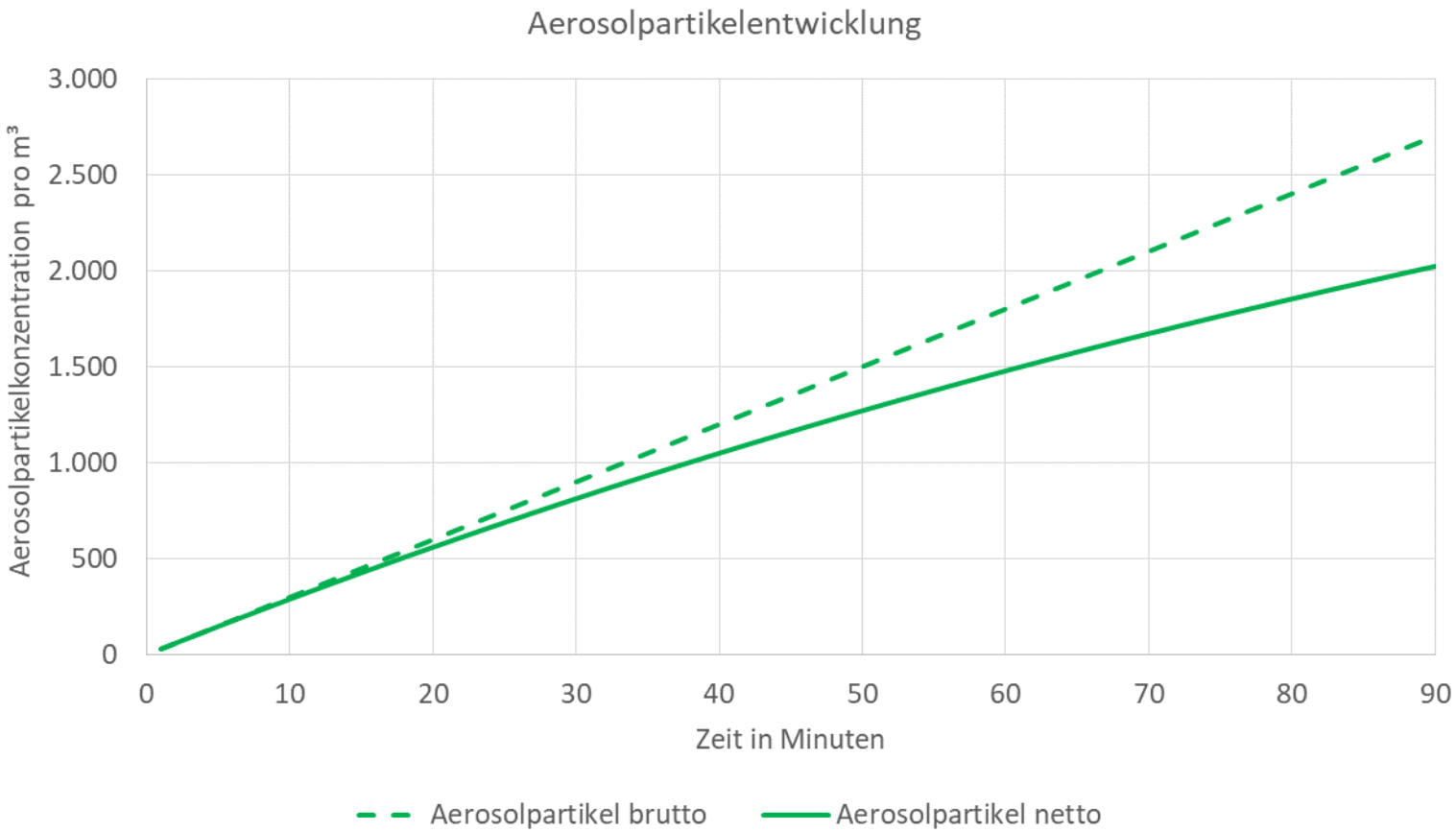


Reduktion einer Anfangskonzentration mit LR = 3,6 h^{-1} (Messung HEPA H13) im **Vergleich** zur **Lüftung (LW = 2 h^{-1})**

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

„Reale“ Partikelentwicklung mit infektiöser Person



Person spricht mit ∅ 100 Aerosolpartikeln pro Sekunde (Emission bei einem Raumvolumen von 200 m³) (**keine Maske**)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Konzentrationsänderung

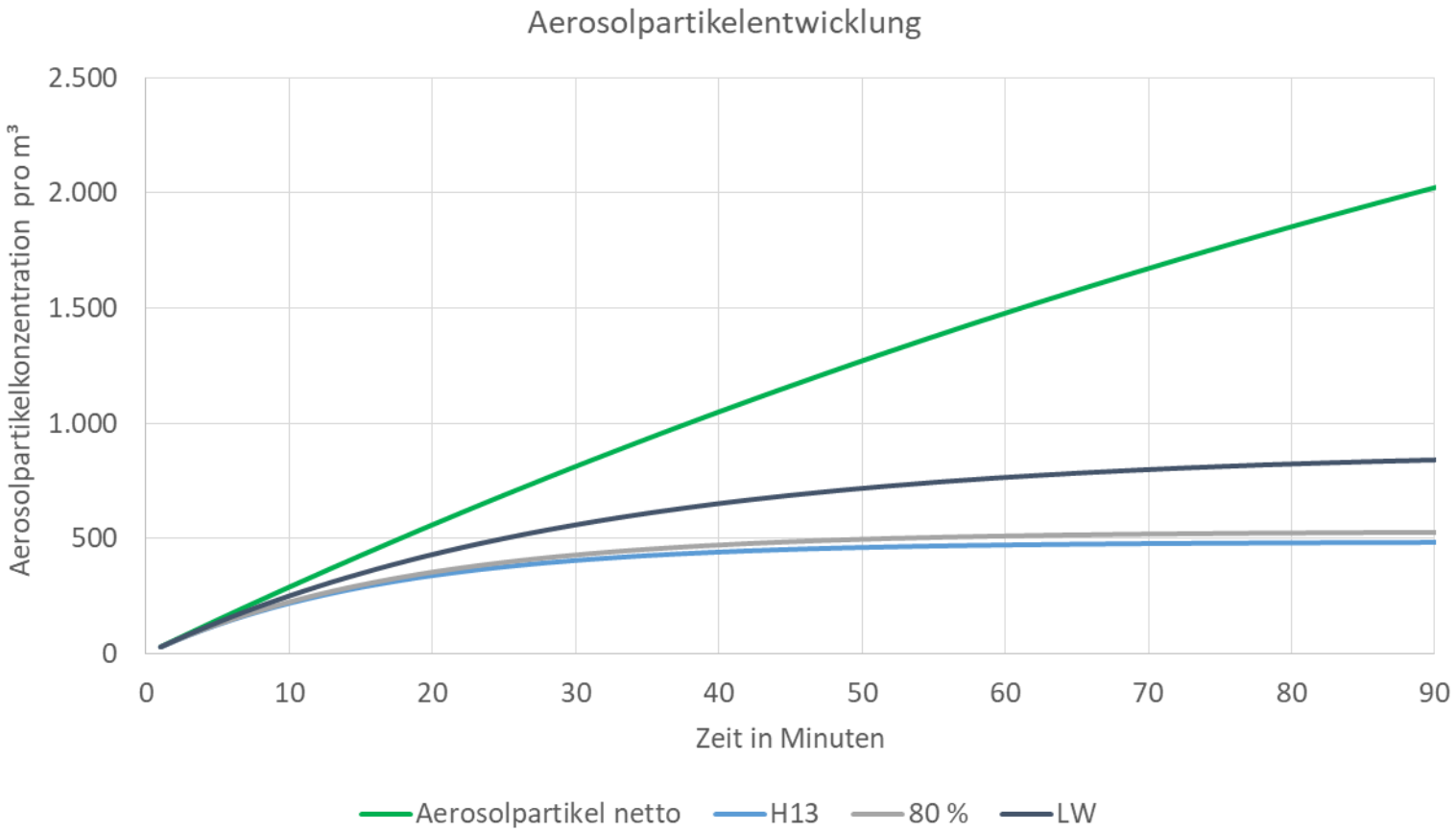
$$c(t) = c_a + q / (n \cdot V) \cdot (1 - e^{-n \cdot t})$$

c(t)	Konzentrationsverlauf über die Zeit (t) [z. B. ppm]
c_a	Anfangskonzentration [z. B. ppm]
n	**Luftwechsel je h** [h^{-1}]
q	**Abgabe der Personen** z. B. **CO_2** [z. B. l/h]
V	**Raumvolumen** [m^3]

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelentwicklung mit einer infizierten Person



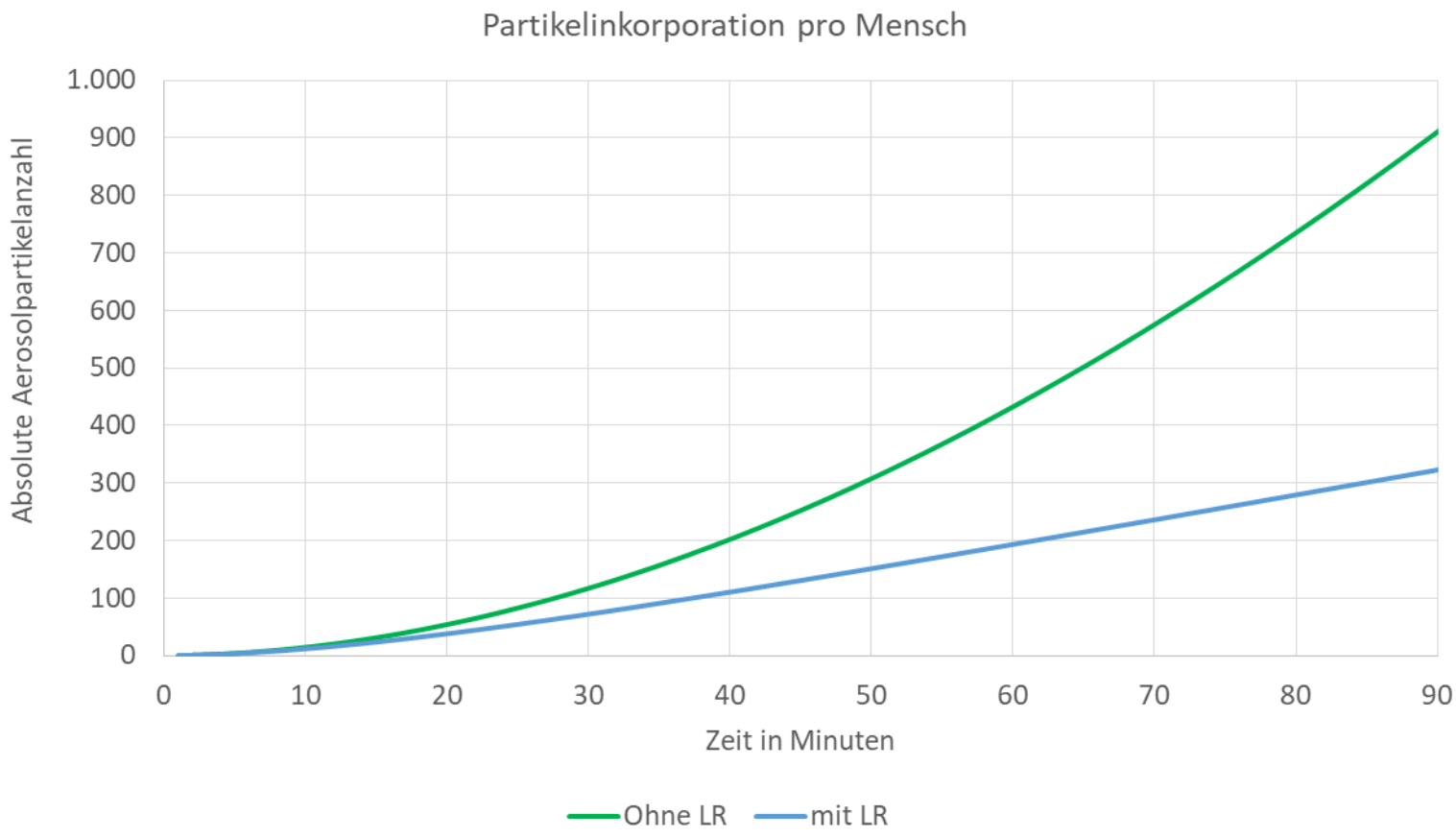
Konzentration an Aerosolen mit LR = 3,6 h^{-1} (HEPA H13) im **Vergleich** zur **Fensterlüftung mit LW = 2 h^{-1}**

Person spricht mit ∅ 100 Aerosolpartikeln pro Sekunde (Emission bei einem Raumvolumen von 200 m³) (**keine Maske**)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelinkorporation



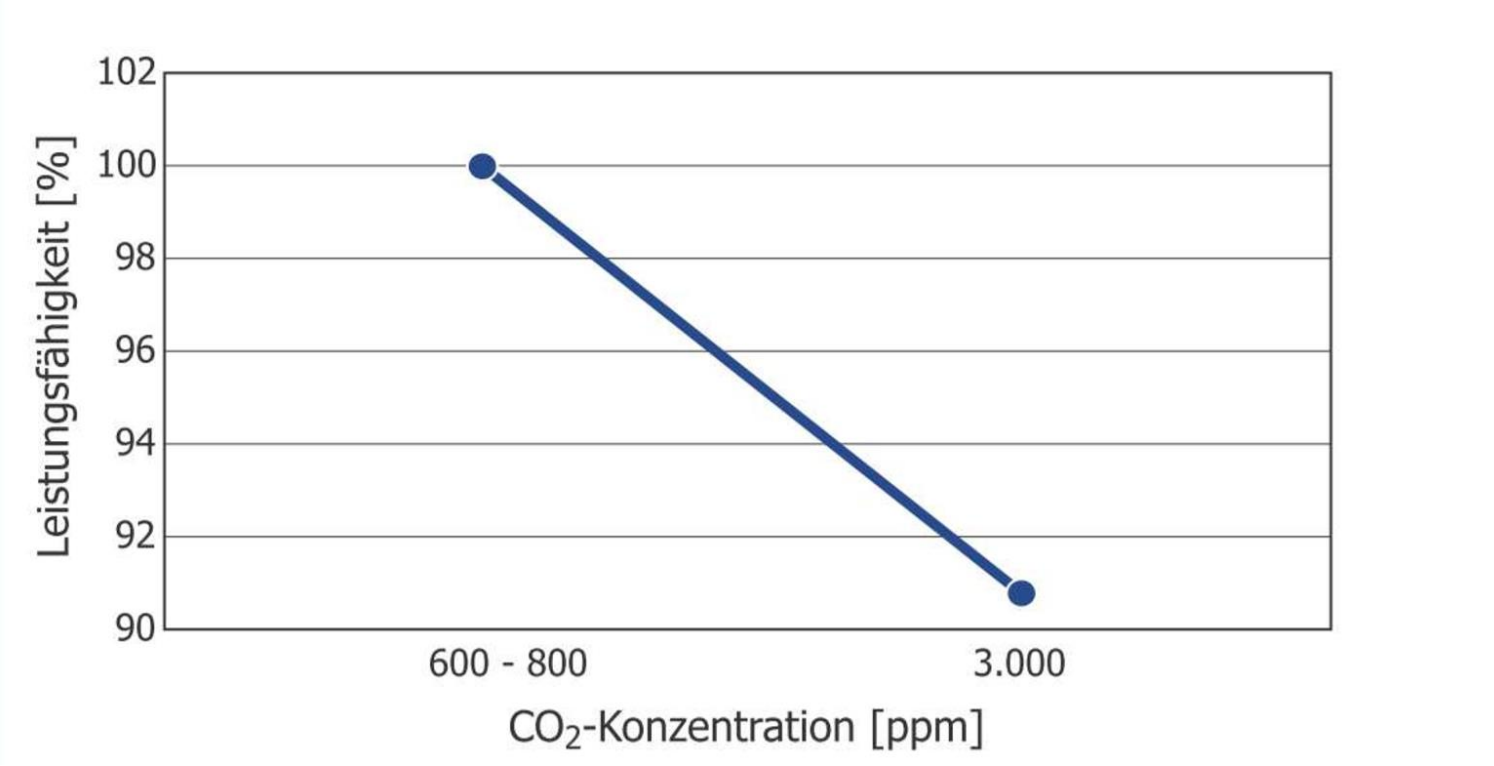
Inkorporation von Aerosolen mit LW = 3,6 h^{-1} (HEPA) im Vergleich ohne LR

