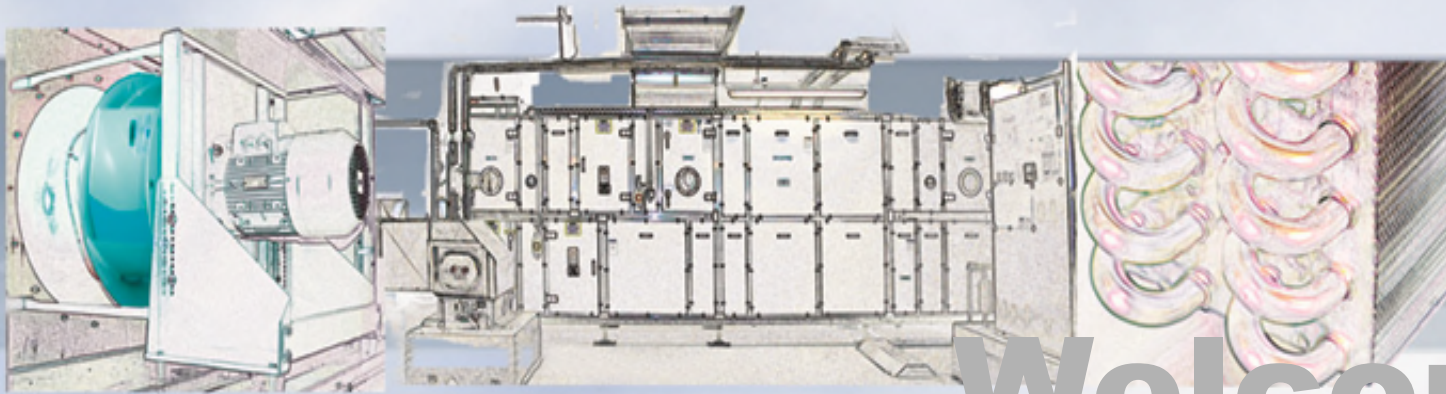


Willkommen



Welcome

Bienvenue

Instationäre Raumströmung

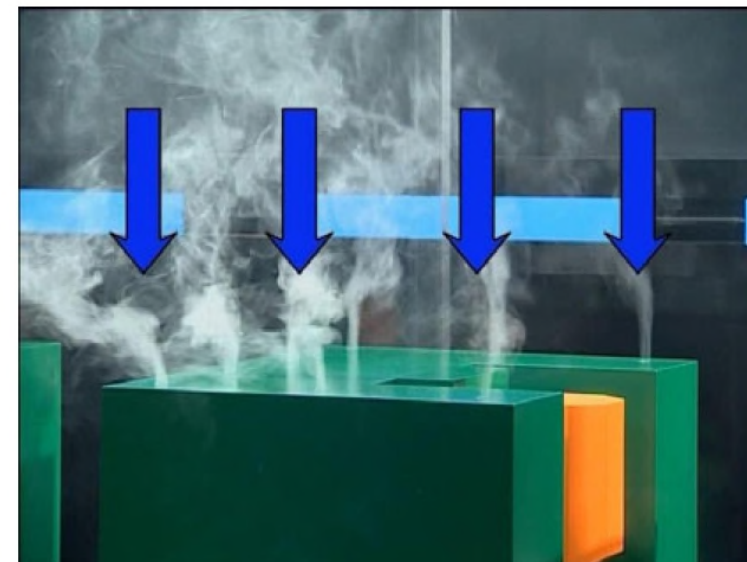
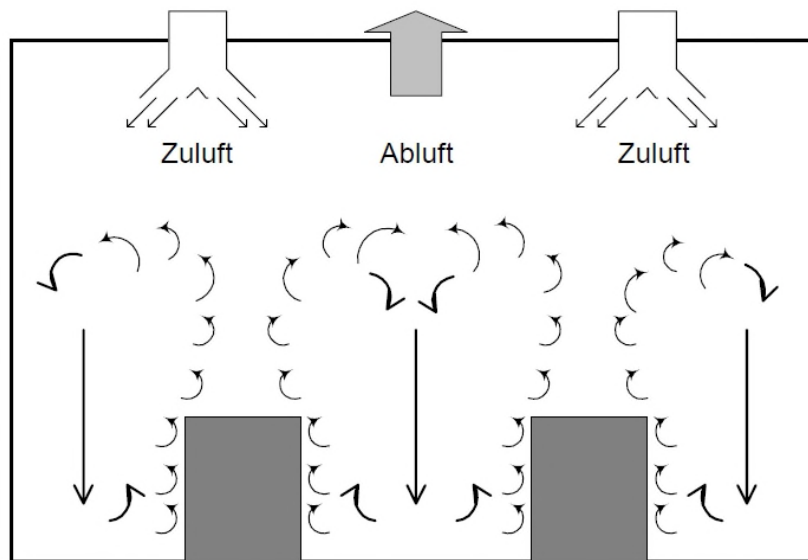
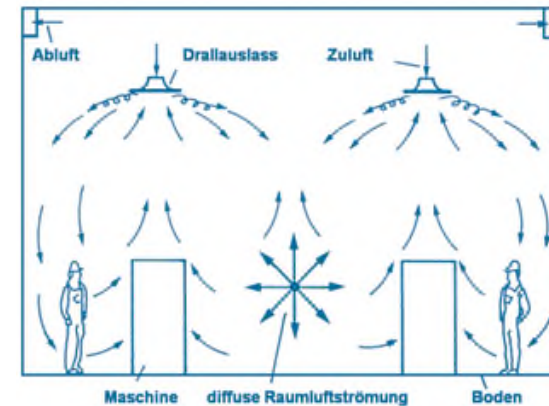
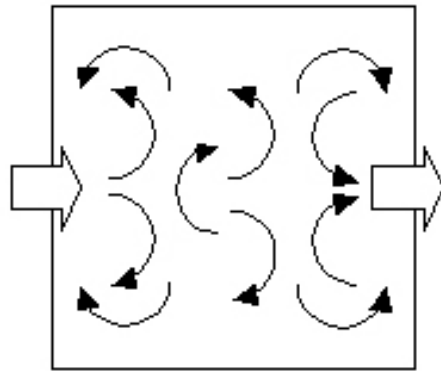
Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Dr. Christoph Kaup

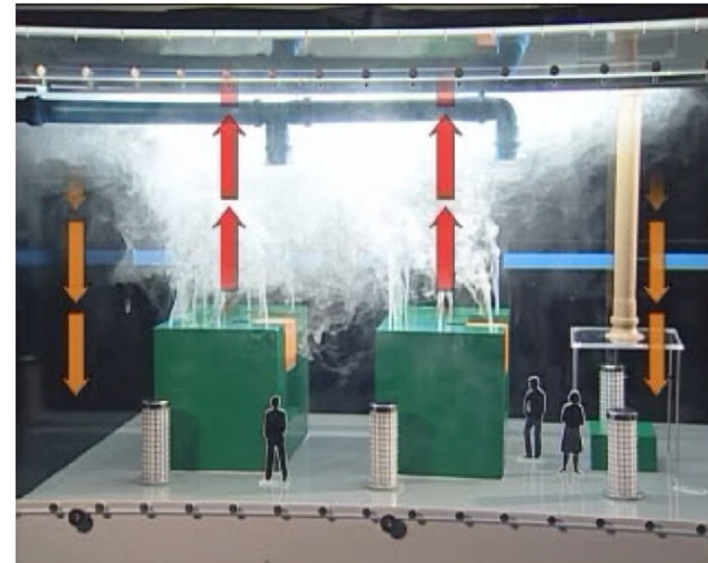
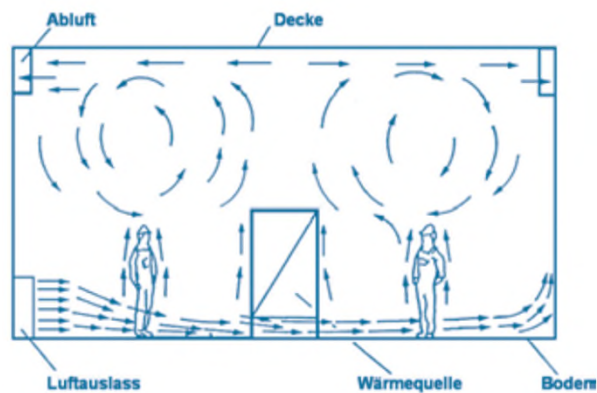
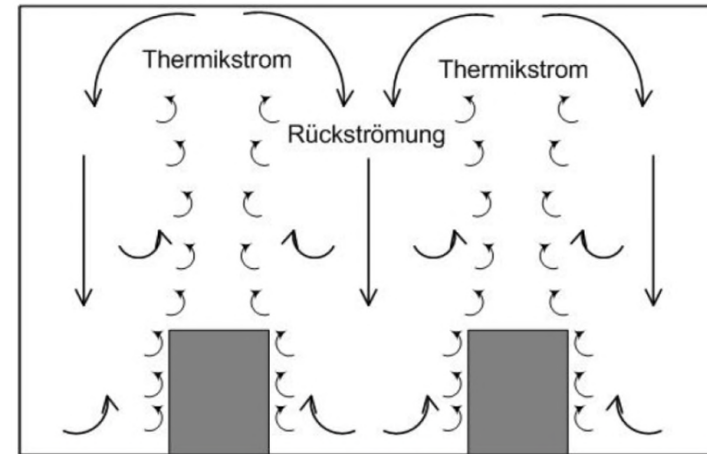
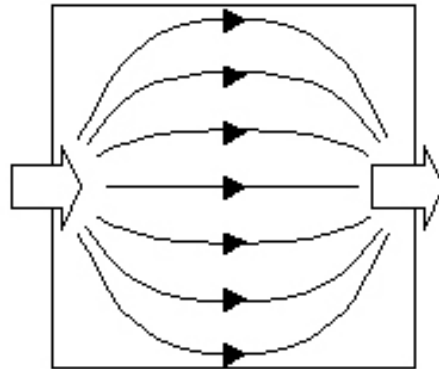
c.kaup@umwelt-campus.de