Person atmet 0,5 l/Atemzug mit 18 Zügen pro Minute (**keine Masken**)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

CO_2-Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit

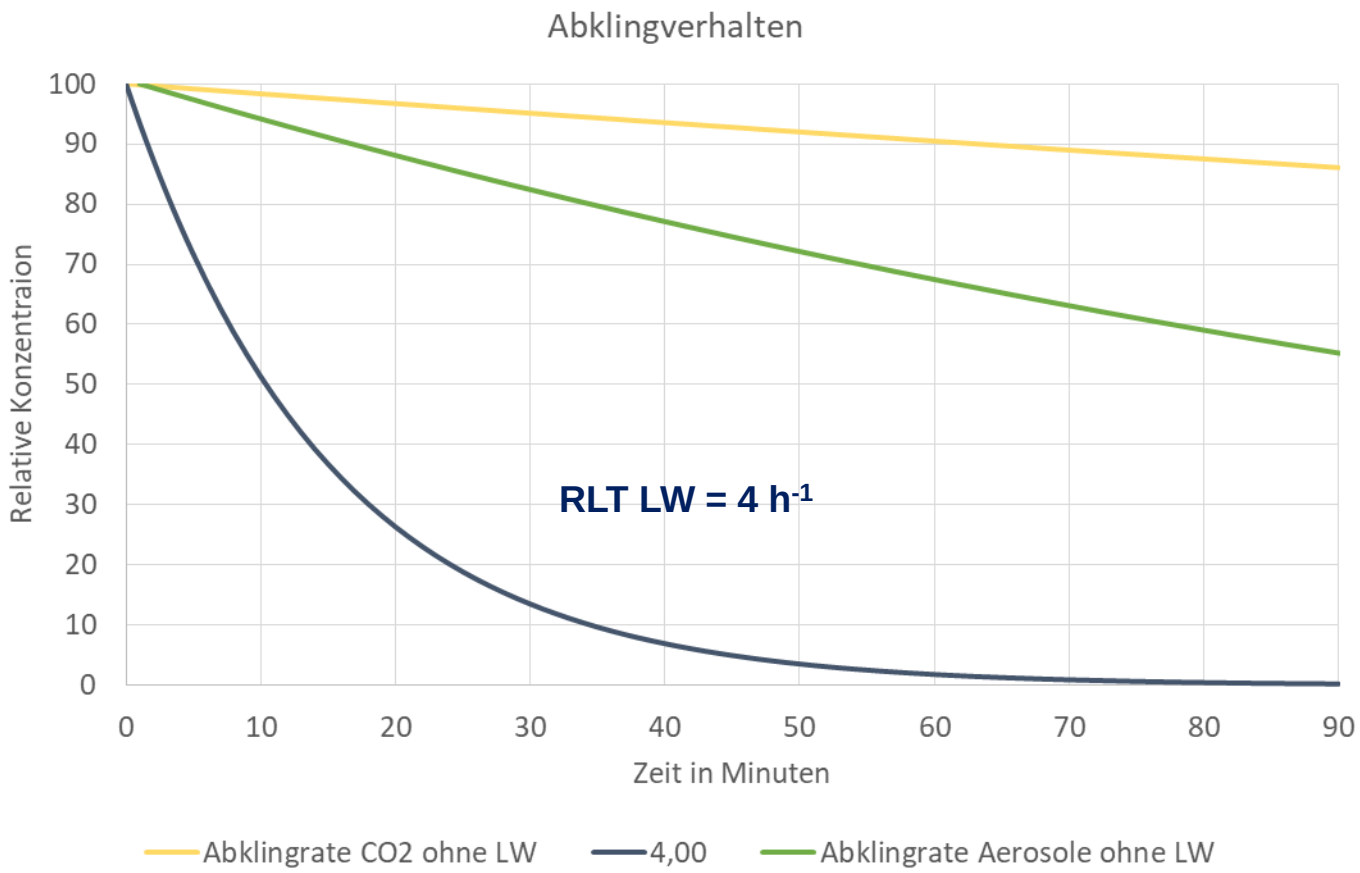


Ergebnis eines in österreichischen Schulen durchgeführten Aufmerksamkeits- und Konzentrationstests in Abhängigkeit unterschiedlicher CO_2-Konzentrationen, Quelle: Ribic, Unser Weg, Heft 5, 2007

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Reduktion nach „Anfangsbelastung“

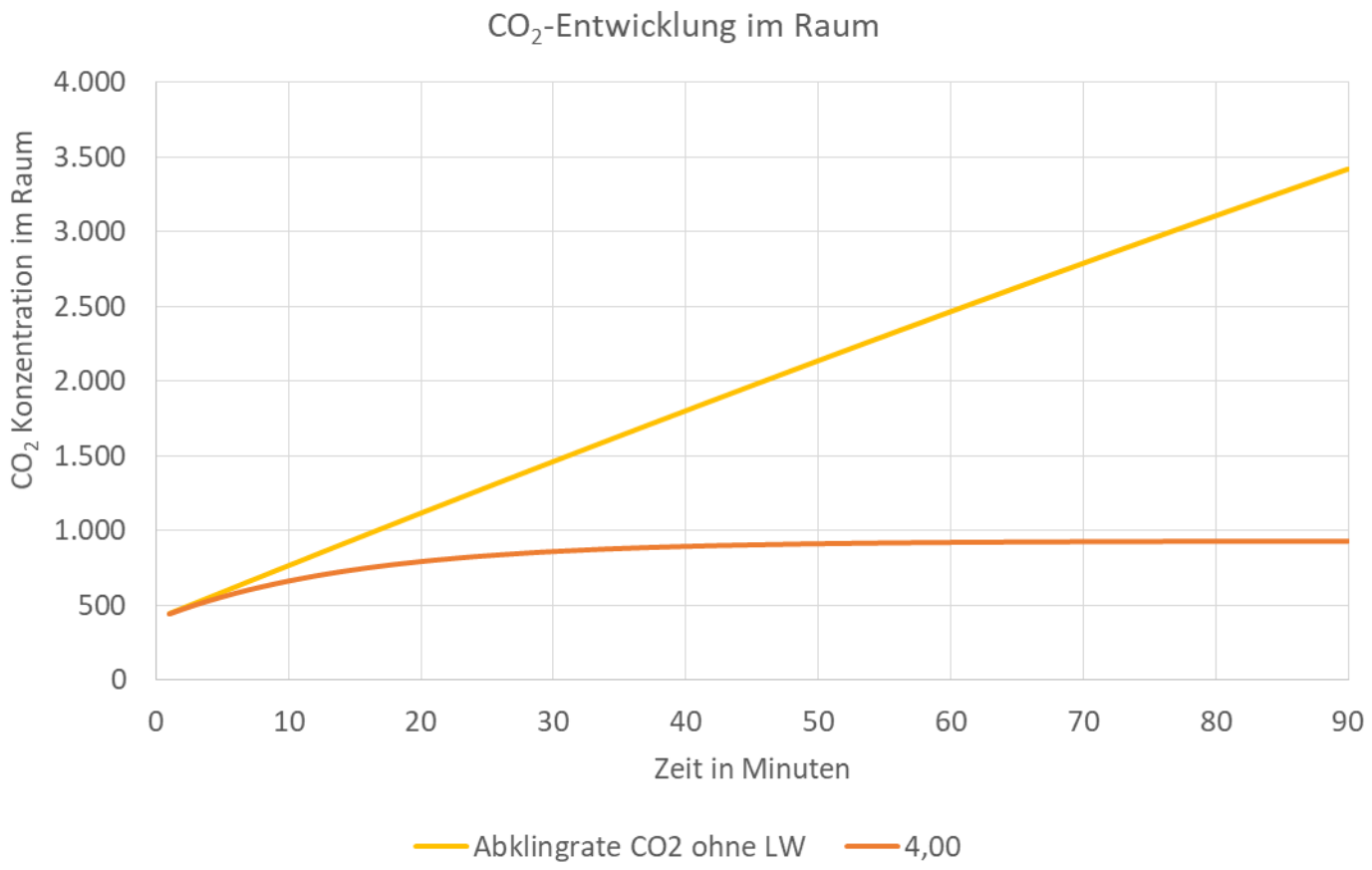


Reduktion einer Anfangskonzentration mit RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1} / Abklingrate CO_2 0,1 h^{-1} / Abklingrate Partikel 0,4 h^{-1}

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

CO_2-Entwicklung im Raum

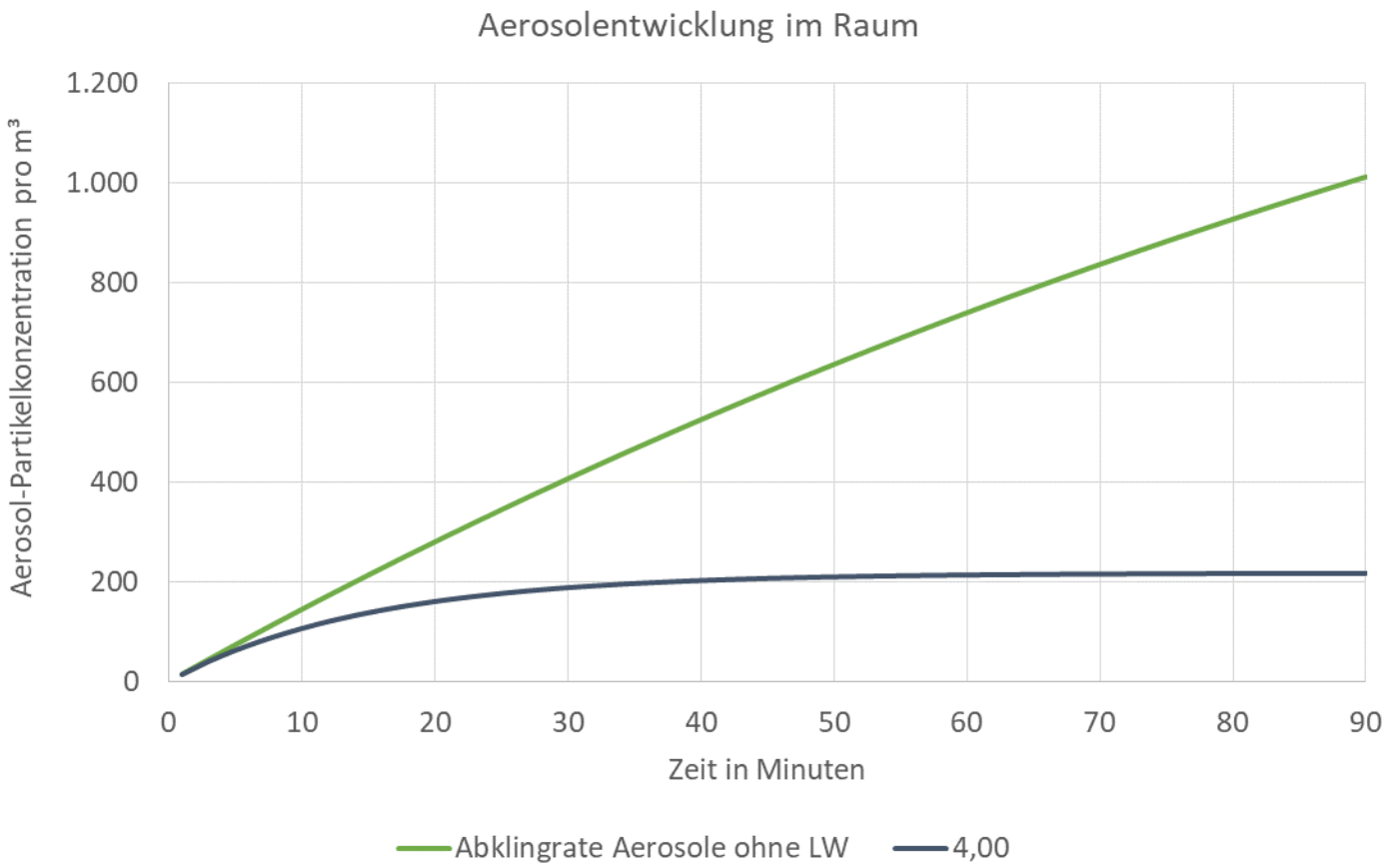


24 Personen mit 18 l/h CO_2-Produktion (Raumvolumen 200 m³) mit **RLT-Anlage** mit **LW = 4 h^{-1}**

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelentwicklung mit einer infizierten Person



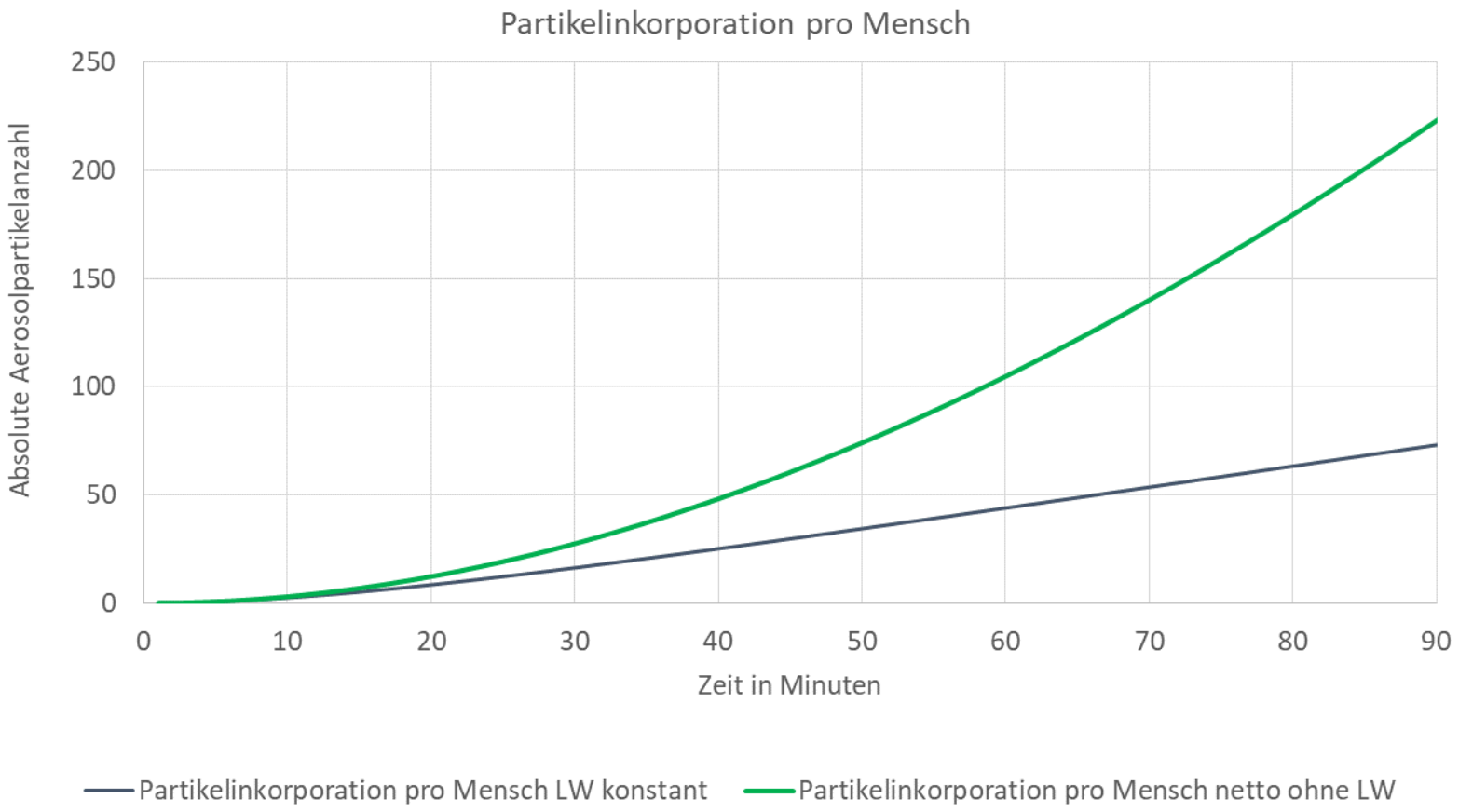
Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage** mit **LW = 4 h^{-1} / Maskenreduktion 0,5 Infizierter**