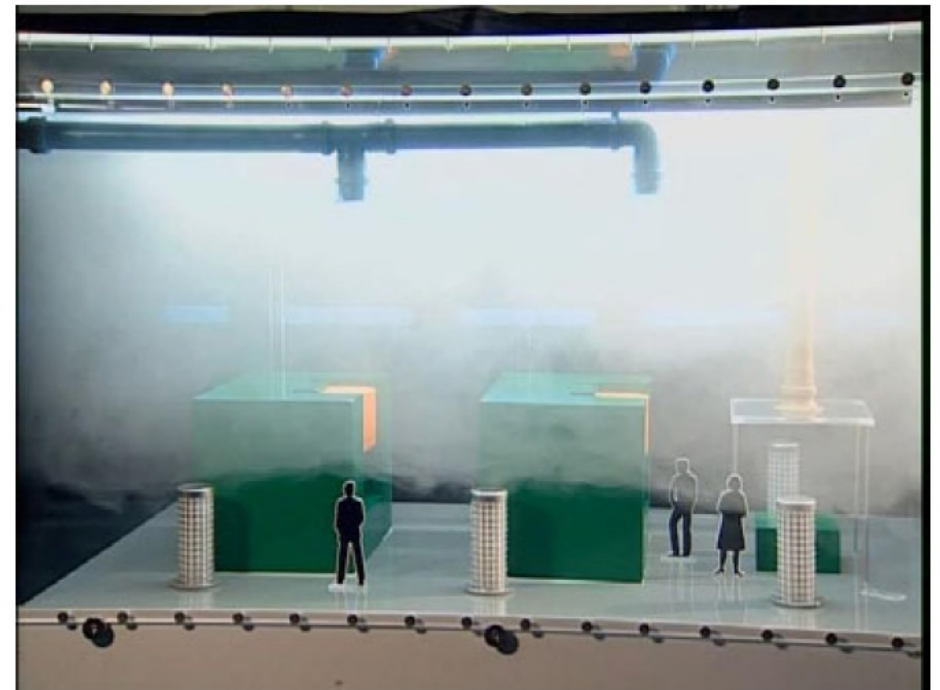
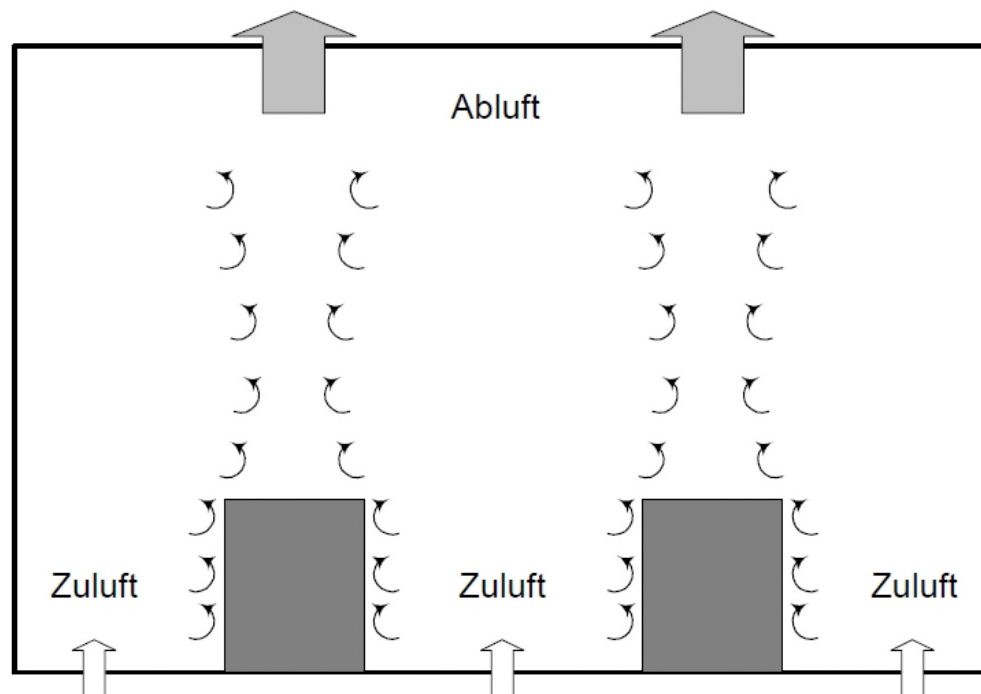
HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld
Umwelt macht Karriere.

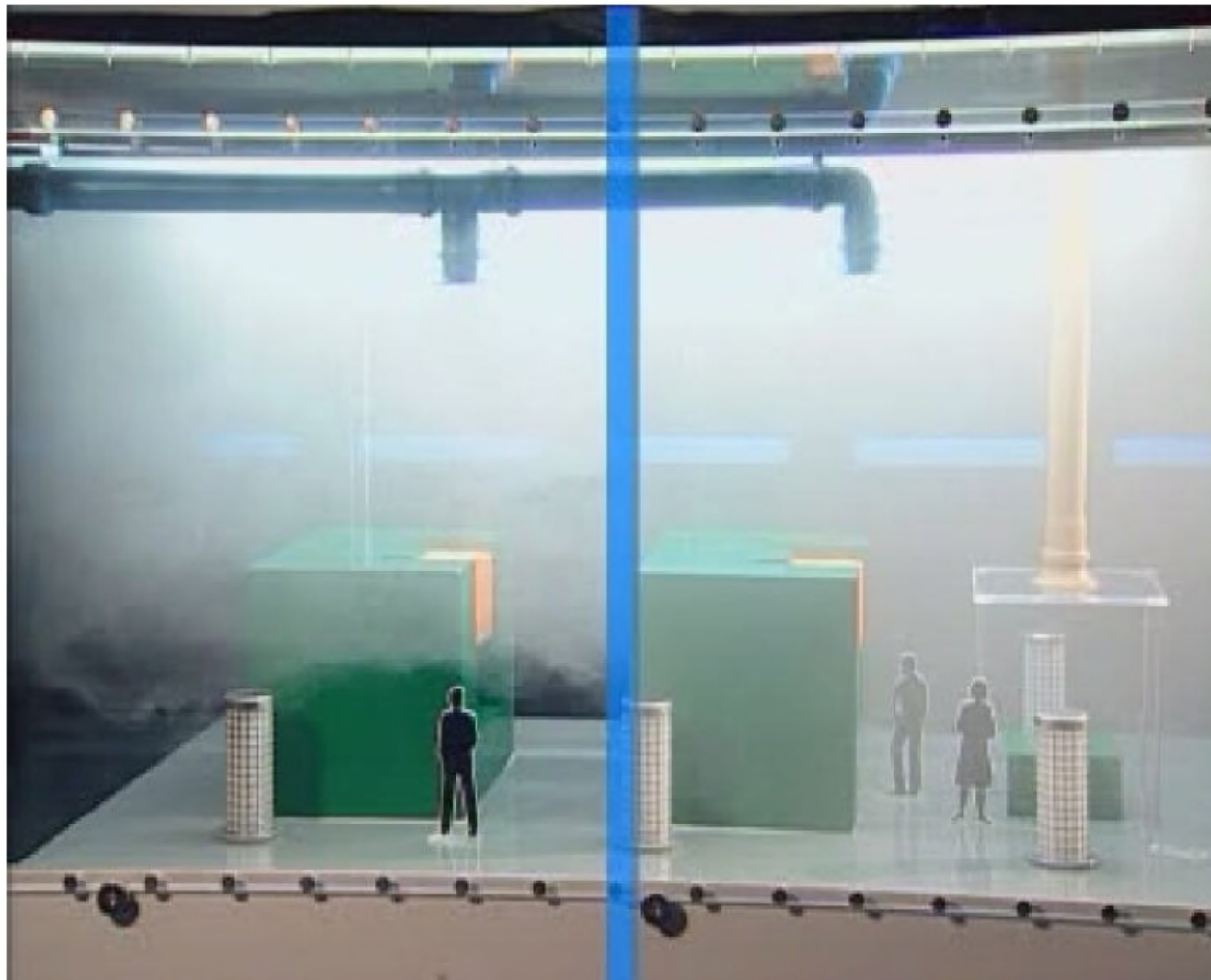


Prinzip der Mischlüftung / Verdünnungslüftung $TU = 30$ bis 60 %



Prinzip der Quelllüftung / Verdrängungslüftung $TU = 20$ bis 25 %





Verdrängungslüftung / Verdünnungslüftung

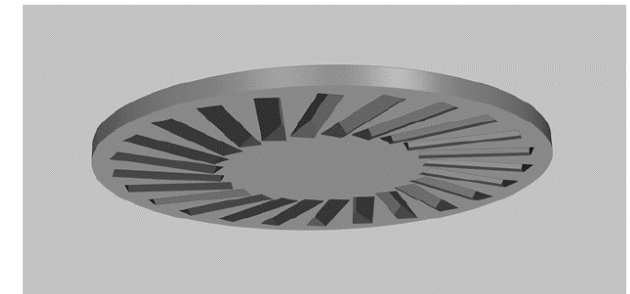
Mischlüftung

Luftgetragene Erreger und Luftqualität in Innenräumen am Beispiel eines Klassenzimmers - Verteilung der Erreger und Bewertung der Lüftungseffektivität

Eugen Lichtner und Martin Kriegel, Hermann-Rietschel-Institut, Technische Universität Berlin, Berlin, Germany

DOI: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-12326.2>

MV-A-1					
Mittlerer Luftqualitätsindex im Atembereich, Position 1					
0.80	0.98	0.59	0.64	0.79	0.91
1.19	1.23	0.68	0.57	0.94	0.58
1.59	1.49	0.51	0.61	0.57	0.74
1.74	1.60	0.42	0.54	0.23	
		0.89			
Min	0.23	Mean	0.87	Max	1.74
		Std	0.41		



$$\varepsilon_b^c = \frac{\text{Schadstoffkonzentration in der Abluft}}{\text{Schadstoffkonzentration im Atembereich}}$$