1 Person spricht mit 100 Aerosolpartikeln pro Sekunde (Emission bei einem Raumvolumen von 200 m³)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelinkorporation mit Masken



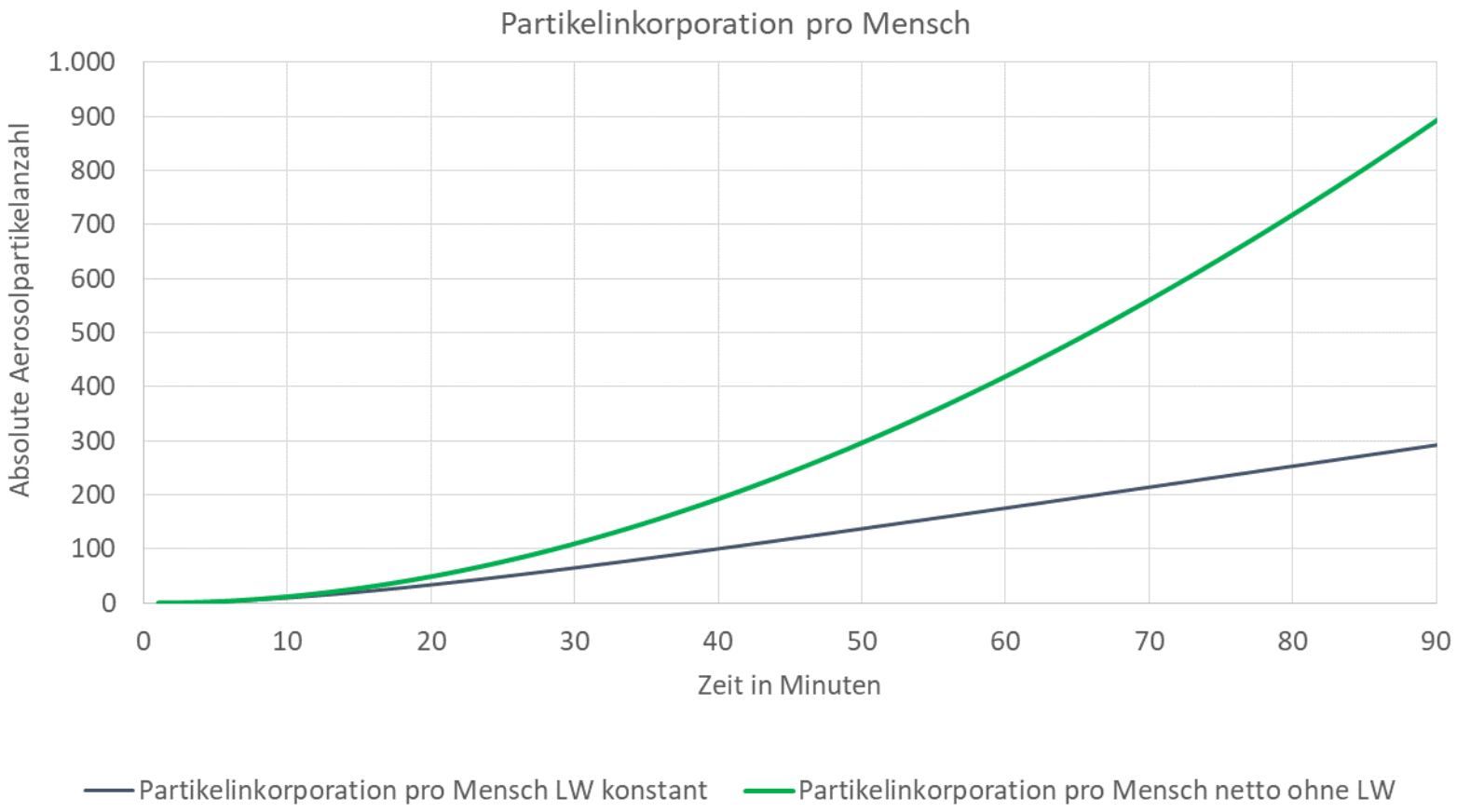
Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage** mit **LW = 4 h^{-1}** (Raumvolumen von 200 m^3) 0,5 l/Atemzug bei 15 Atemzüge/Min.

1 Person spricht mit 100 Aerosolpartikeln pro Sekunde (Emission) / **Maskenreduktion 0,5 (Infizierter und Zuhörer)**

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelinkorporation ohne Masken



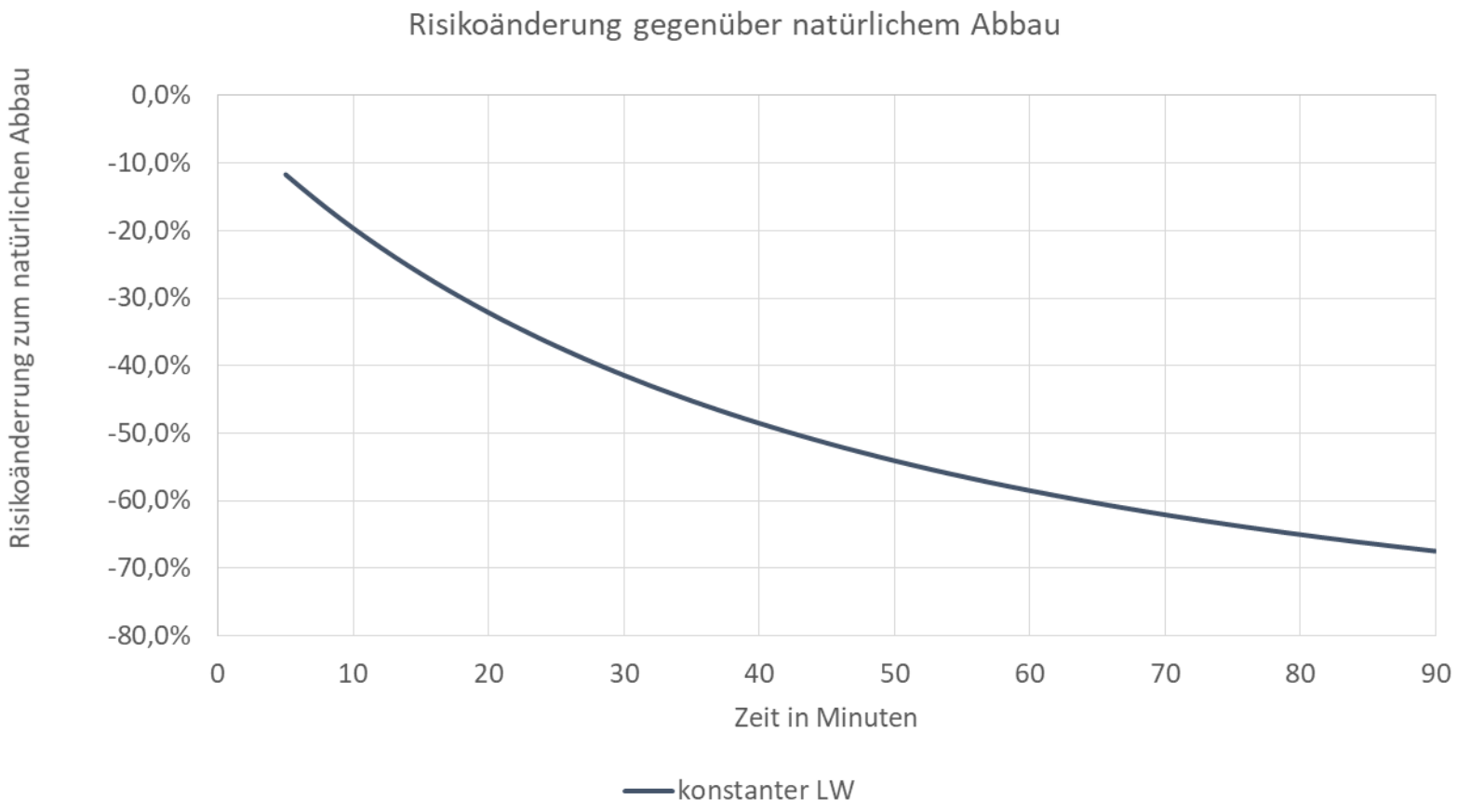
Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage** mit **LW = 4 h^{-1}**

1 Person spricht mit 100 Aerosolpartikeln pro Sekunde (Emission) / **keine** Maskenreduktion (Infizierter und Zuhörer)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Relative Partikelinkorporationsänderung



RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}

1 Person spricht mit 100 Aerosolpartikeln pro Sekunde (Emission) / Maskenreduktion 0,5 (Infizierter und Zuhörer)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Wahrscheinlichkeit mindestens eines Infizierten k ≥ 1

$$P_{KPR} = 1 - P(0|p, n_R) = 1 - (1 - n_{Inf} / n_P)^{n_R}$$

p	Infektionshäufigkeit $p = n_{Inf} / n_p$
n_{Inf}	Anzahl der Infizierten
n_P	Gesamtmenge der Population
n_R	**Anzahl der Personen im Raum**

D.Müller, K. Rewitz,D.Derwein, T.M. Burgholz, M. Schweiker, J. Bardey, P. Tappler Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosol-gebundene Viren in belüfteten Räumen (2. überarbeitete und korrigierte Auflage), White Paper, RWTH-EBC 2021-002, Aachen, 2021, DOI: 10.18154/RWTH- 2021-02417

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

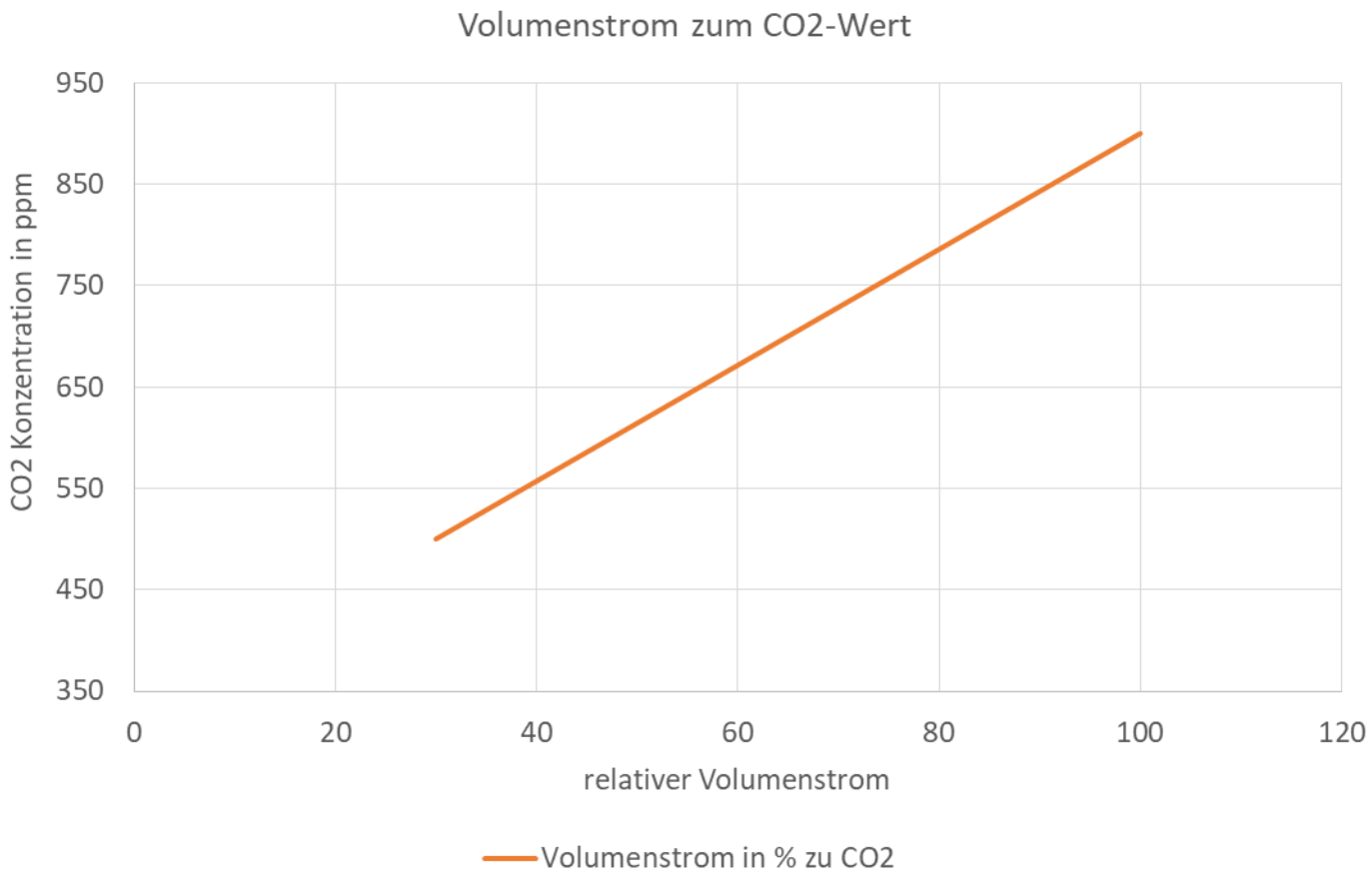
Wahrscheinlichkeit mindestens eines Infizierten k ≥ 1

Anzahl Personen im Raum	Inzidenz				
	50	100	150	200	250
5	0,2%	0,5%	0,7%	1,0%	1,2%
10	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%
15	0,7%	1,5%	2,2%	3,0%	3,7%
20	1,0%	2,0%	3,0%	3,9%	4,9%
25	1,2%	2,5%	3,7%	4,9%	6,1%
50	2,5%	4,9%	7,2%	9,5%	11,8%
100	4,9%	9,5%	13,9%	18,1%	22,1%
150	7,2%	13,9%	20,2%	25,9%	31,3%
250	11,8%	22,1%	31,3%	39,4%	46,5%
500	22,1%	39,4%	52,8%	63,2%	71,4%
1.000	39,4%	63,2%	77,7%	86,5%	91,8%

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

CO_2-Regelung der RLT-Anlage

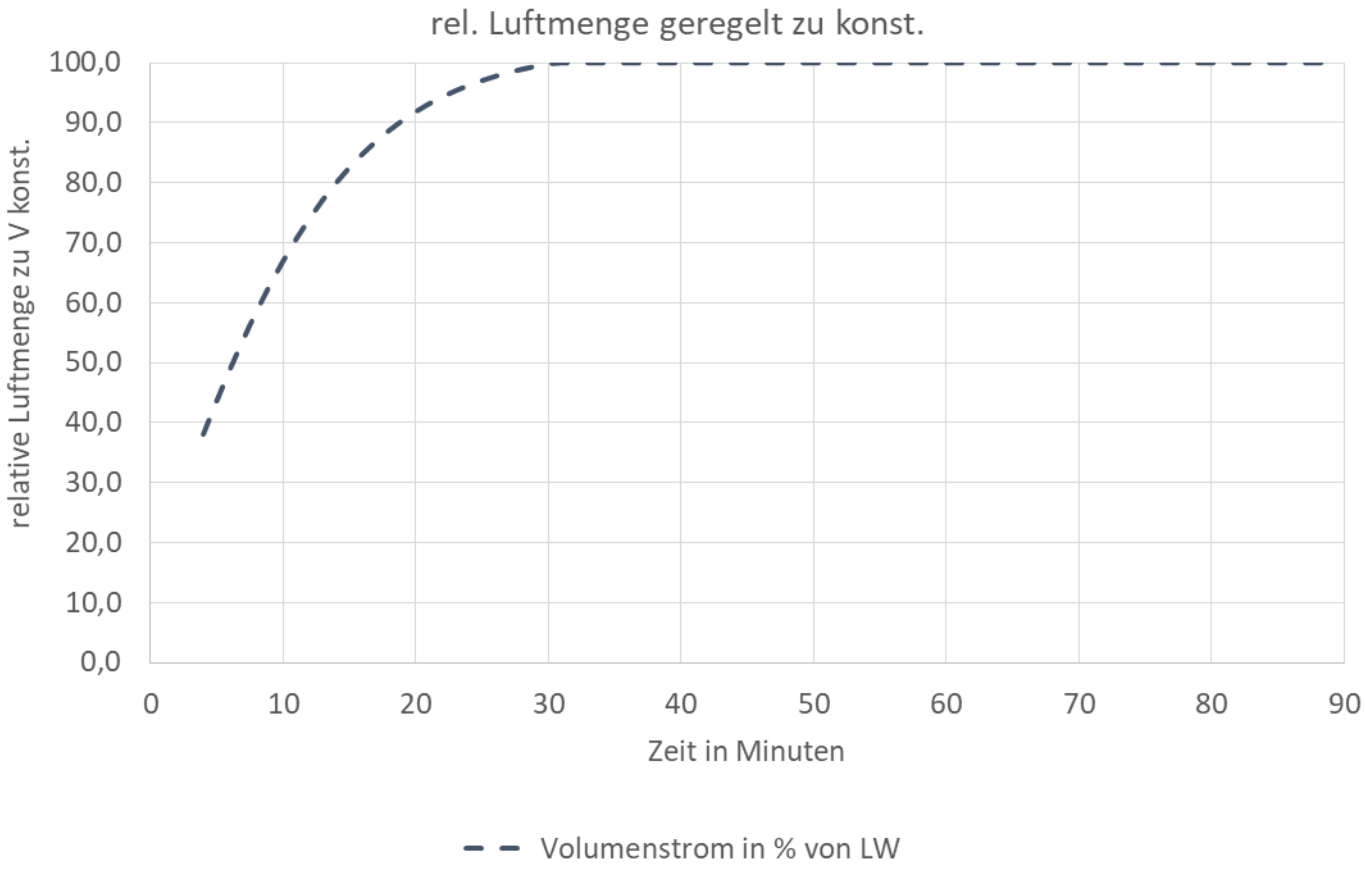


Regler Kennlinie CO_2 zum Volumenstrom

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

CO_2-Regelung der Anlage

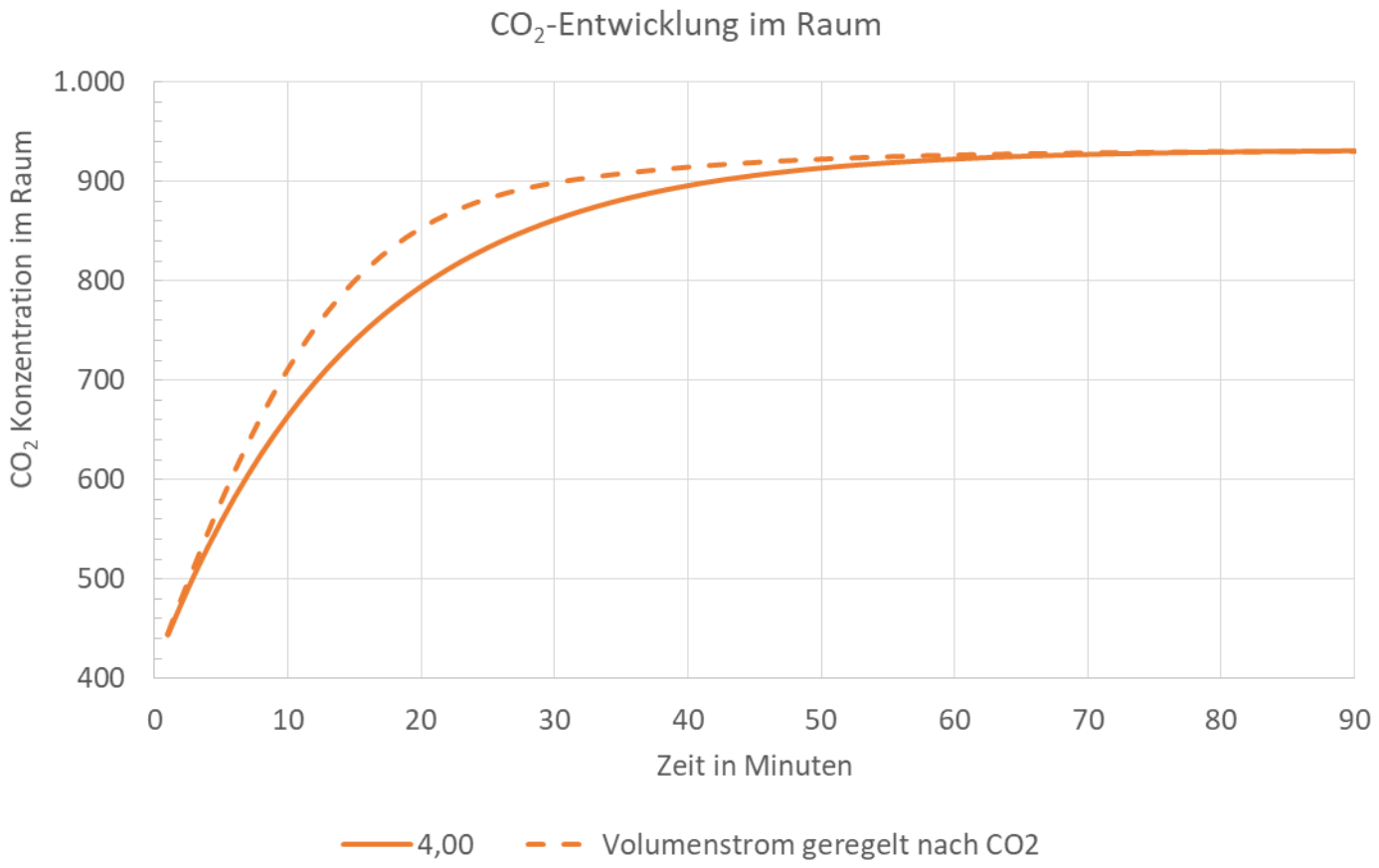


Volumenstrom Kennlinie bei **24 Personen** im Raum (18 l/h CO_2-Produktion pro Person)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

CO_2-Entwicklung im Raum

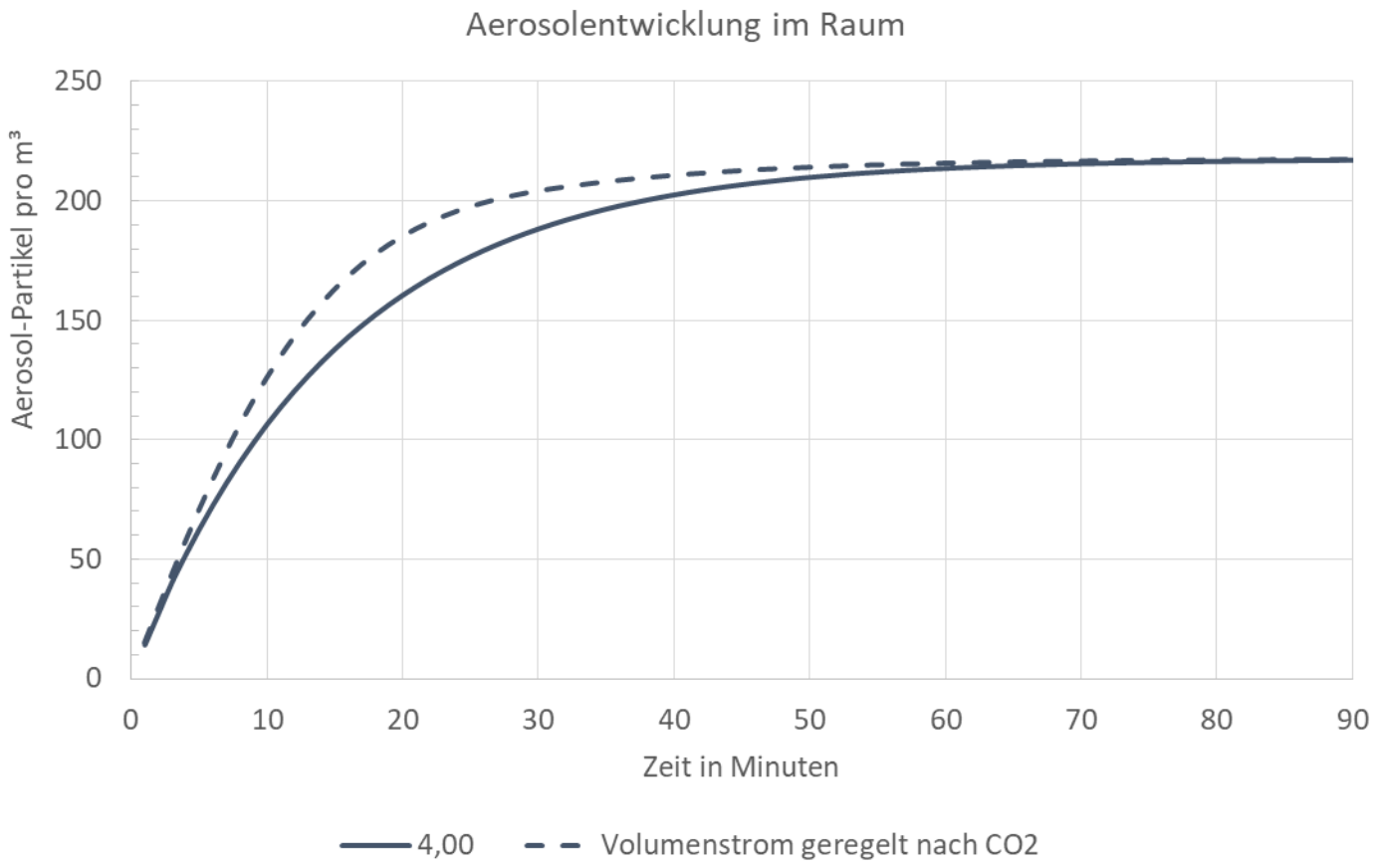


24 Personen mit 18 l/h CO_2-Produktion (Raumvolumen 200 m³) mit RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelentwicklung mit einer infizierten Person



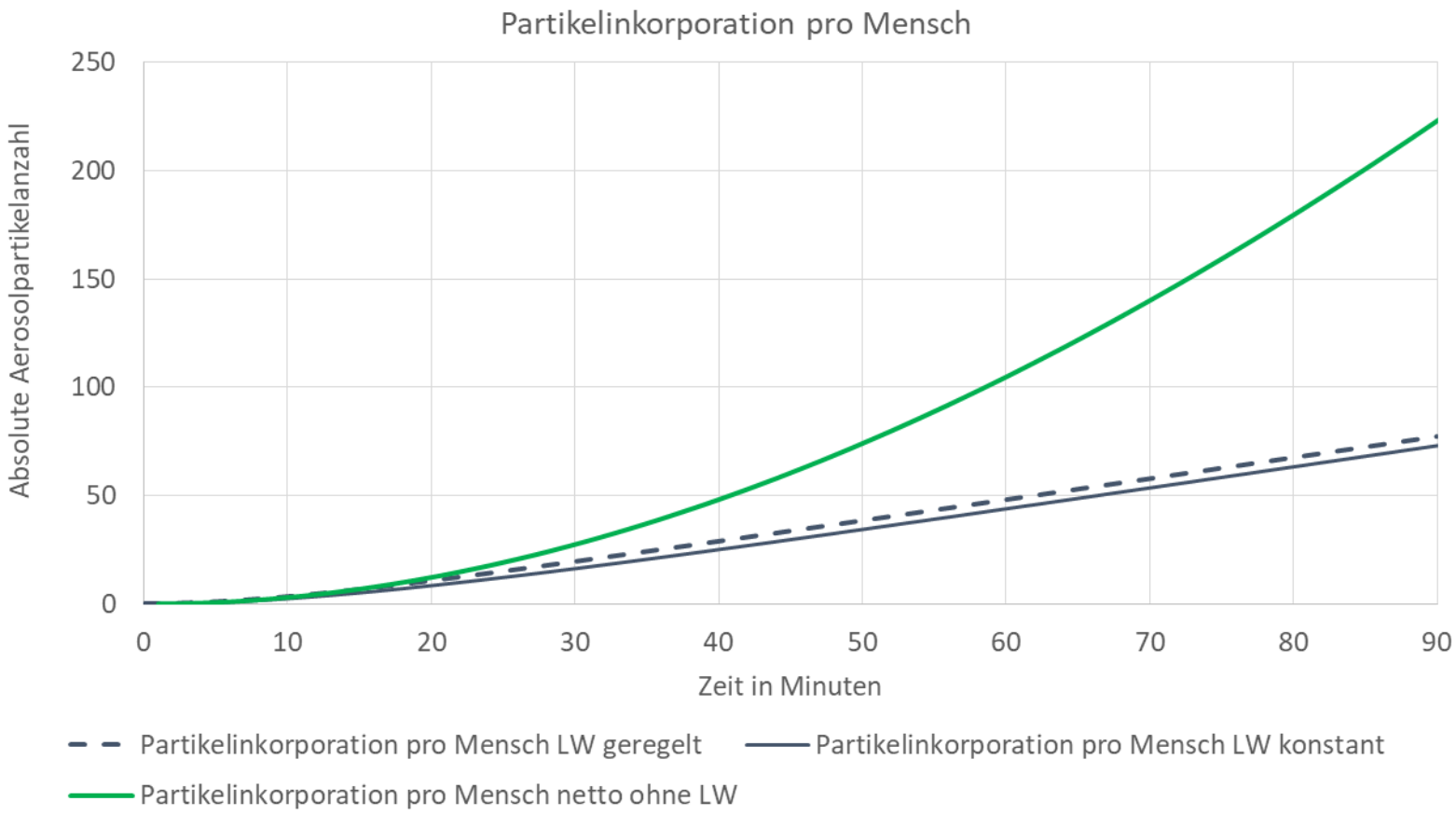
Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}** / Rahmenbedingungen wie zuvor