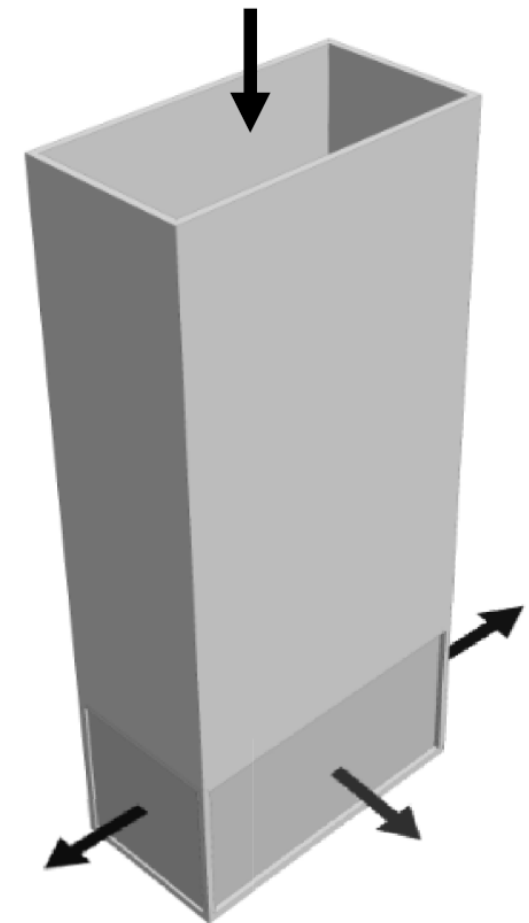
Quelllüftung

Luftgetragene Erreger und Luftqualität in Innenräumen am Beispiel eines Klassenzimmers - Verteilung der Erreger und Bewertung der Lüftungseffektivität

Eugen Lichtner und Martin Kriegel, Hermann-Rietschel-Institut, Technische Universität Berlin, Berlin, Germany

DOI: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-12326.2>

DV-B-1					
Mittlerer Luftqualitätsindex im Atembereich, Position 1					
8.88	7.07	1.54	1.70	0.92	1.39
3.93	7.11	5.38	0.74	1.10	1.92
0.98	7.64	4.38	0.98	2.51	1.60
0.87	1.04	10.45	0.34	0.46	
		0.32			
Min	0.32	Mean	3.05	Max	10.45
		Std	3.05		



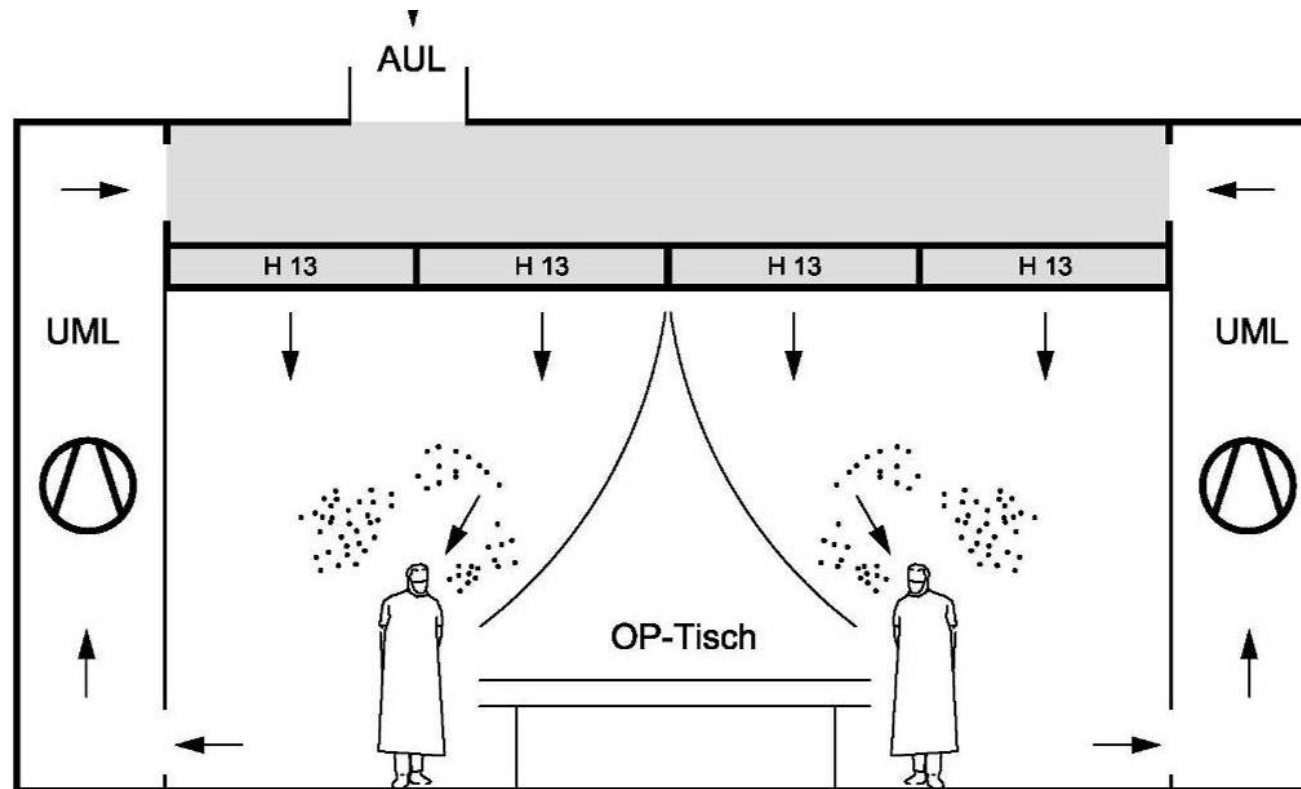
$$\varepsilon_b^c = \frac{\text{Schadstoffkonzentration in der Abluft}}{\text{Schadstoffkonzentration im Atembereich}}$$



Verdünnungslüftung (Mischlüftung)



Verdrängungslüftung (Quelllüftung)



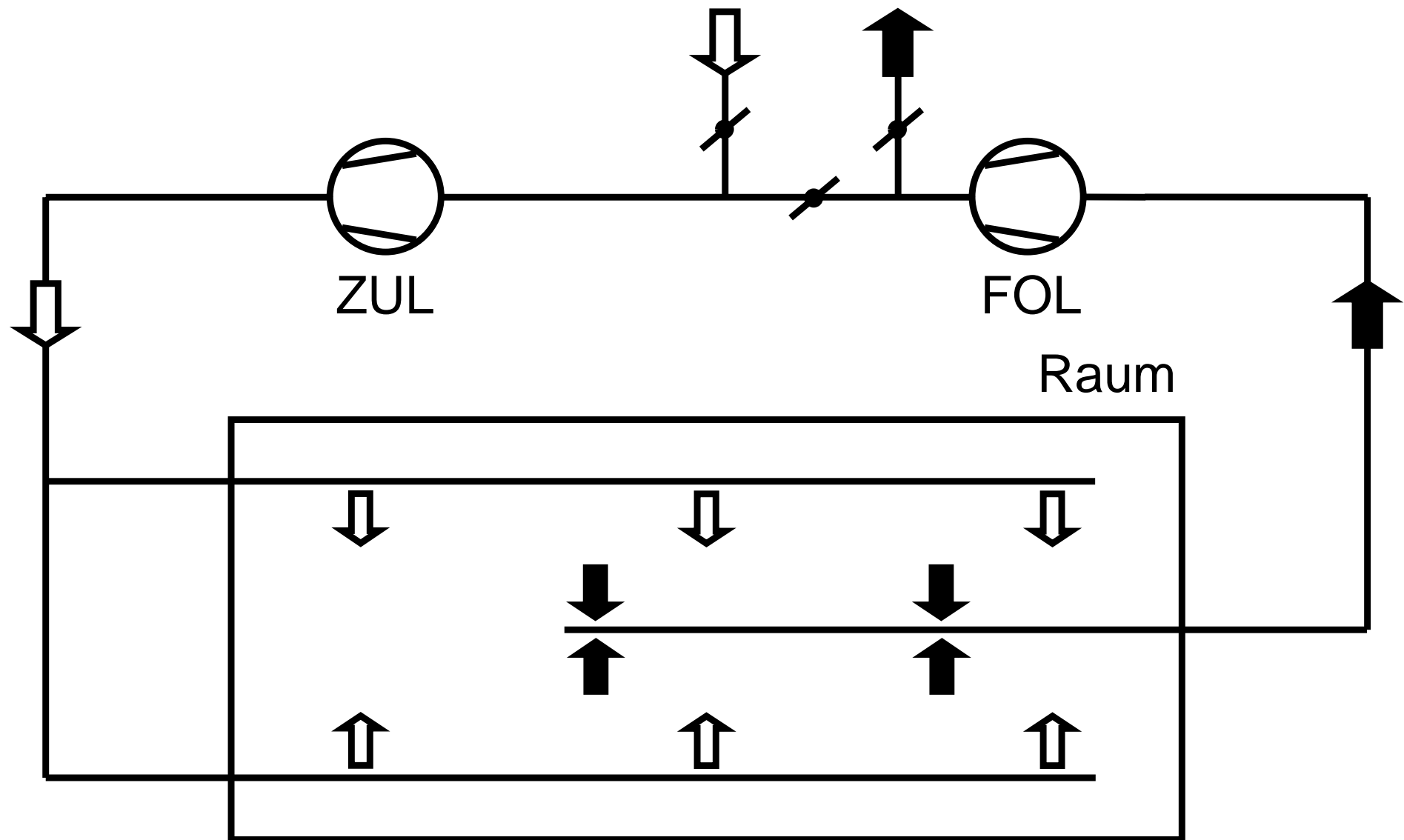
Kolbenströmung turbulenzarme Verdrängungsströmung $TU < 5 \%$