1 Person spricht mit 100 Aerosolpartikeln pro Sekunde (Emission) / Maskenreduktion 0,5 (Infizierter und Zuhörer)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelinkorporation



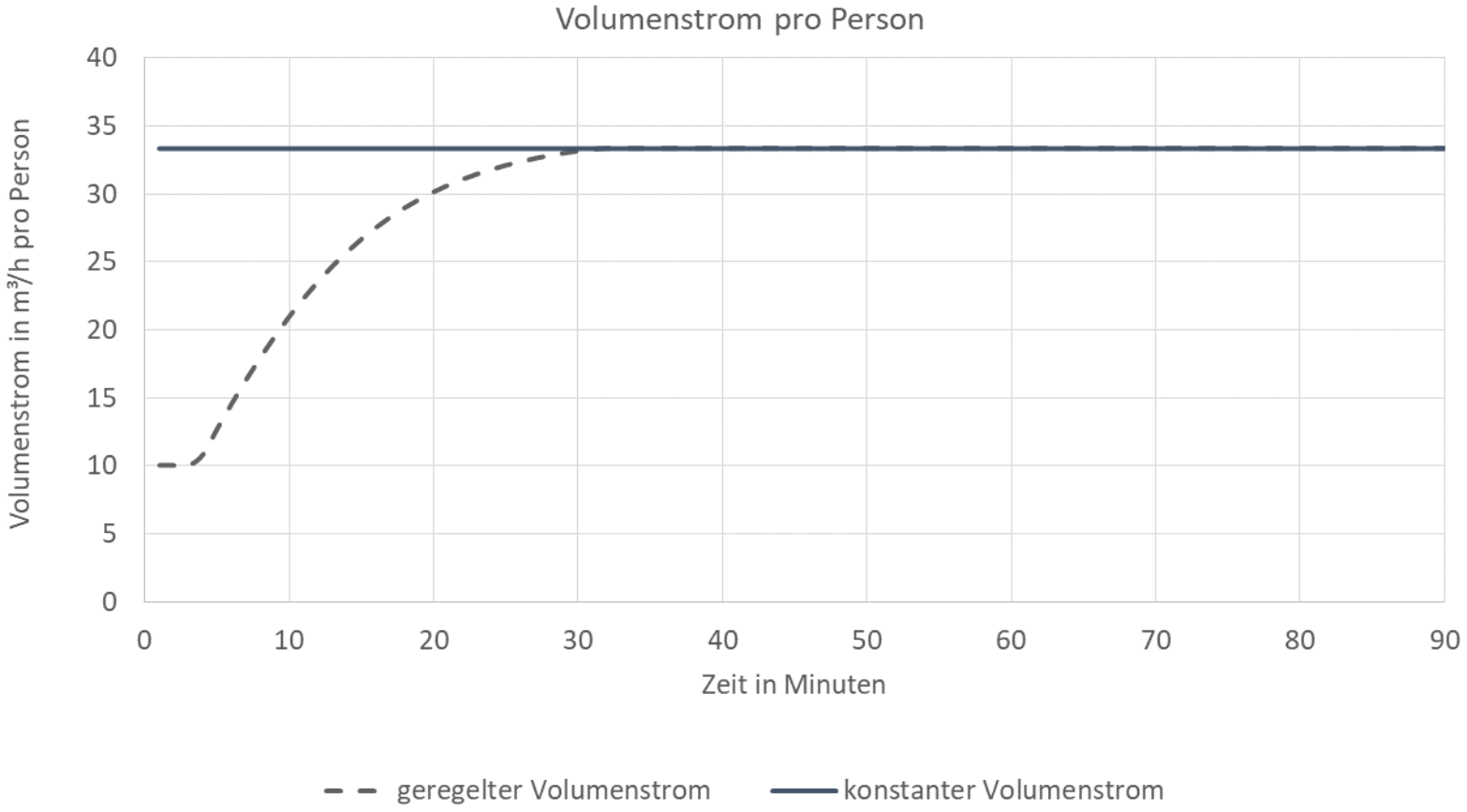
Konzentration an Aerosolen **RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}**

Rahmenbedingungen wie zuvor

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Virenfreie Luftmenge pro Person



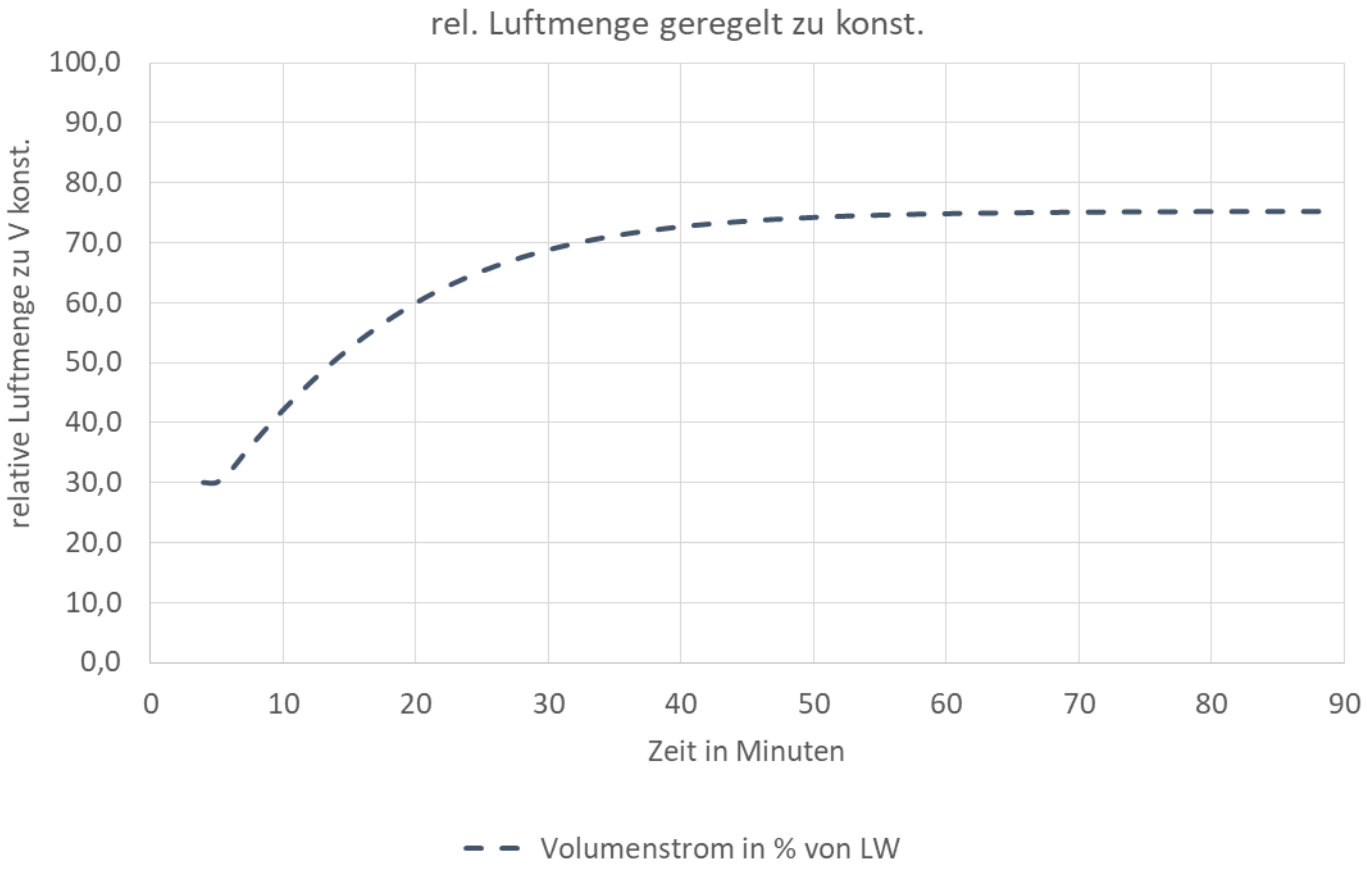
Frischluftrate pro Person **RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}**

Rahmenbedingungen wie zuvor

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

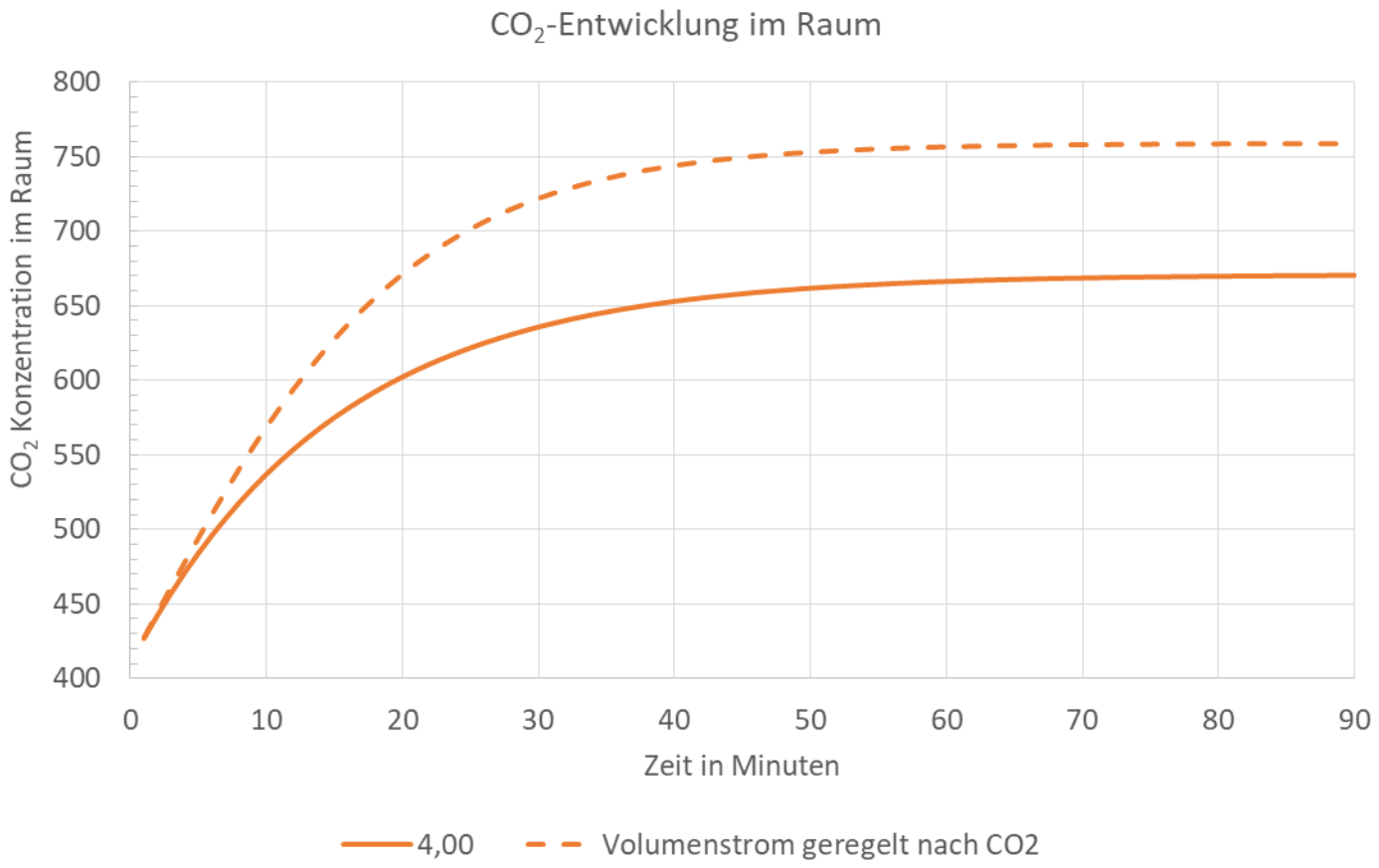
CO_2-Regelung der Anlage (halbe Belegung)



Volumenstrom Kennlinie bei **12 Personen** im Raum (18 l/h CO_2-Produktion pro Person)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

CO_2-Entwicklung im Raum (halbe Belegung)

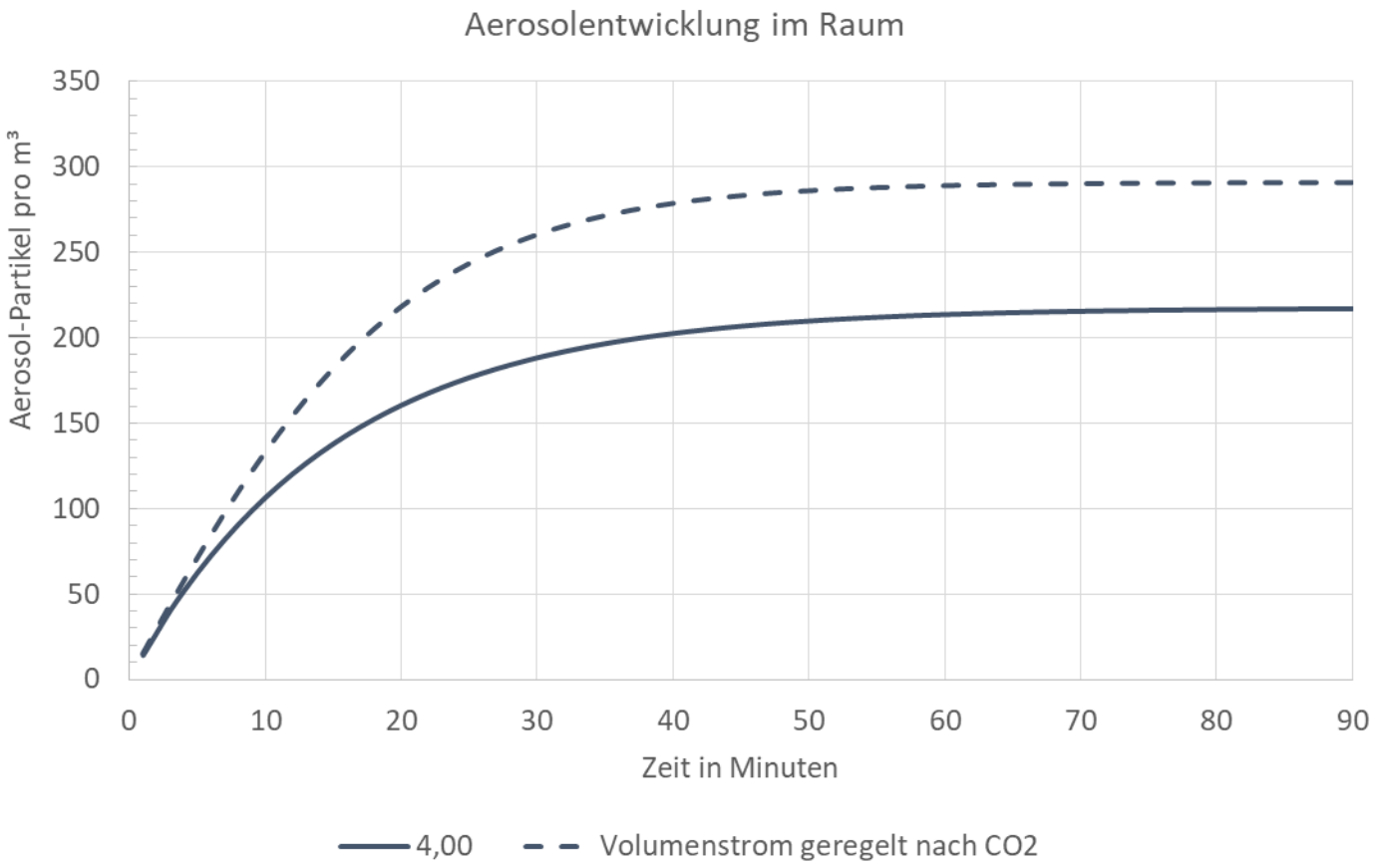


12 Personen mit 18 l/h CO_2-Produktion (Raumvolumen 200 m³) mit RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelentwicklung (halbe Belegung)