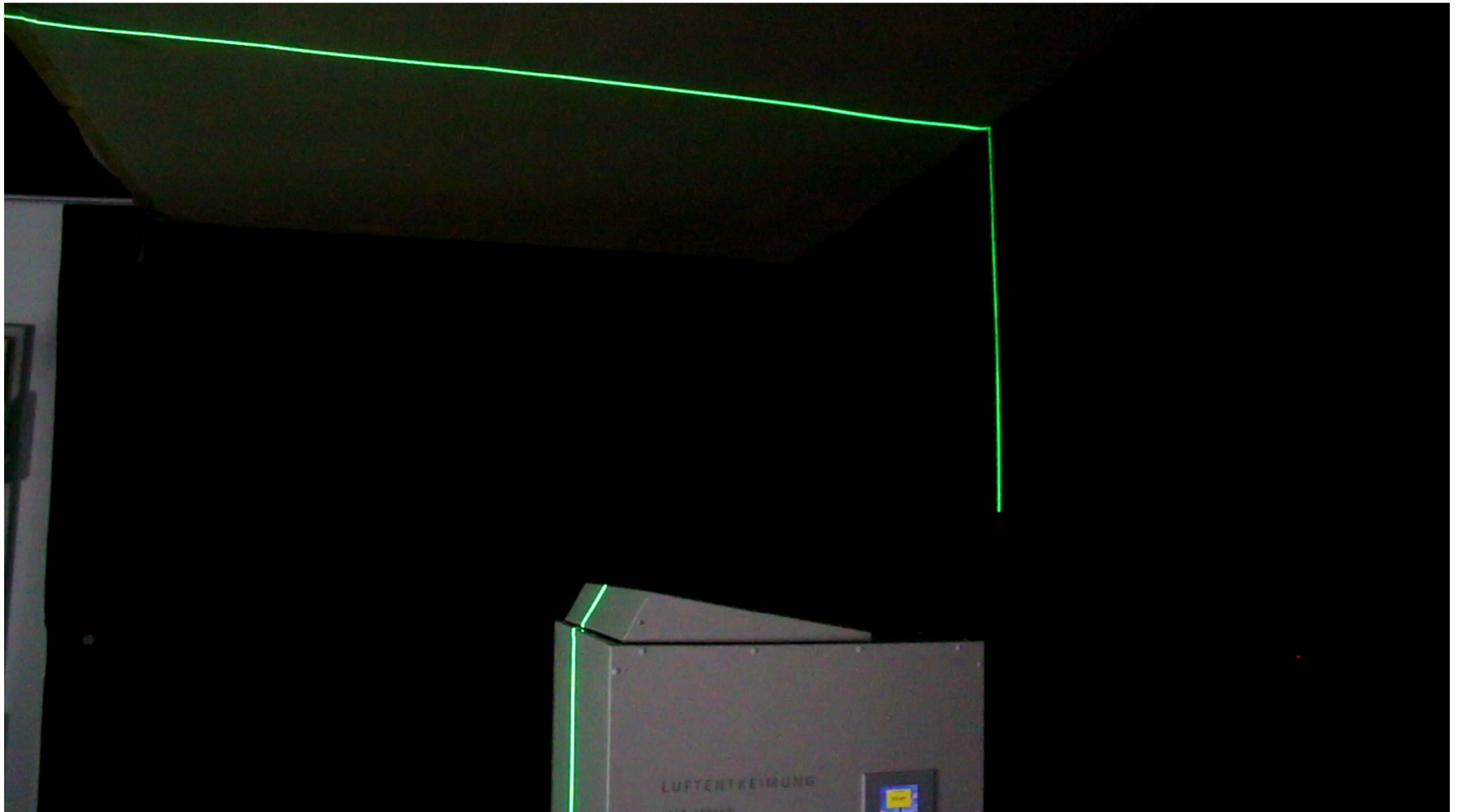
Verdrängungslüftung

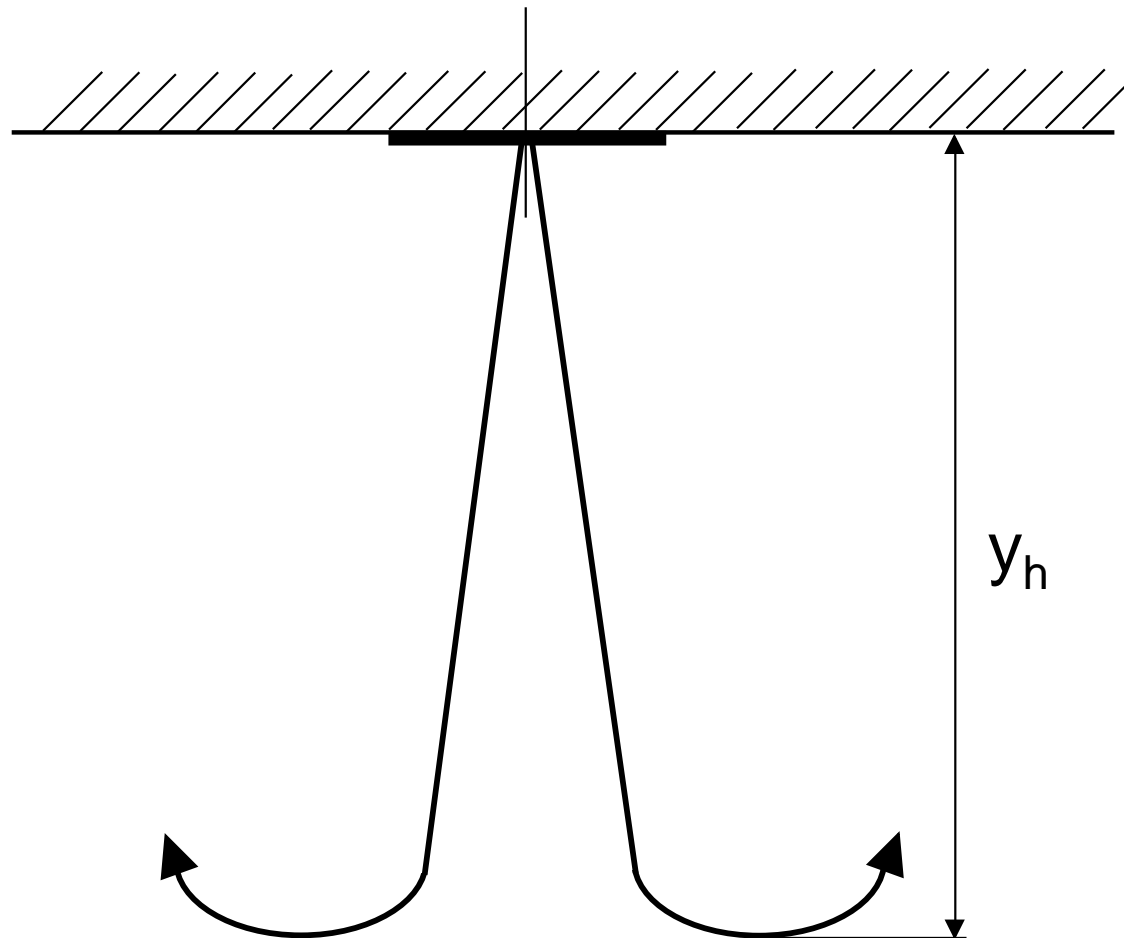
- + hohe Ventilationseffektivität
- + geringe Leistungsaufnahme im Kühlbetrieb
- + niedrige Geschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich, nicht jedoch im Nahbereich
- + gut zur Kühlung hoher Räume geeignet
- größere Luftmengen als bei der Mischlüftung erforderlich
- Reduzierung der Nutzfläche
- niedrige Induktion
- hoher vertikaler Temperaturgradient
- nicht zur Heizung geeignet

Mischlüftung

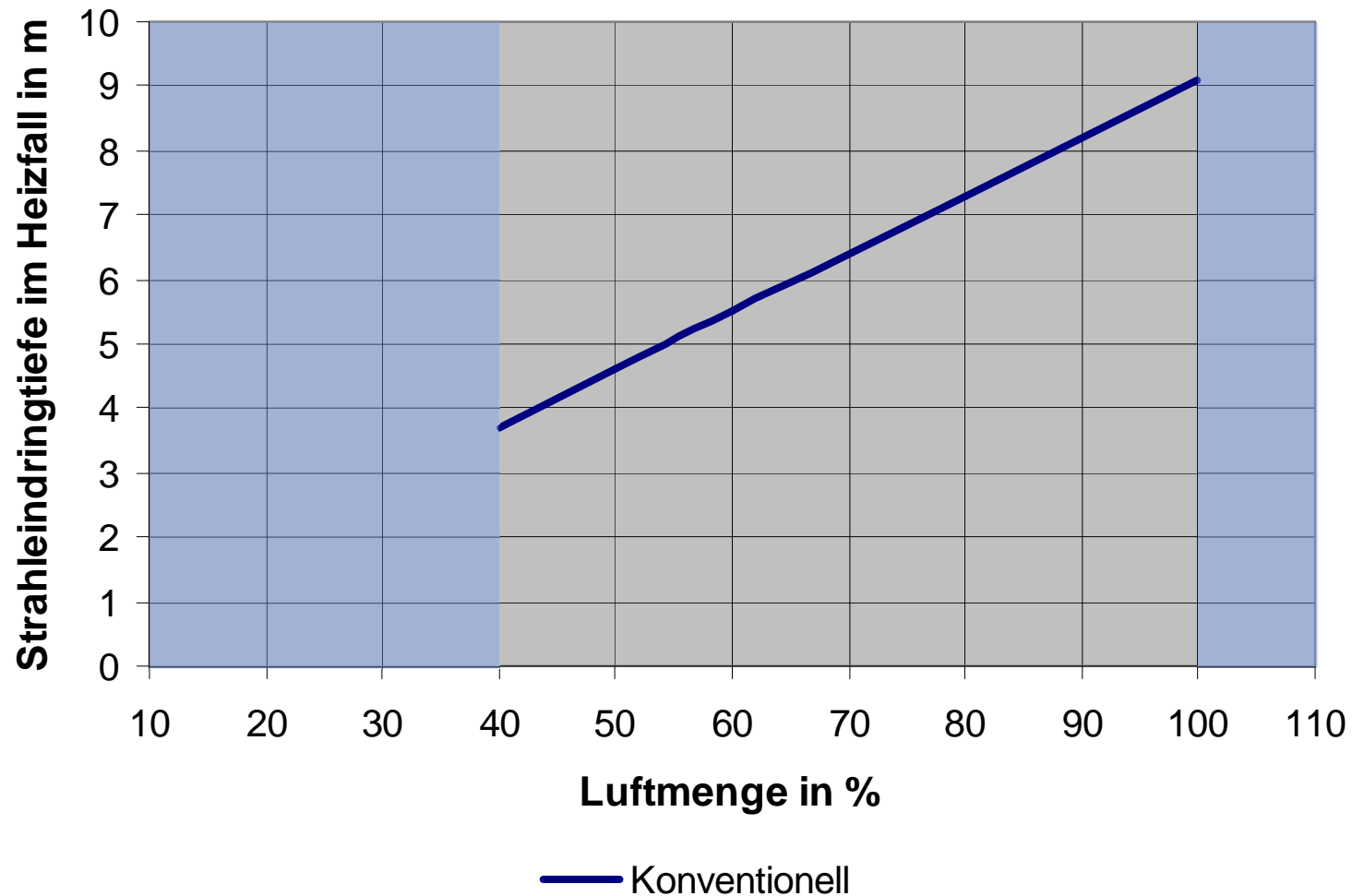
- + für Kühl- und Heizzwecke einsetzbar
- + hohe Induktion ermöglicht große Temperaturunterschiede zwischen Zuluft und Raumluft
- + kleiner Temperaturgradient, d.h. annähernd gleiche Temperaturen im ganzen Raum
- + stabiles Strahlbild
- + flexible Anordnung der Durchlässe
- + keine Einschränkung der Raumfläche
- Gefahr eines Kurzschlusses, d.h. Beeinträchtigung der Ventilationseffektivität (besonders im Heizfall)
- hoher Energiebedarf / hohe Leistungsaufnahme im Kühlbetrieb
- Gefahr von Zugluftbildung bei hoher Kühllast