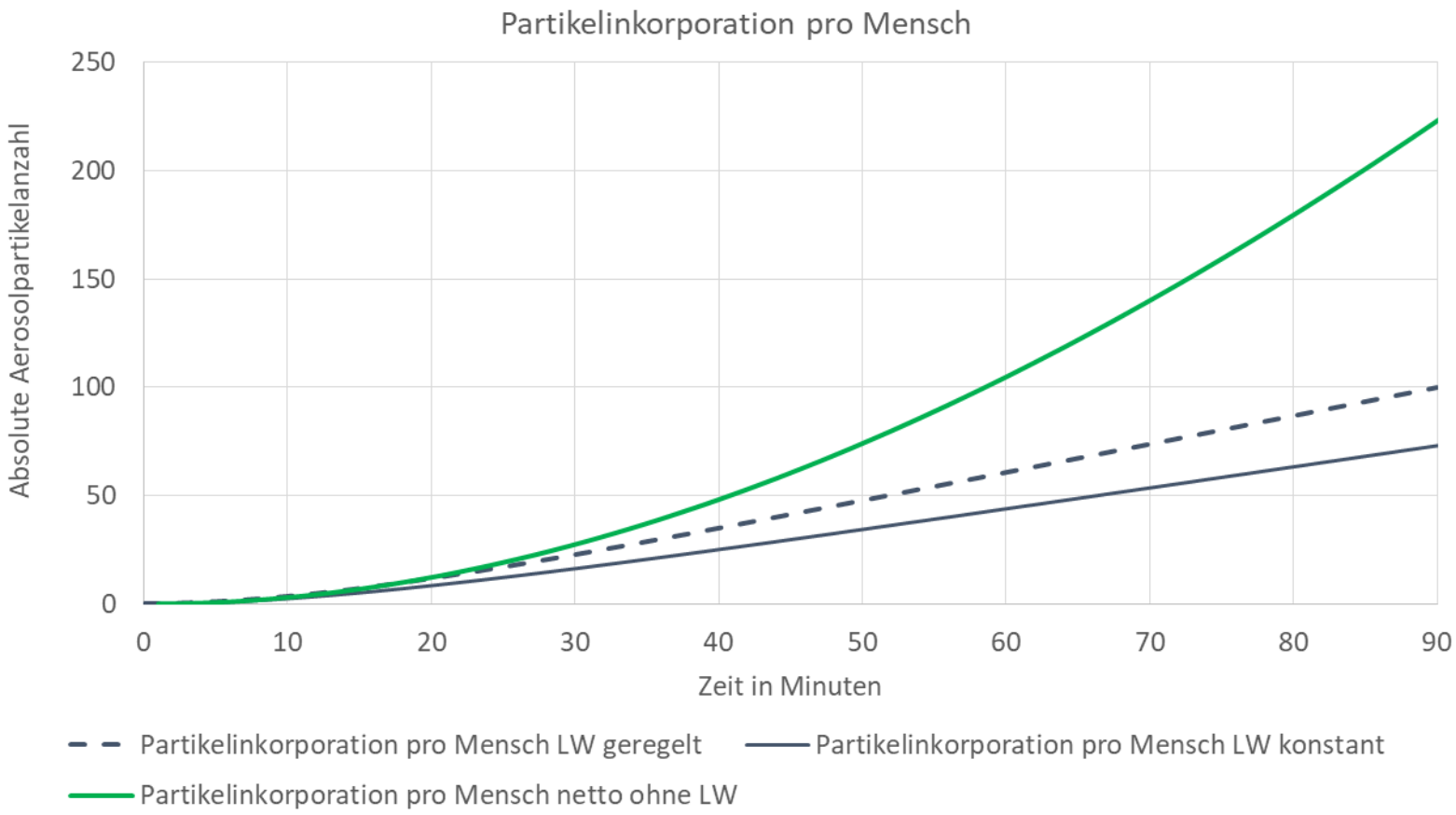
Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}**

Rahmenbedingungen wie zuvor

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelinkorporation (halbe Belegung)



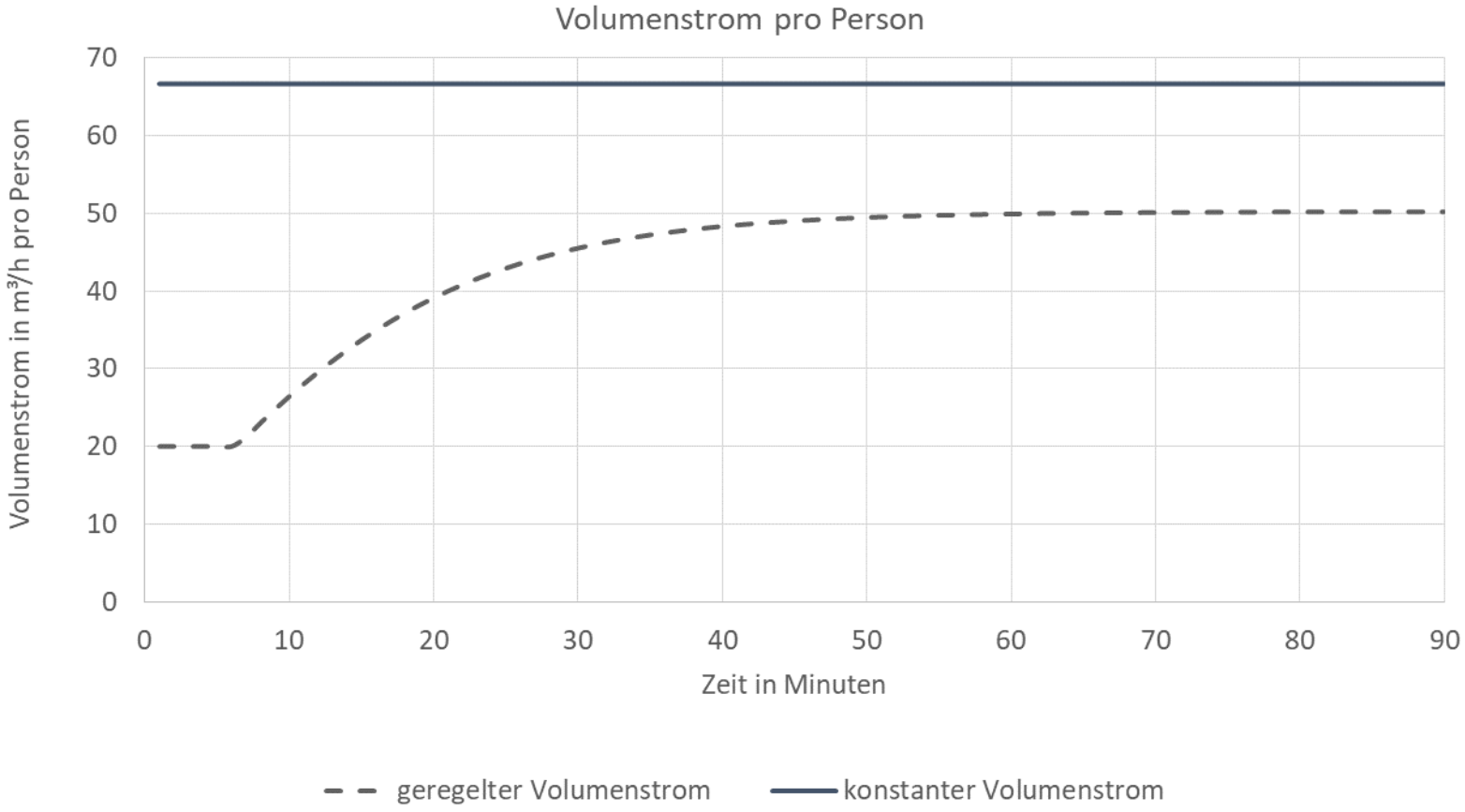
Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}**

Rahmenbedingungen wie zuvor

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Virenfreie Luftmenge pro Person (halbe Belegung)

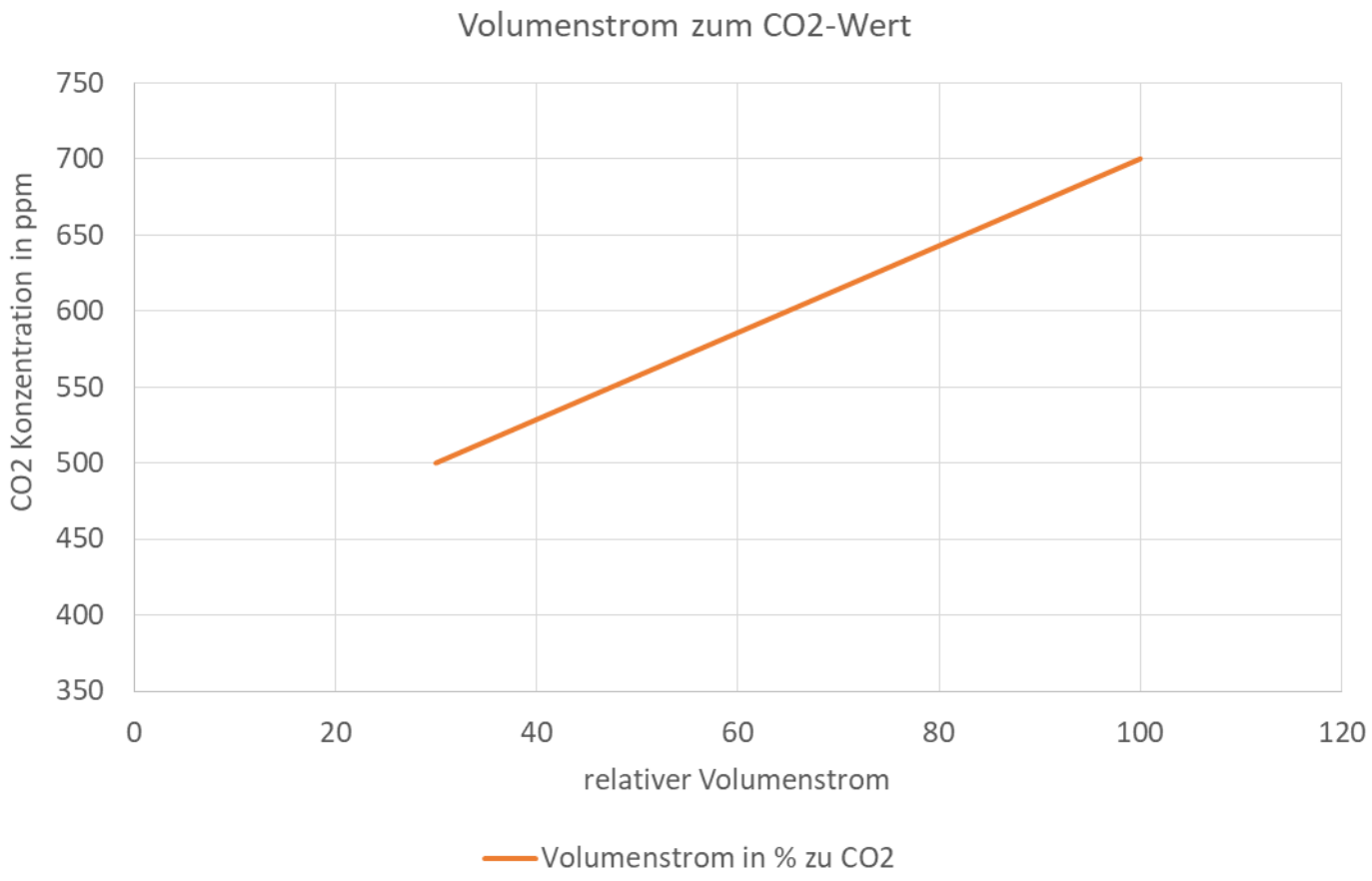


Frischluftrate pro Person **RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}**

Rahmenbedingungen wie zuvor - Kennlinie max. 900 ppm CO_2

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

CO_2-Regelung der Anlage (Anpassung halbe Belegung)

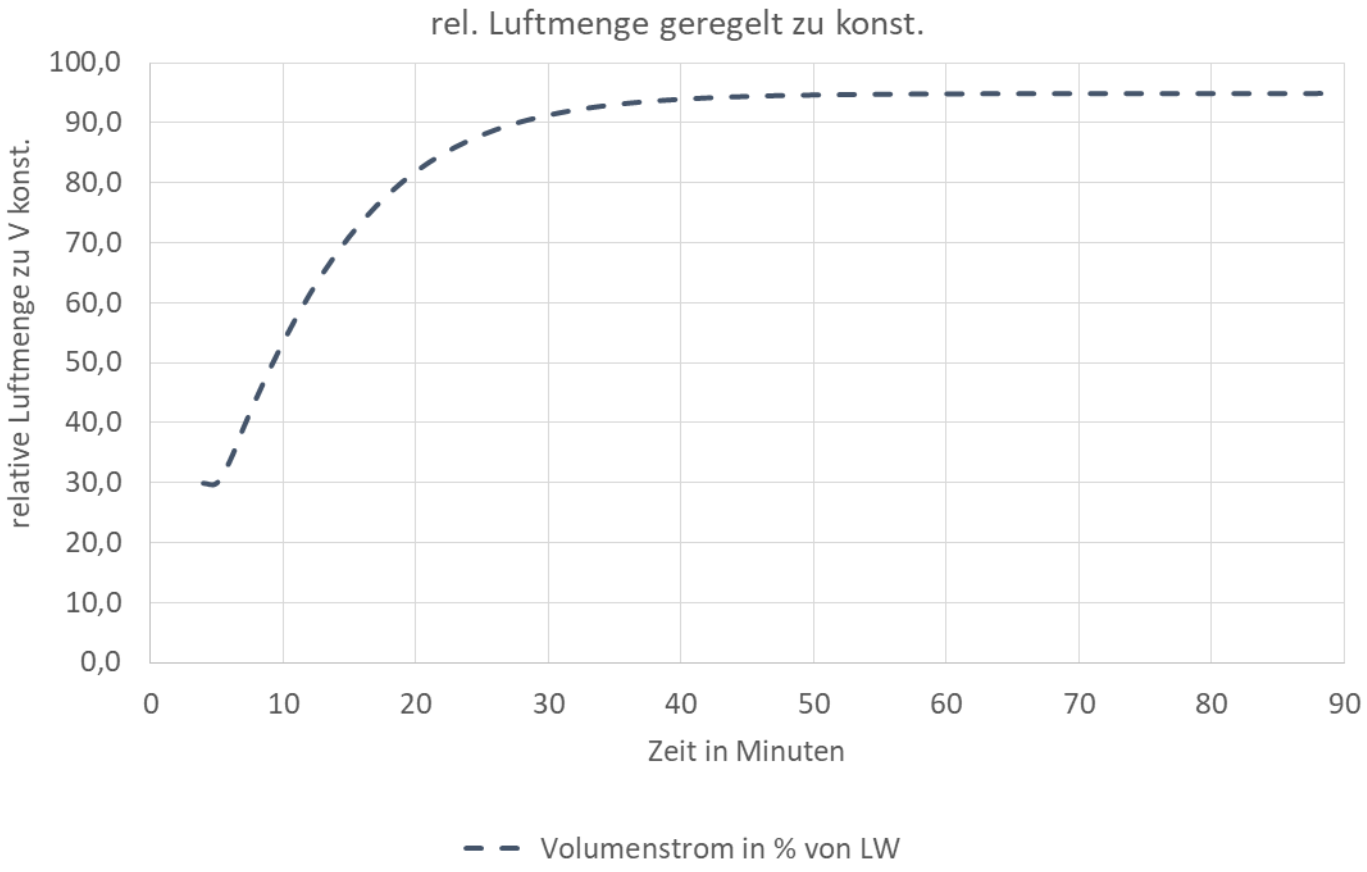


Regler Kennlinie CO_2 zum Volumenstrom

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

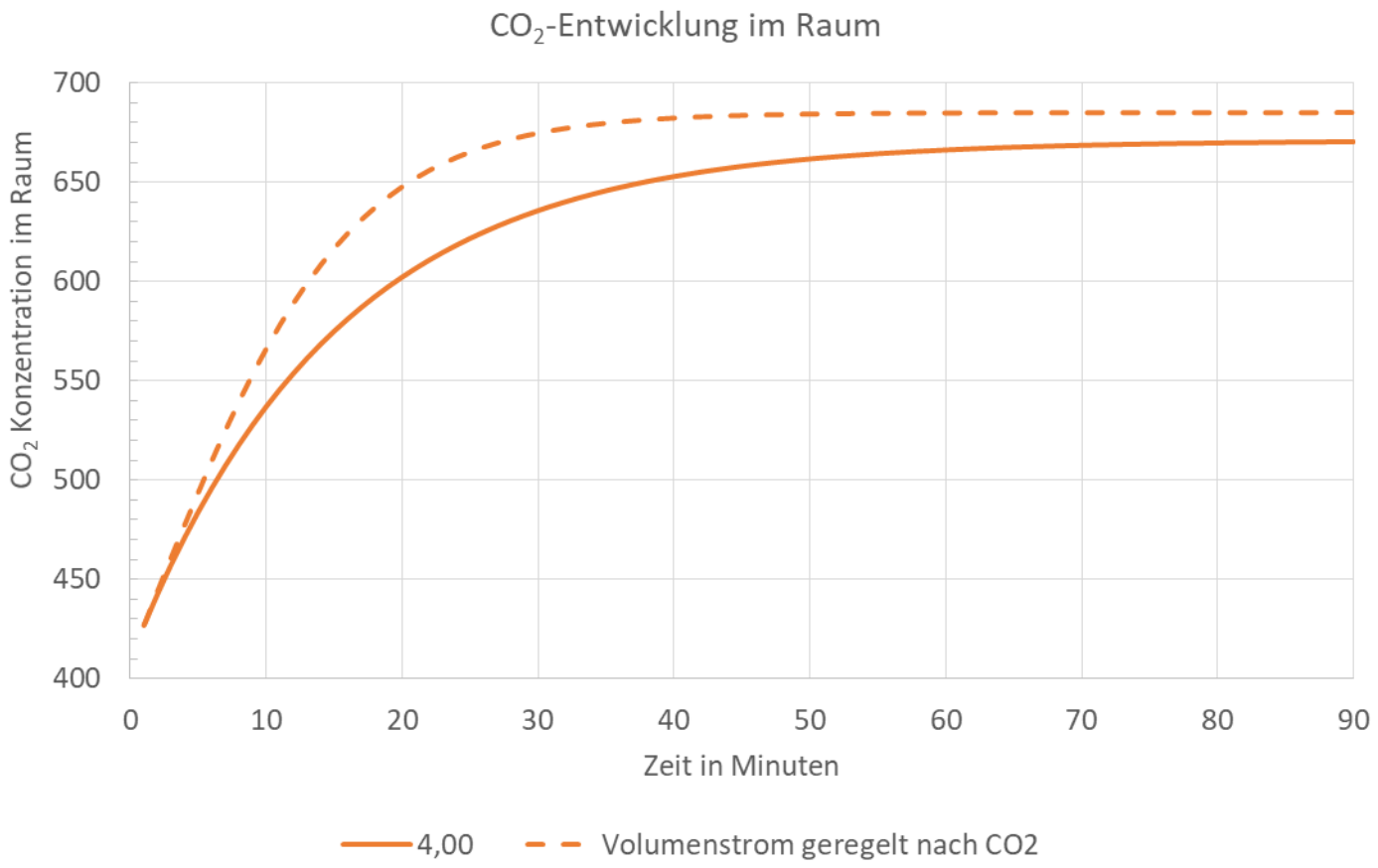
CO_2-Regelung der Anlage (halbe Belegung)



Volumenstrom Kennlinie

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

CO_2-Entwicklung im Raum (halbe Belegung)

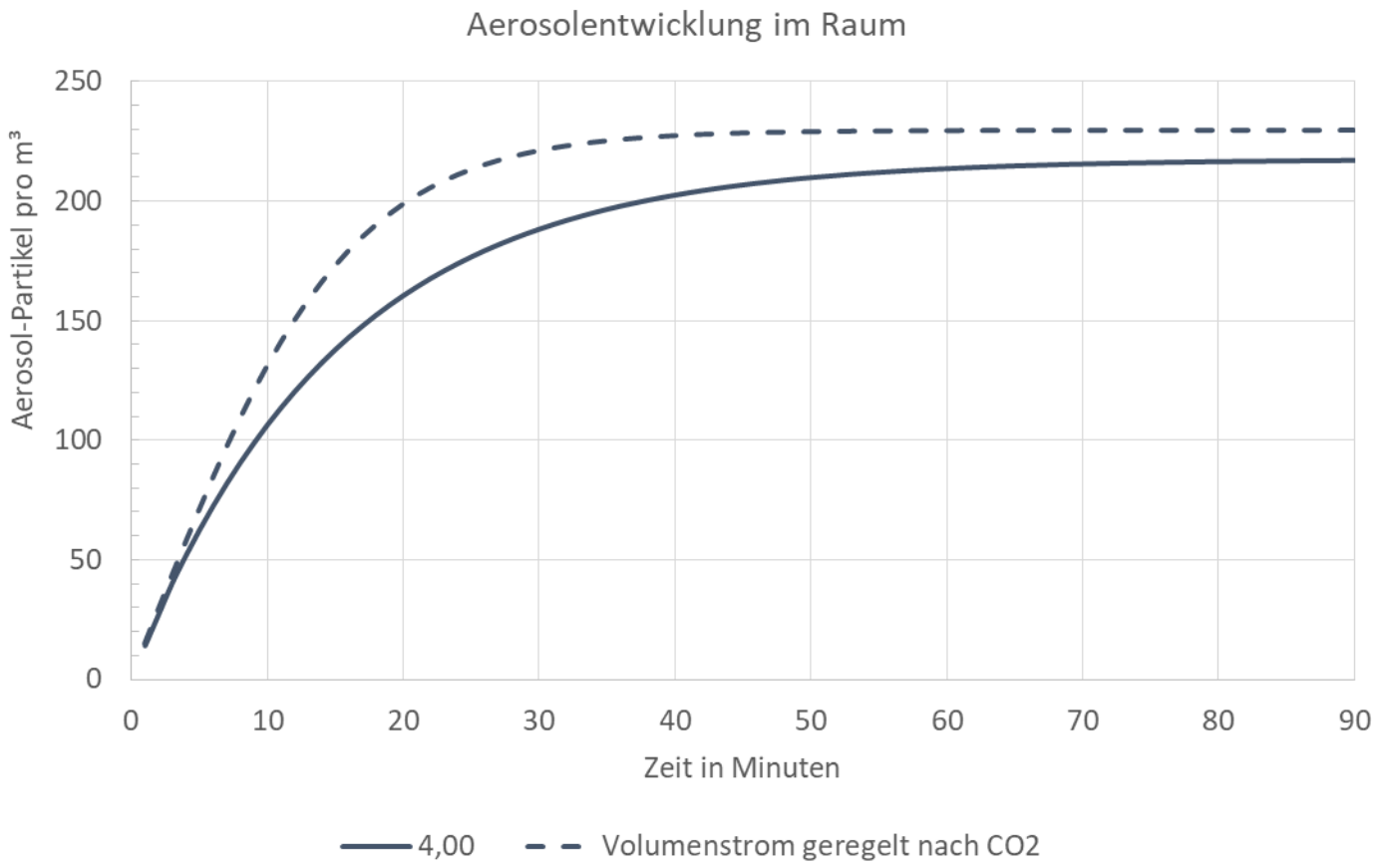


12 Personen mit 18 l/h CO_2-Produktion (Raumvolumen 200 m³) mit RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelentwicklung (halbe Belegung)



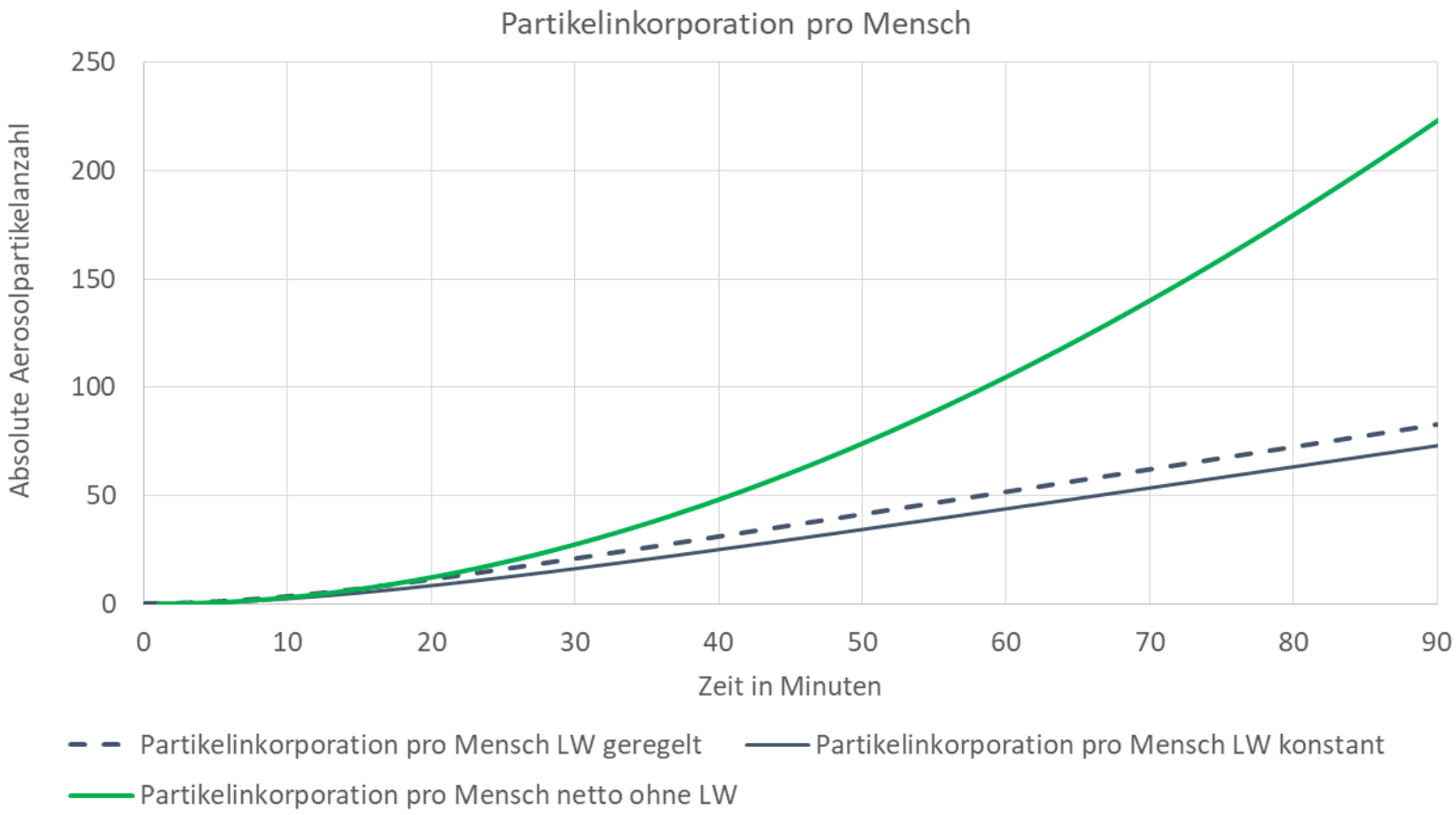
Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}**

Rahmenbedingungen wie zuvor

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelinkorporation (halbe Belegung)

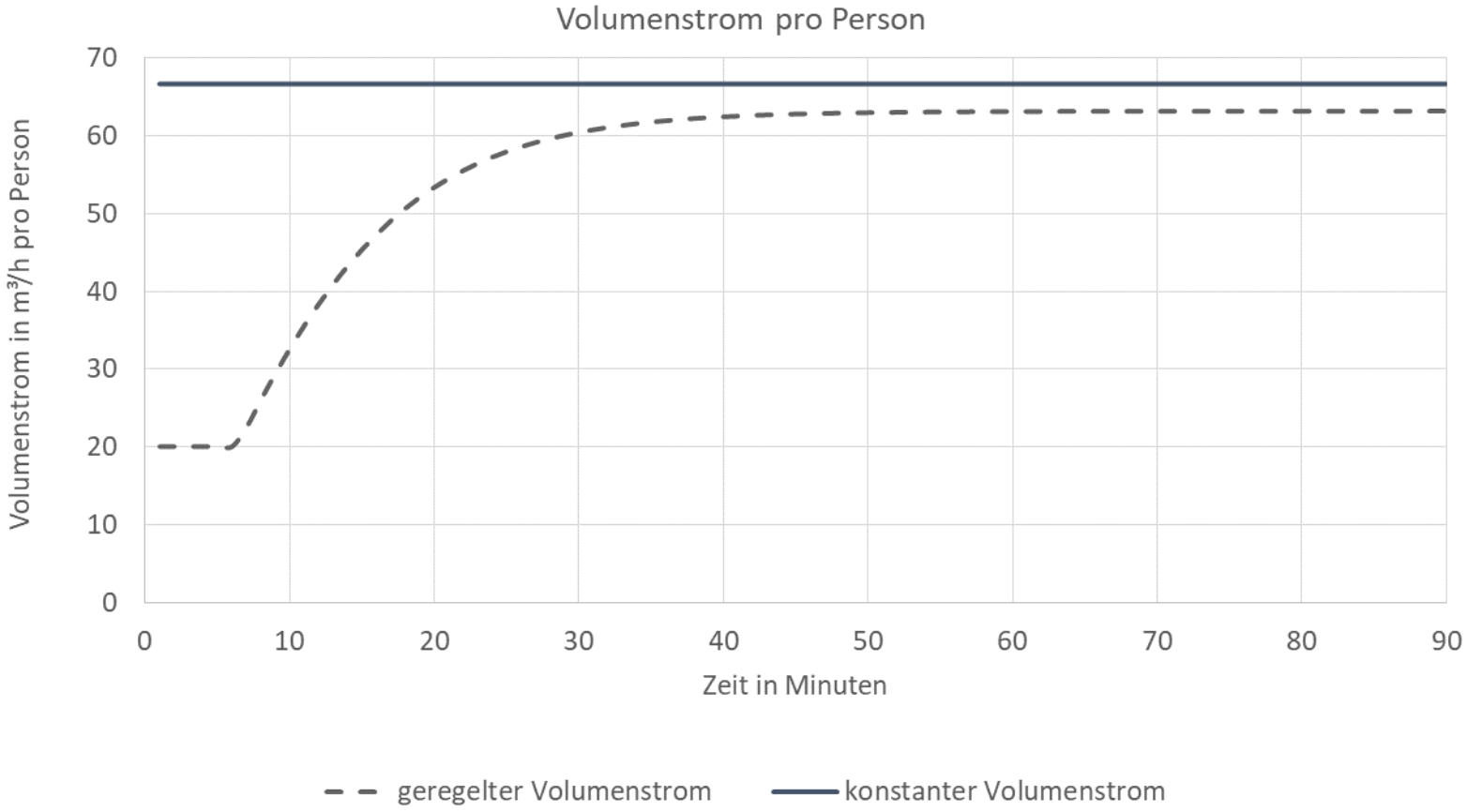


Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}**

Rahmenbedingungen wie zuvor

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Frischluft pro Person (halbe Belegung)



Frischluftrate pro Person **RLT-Anlage mit LW = 4 h^{-1}**

Rahmenbedingungen wie zuvor - geänderte Kennlinie max. 700 ppm CO_2

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

CO_2-Regelung vs. Aerosolpartikelbelastung

Die CO_2-Konzentration korelliert nicht zwangläufig mit der Aerosol-belastung, da die **Anzahl** der **CO_2-produzierenden Personen <u>nicht proportional</u>** zur **Anzahl** der **Infizierten** ist.