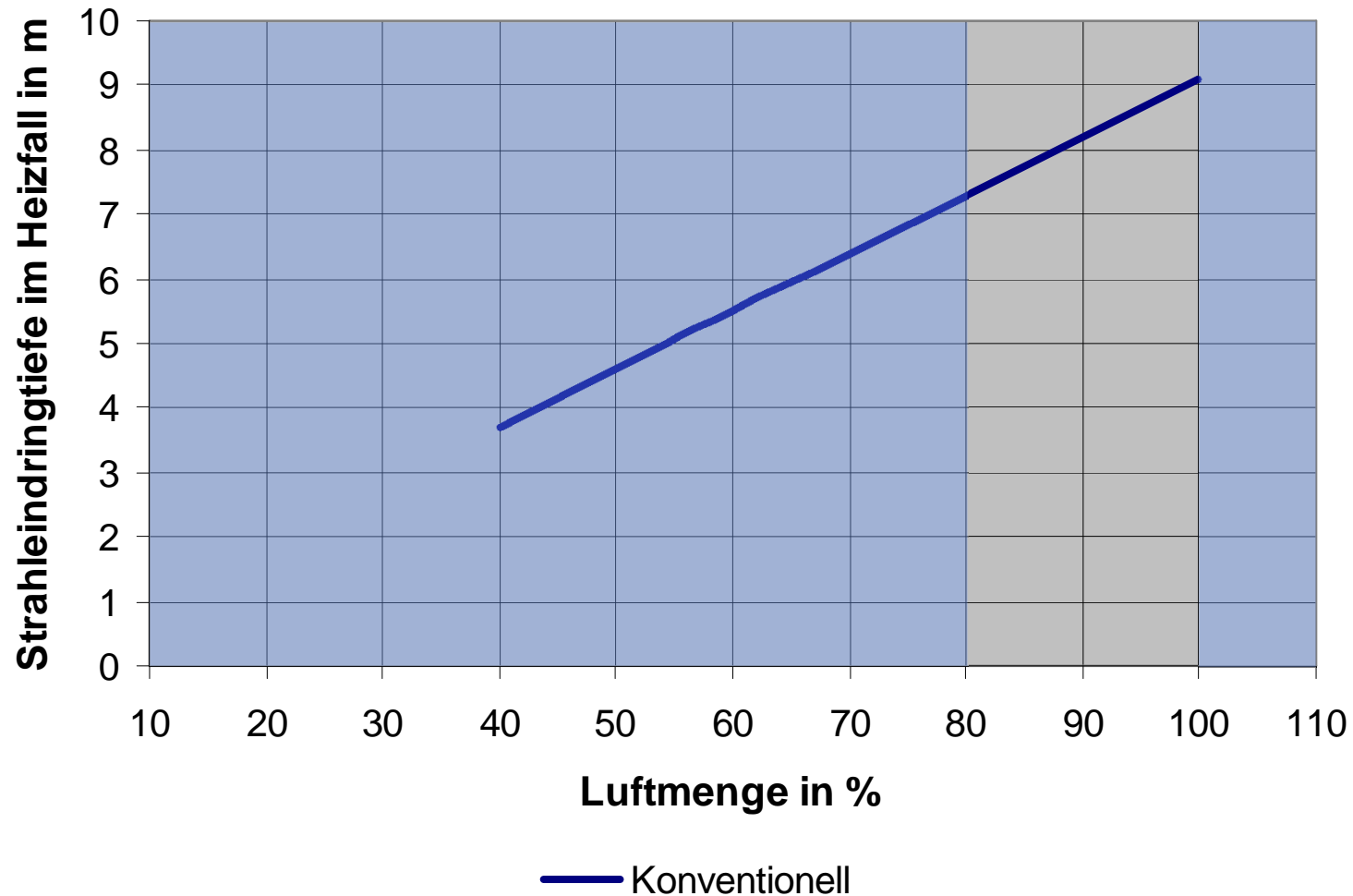




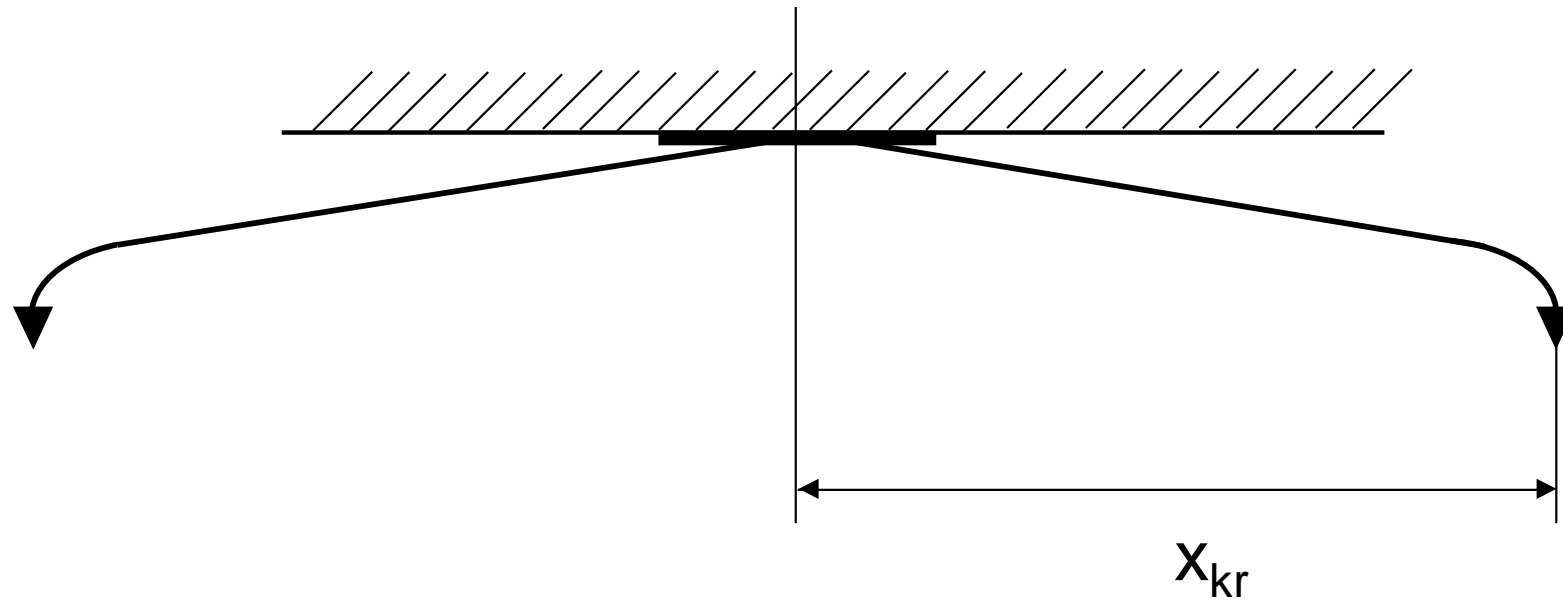
Strahleindringtiefe Drallauslass in m im Heizfall