Vorteil der Regelung

Energieeffizienz

Nachteil

Die CO_2-Regelung kann das Infektionsrisiko prinzipiell erhöhen.

Vorschlag

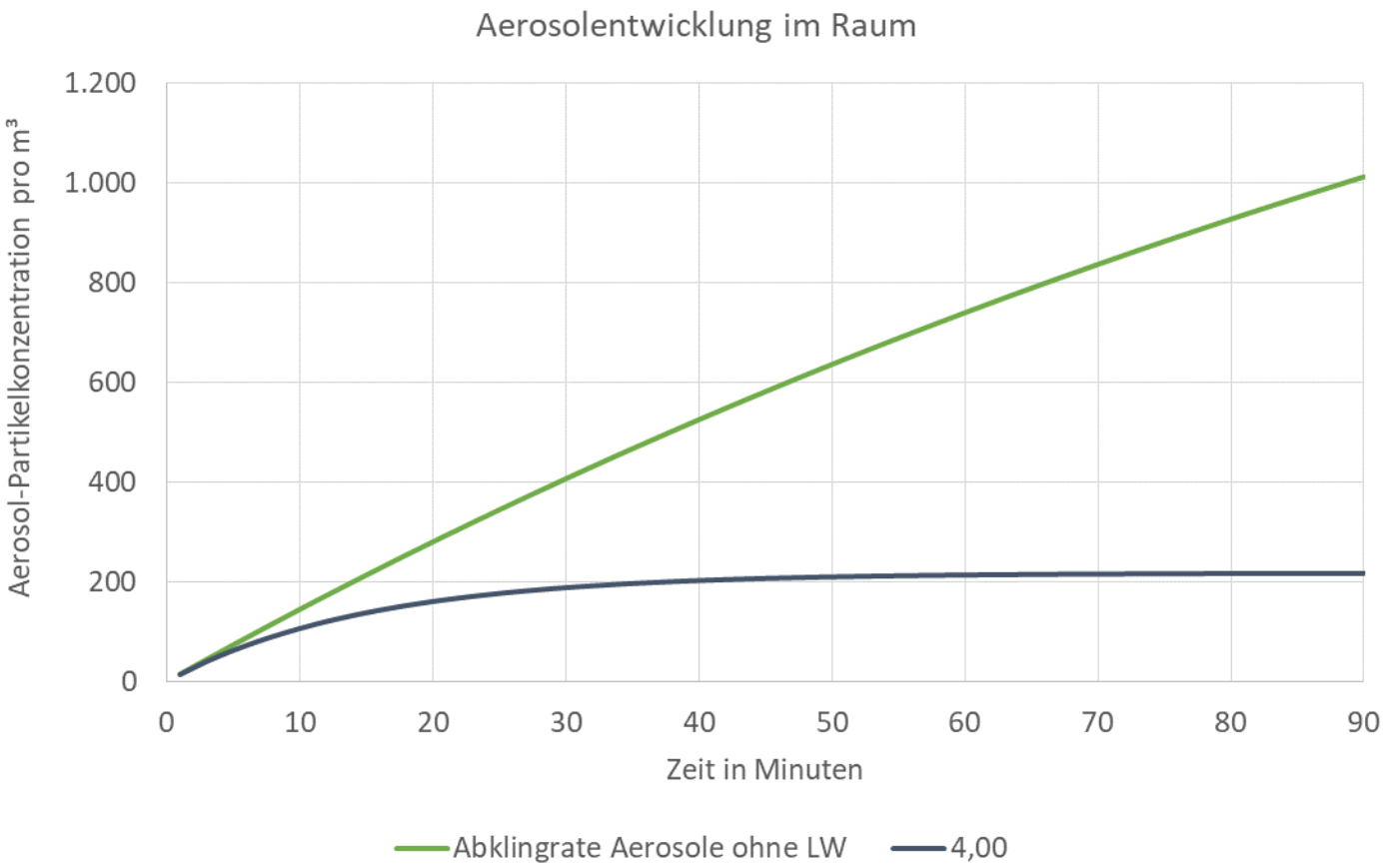
Bei bekannten Belegungsänderungen (z. B. Wechselunterricht) **adaptive Sollwertverschiebung** der **CO_2-Kennlinie** (mit deutlich geringerer Risikoerhöhung) bzw. **Senkung** der **CO_2-Kennlinie** in Abhängigkeit der **niedrigsten zu erwartenden Belegung.**

Alternativ: CO_2-Regelung AUS

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelentwicklung im Raum mit 200 m³ mit LW = 4 h^{-1}



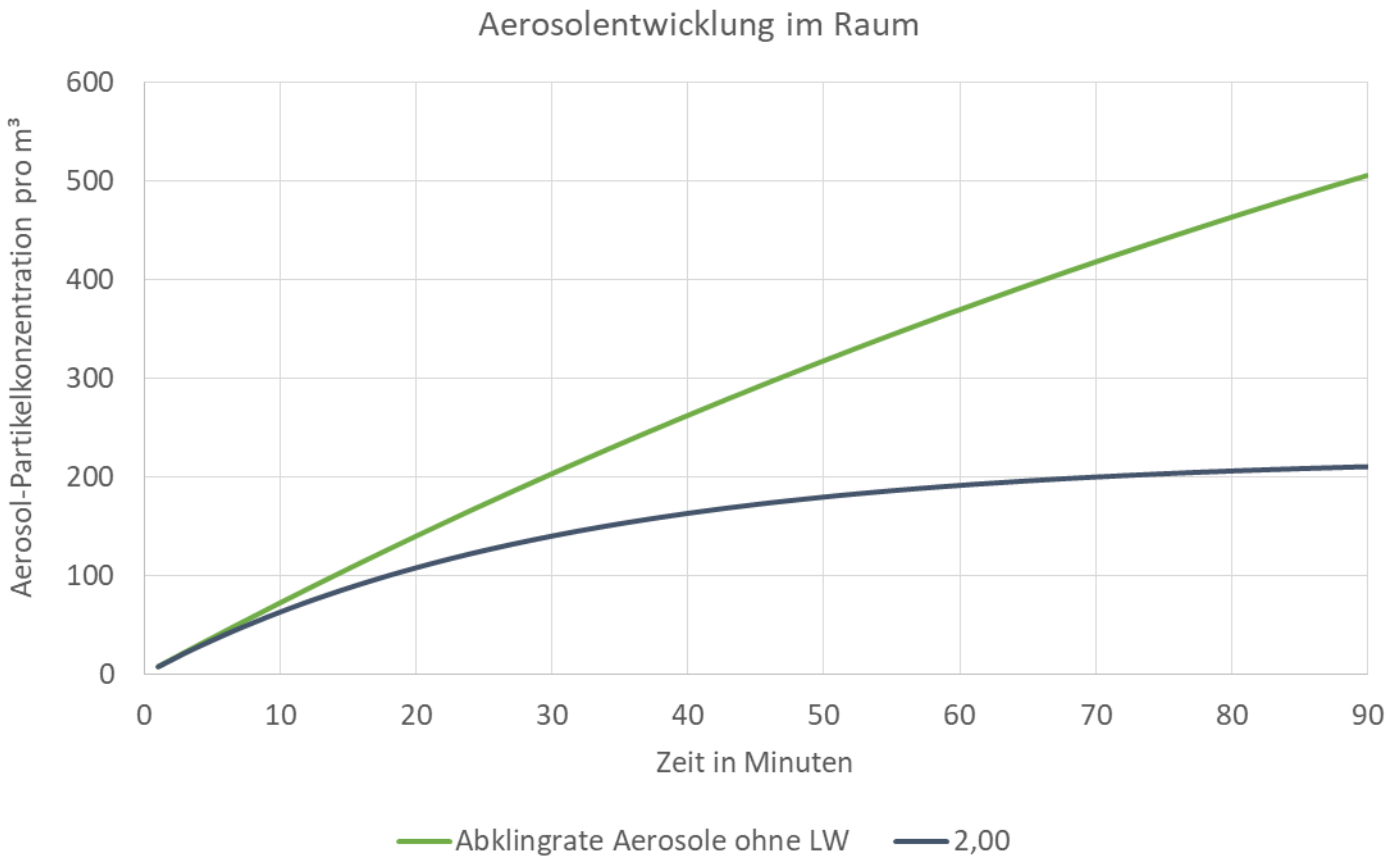
Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage** mit **LW = 4 h^{-1} / Maskenreduktion 0,5 Infizierter**

1 Person spricht mit 100 Aerosolpartikeln pro Sekunde (Emission bei einem Raumvolumen von 200 m³)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelentwicklung im Raum mit 400 m³ mit LW = 2 h^{-1}



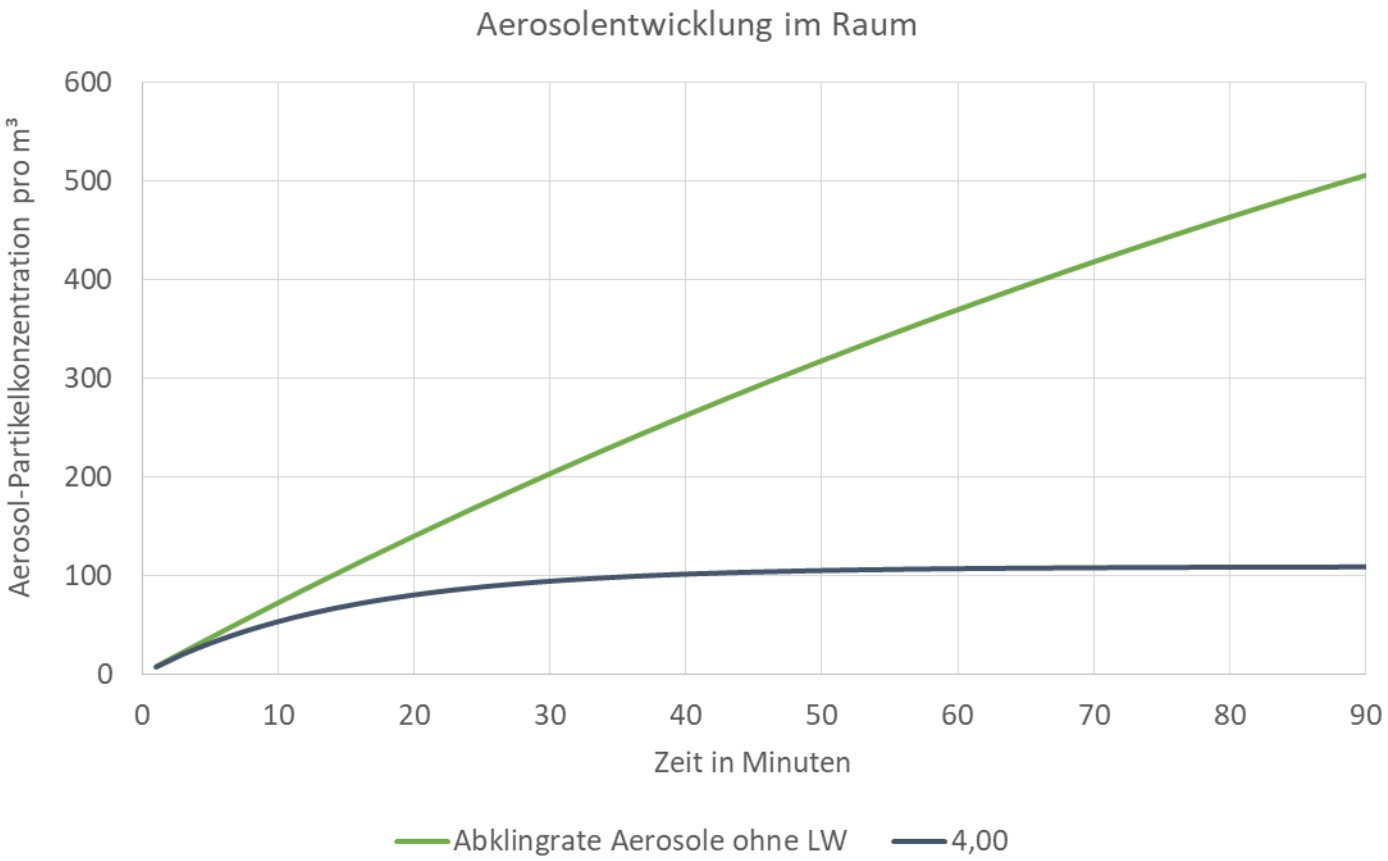
Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage** mit **LW = 2 h^{-1} / Maskenreduktion 0,5 Infizierter**

1 Person spricht mit 100 Aerosolpartikeln pro Sekunde (Emission bei einem Raumvolumen von 400 m³)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

HOWATHERM

Partikelentwicklung im Raum mit 400 m³ mit LW = 4 h^{-1}



Partikelanzahl an Aerosolen **RLT-Anlage** mit **LW = 4 h^{-1} / Maskenreduktion 0,5 Infizierter**

1 Person spricht mit 100 Aerosolpartikeln pro Sekunde (Emission bei einem Raumvolumen von 400 m³)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

Luftmenge pro Personenanzahl?

Die Luftmenge pro Personenanzahl ist nicht repräsentativ, da meist nur **eine Person infiziert** ist (Ausnahme sehr große Räume mit sehr vielen Personen).

Ziel

Luftmenge pro erwartete **Anzahl von Infizierten** (meist k = 1).

Raumbezug

Luftwechselzahl an virenfreier Luftmenge ist sinnvoll mit **Bezug zur Raumgröße**.

Beispielsweise $n = 4\ h^{-1}$ bei $R = 200\ m^3$ (Beispiel VDI EE 4300 Blatt 14)

© HOWATHERM Klimatechnik GmbH

TECHNIK WISSEN 2021 BY HOWATHERM

HOWATHERM

HERZLICHEN DANK

technikwissen@howatherm.de

ZEIT für Ihre FRAGEN und ANREGUNGEN

SYSTEMS by HOWATHERM

TECHNIK WISSEN 2021 BY HOWATHERM

HOWATHERM

AUF WIEDERSEHEN

technikwissen@howatherm.de

Bessere Raumluftqualität durch Luftreiniger?

SYSTEMS by HOWATHERM

bis bald …