Strahleindringtiefe Drallauslass in m zur Luftmenge

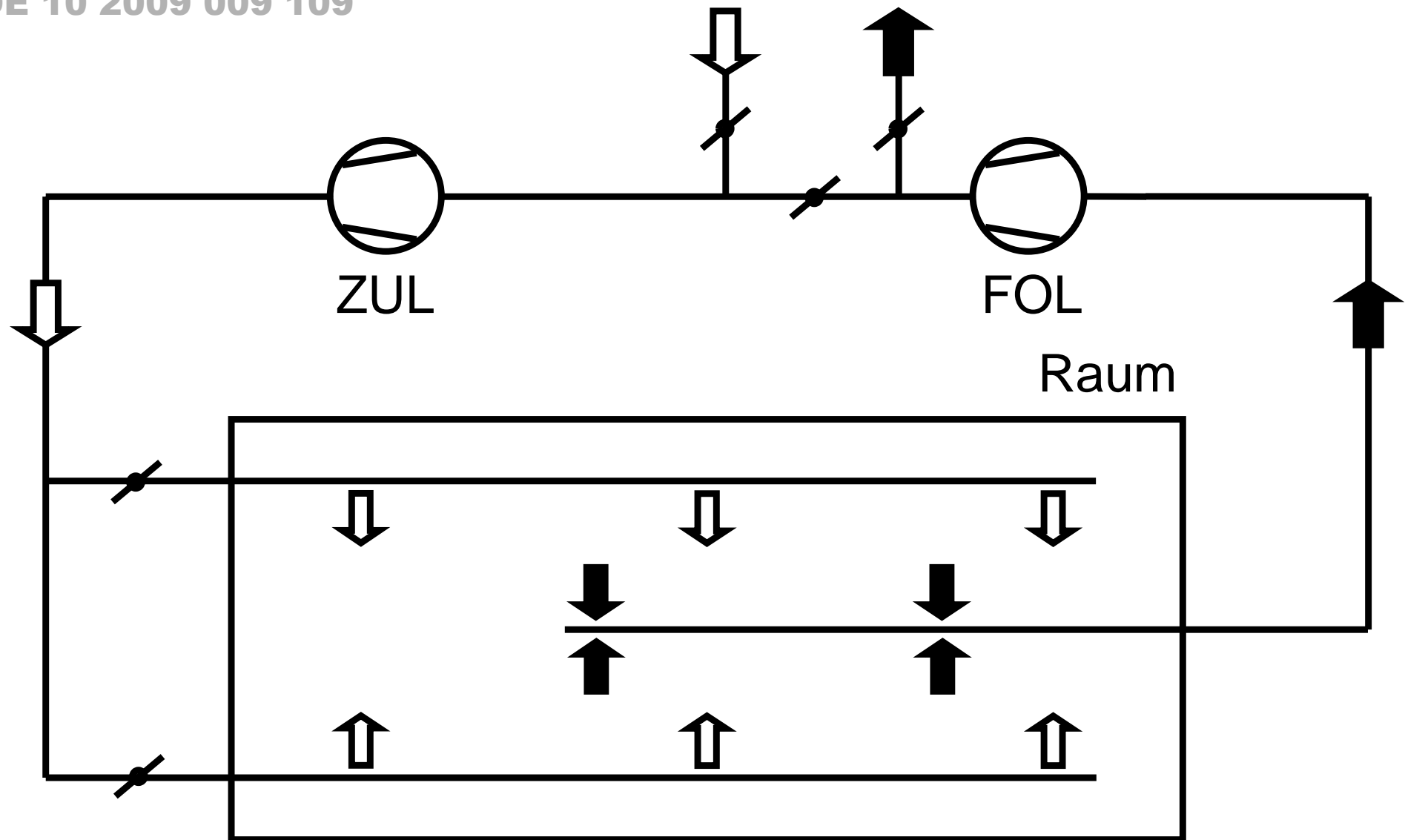


Strahleindringtiefe Drallauslass in m zur Luftmenge

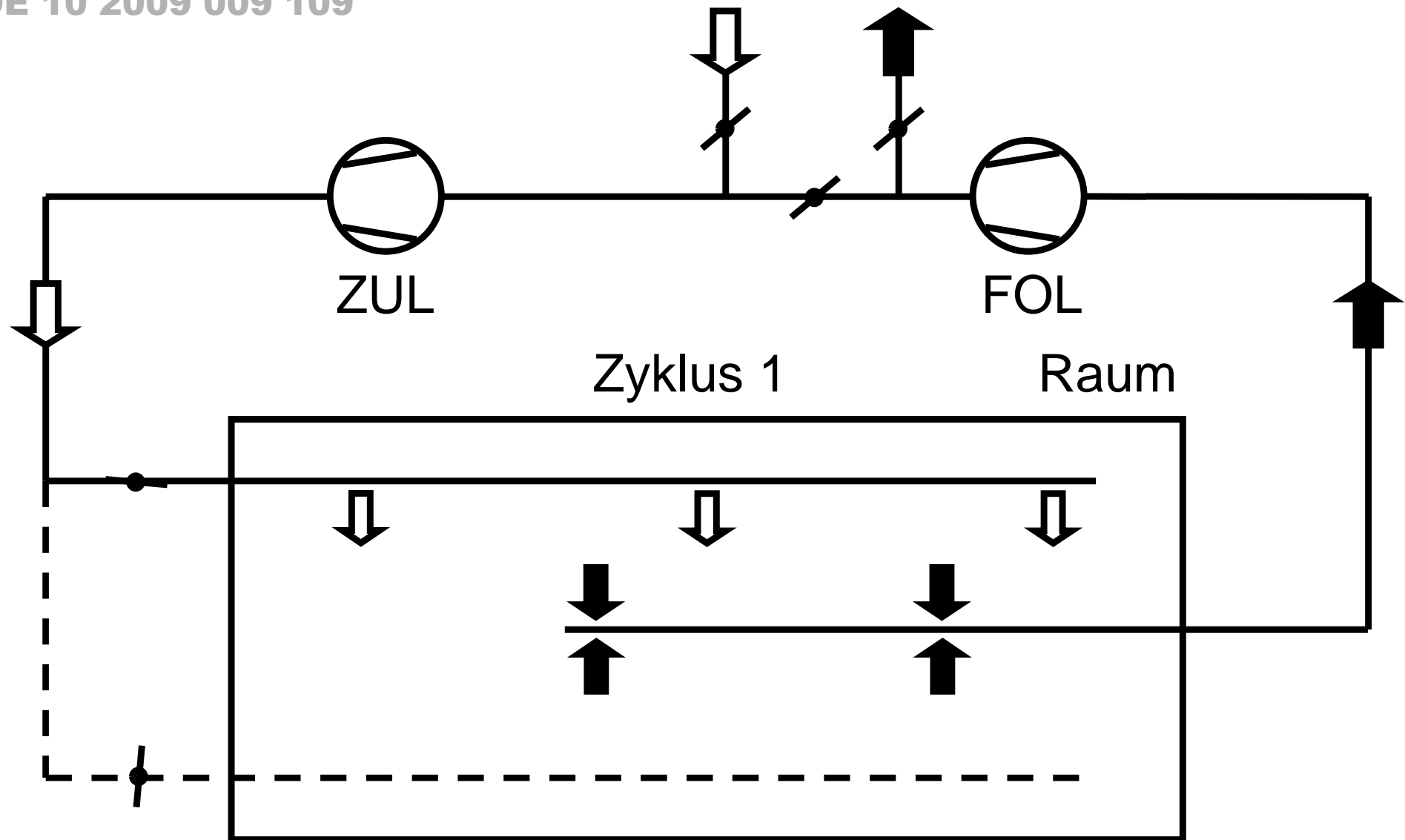


Kritischer Strahlweg Drallauslass in m im Kühlfall

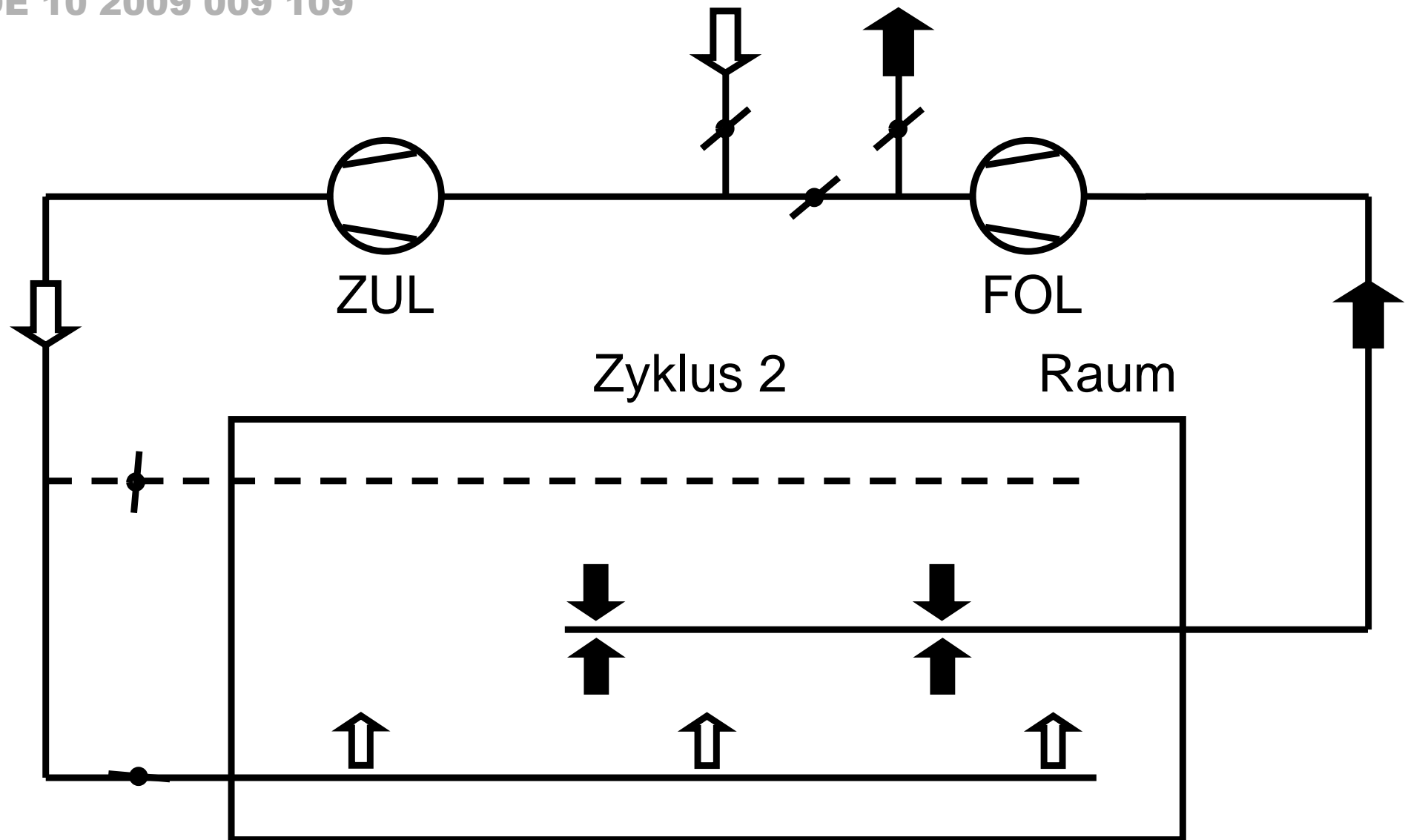
DE 10 2009 009 109

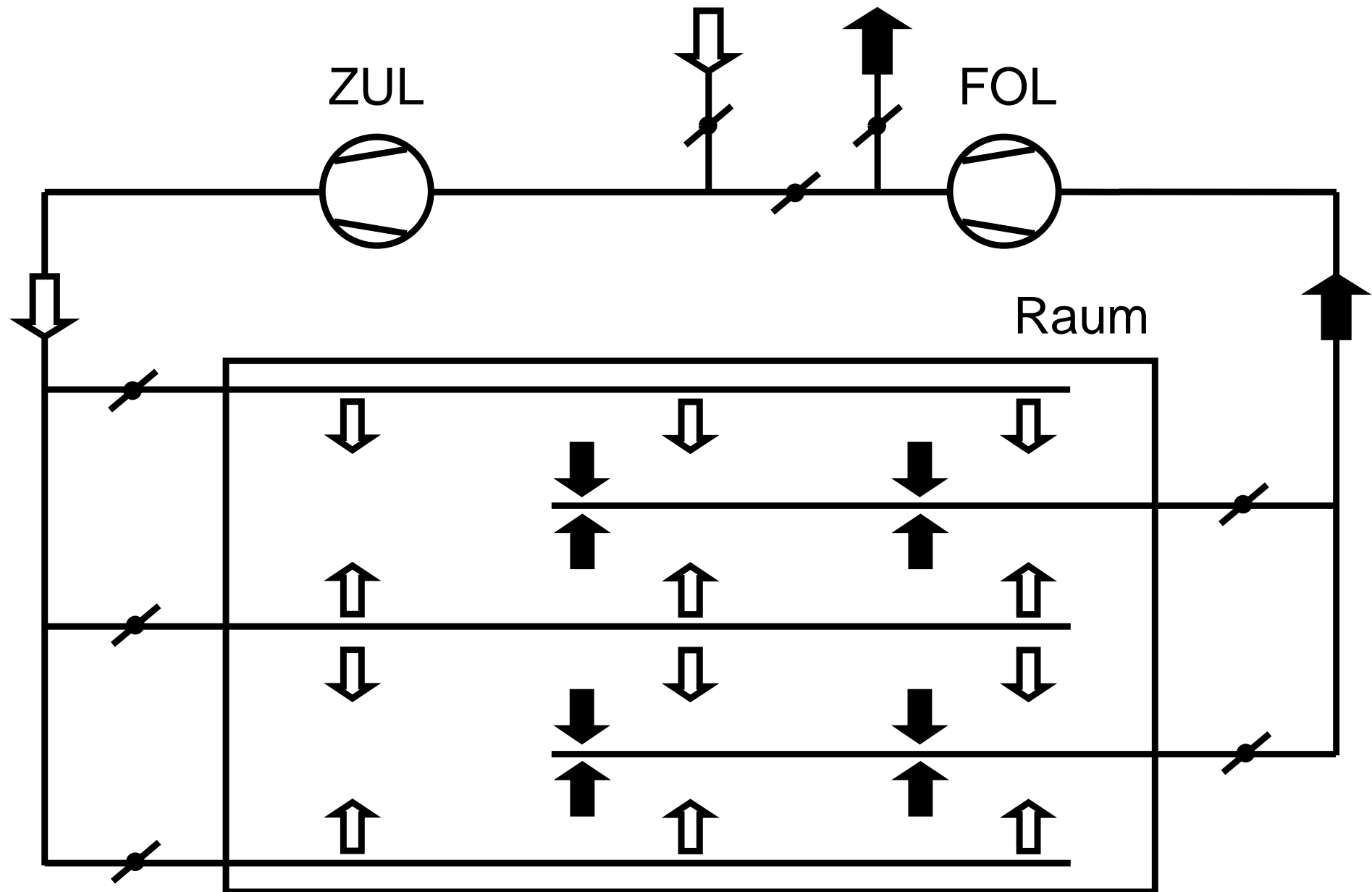


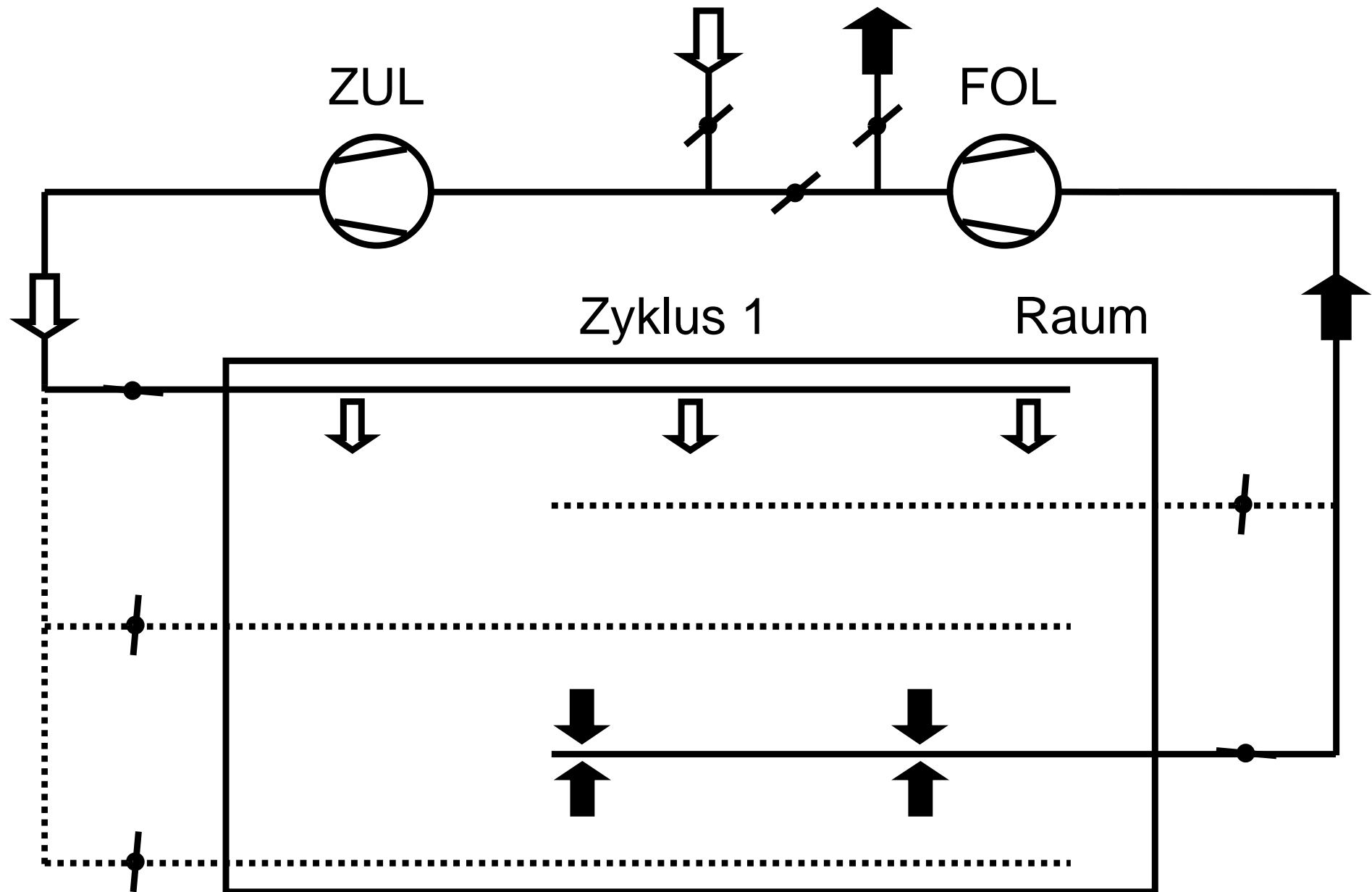
DE 10 2009 009 109

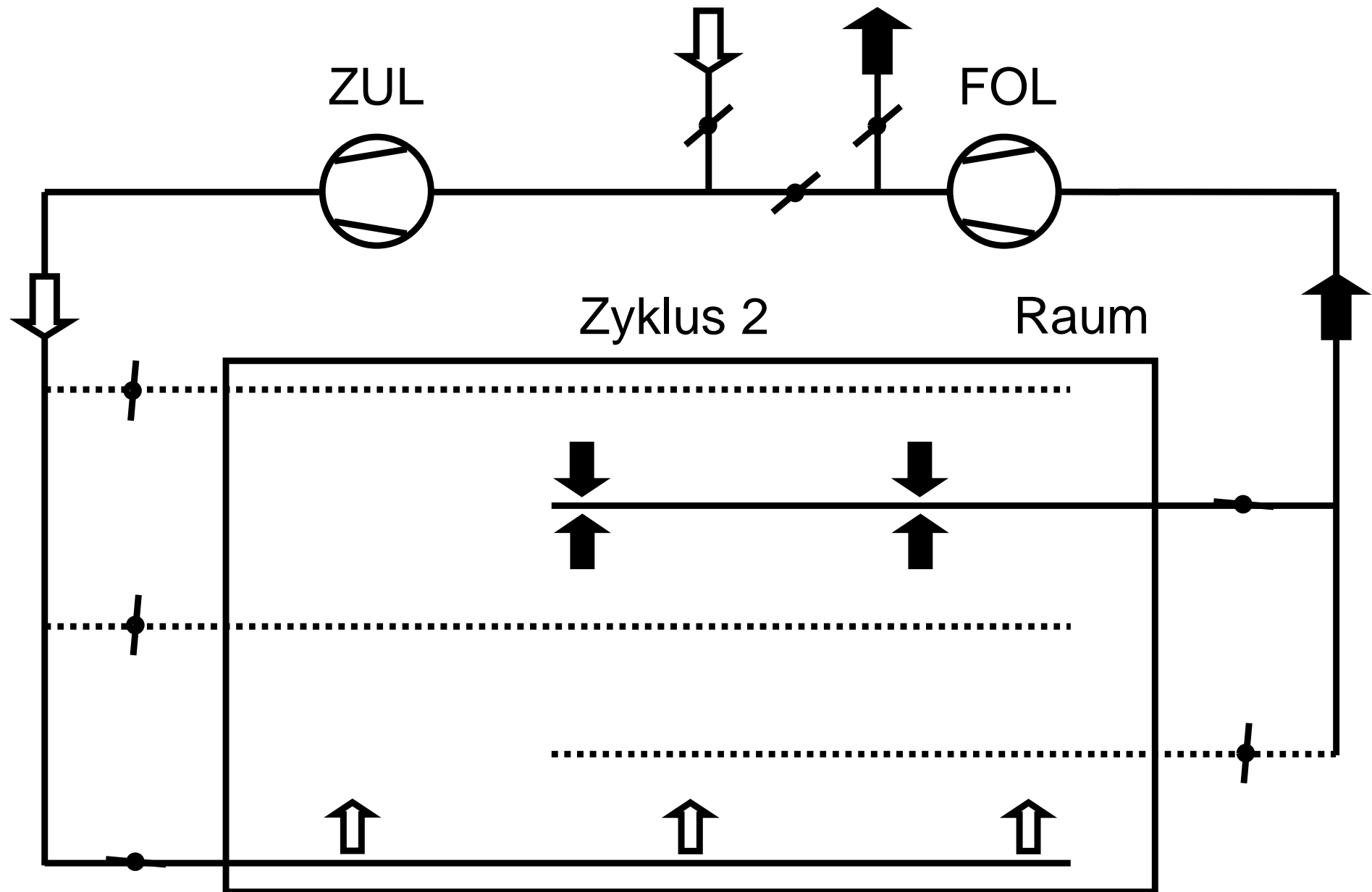


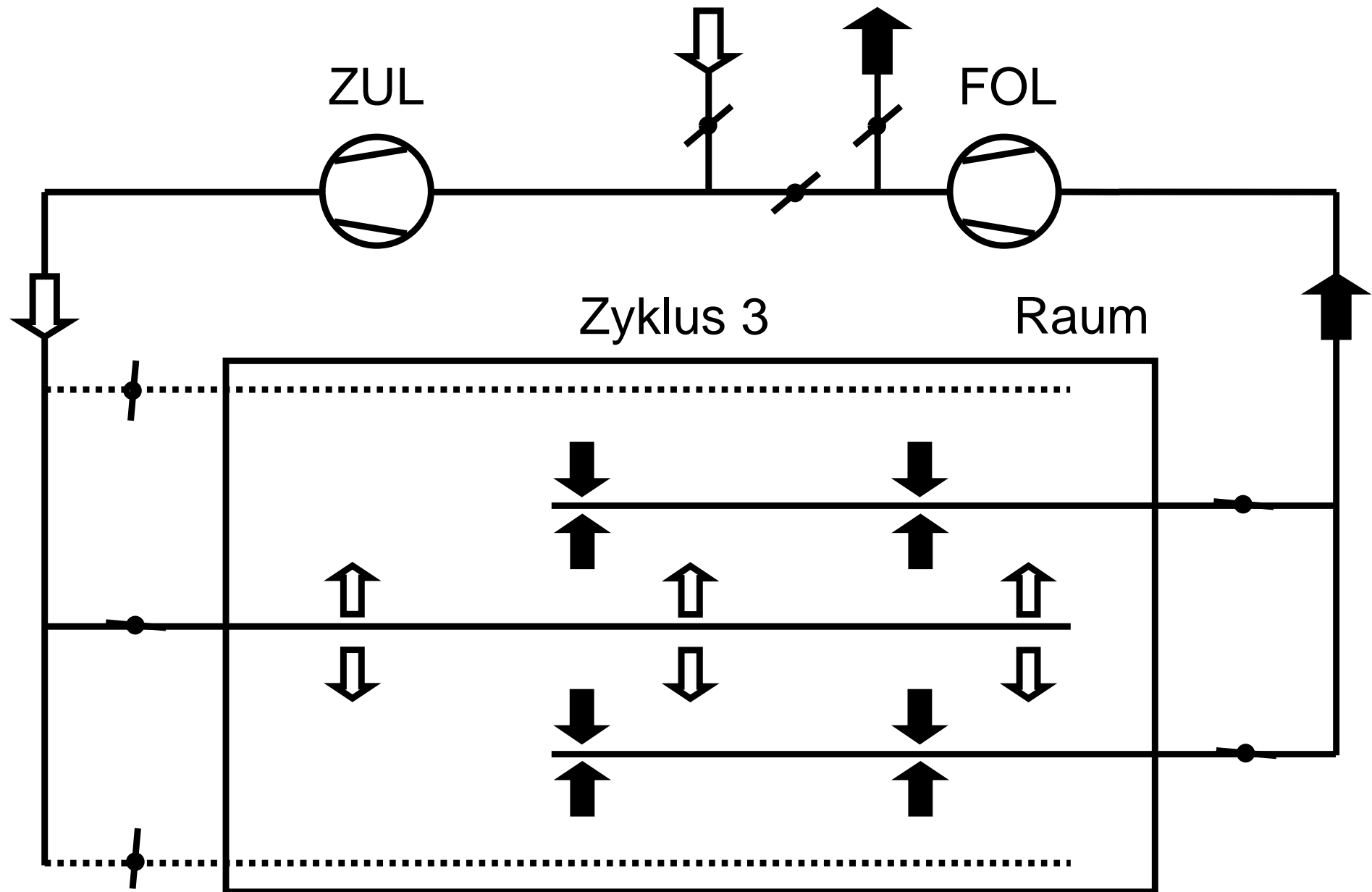
DE 10 2009 009 109



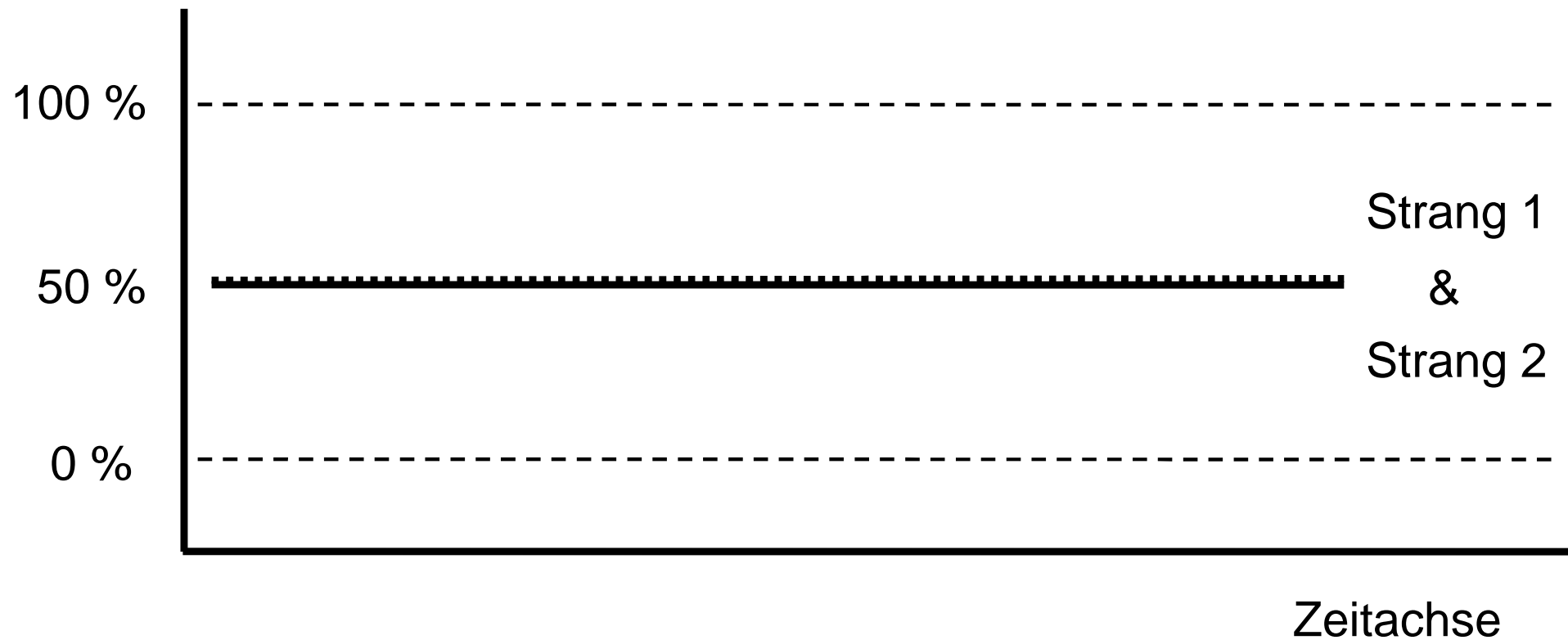




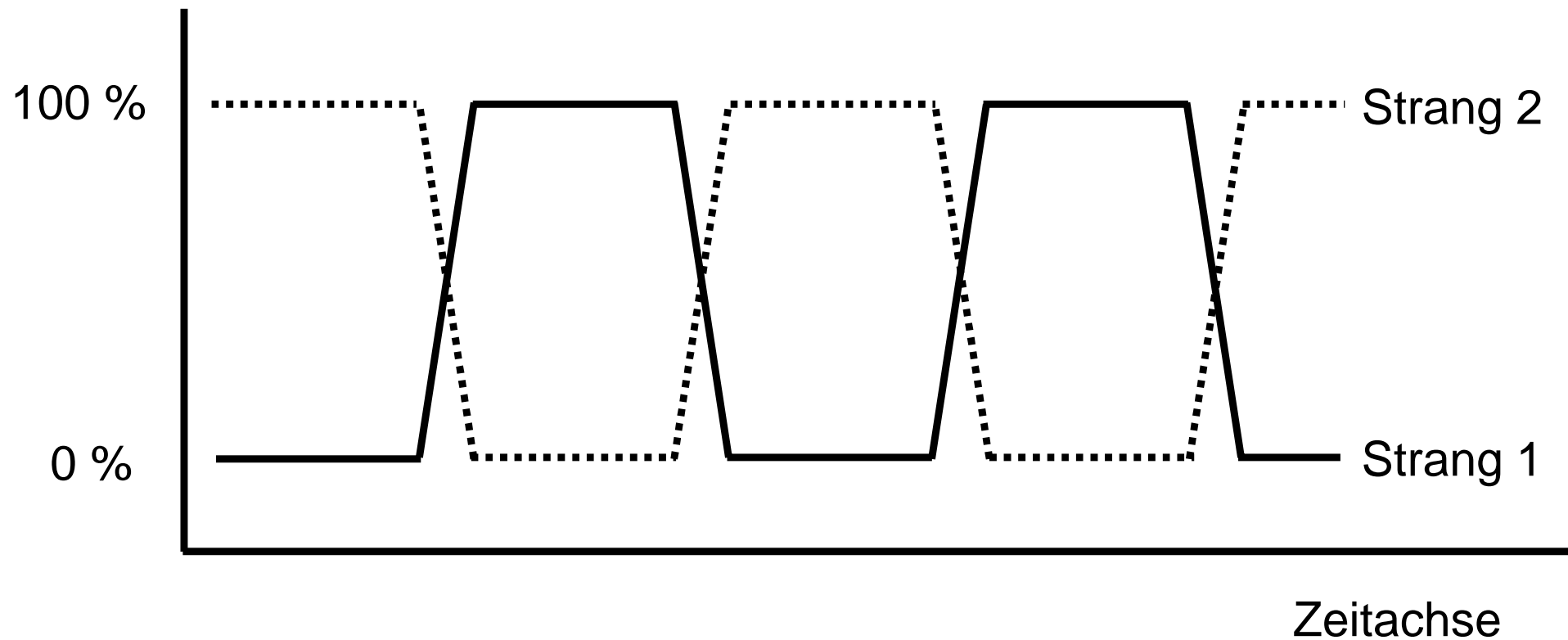




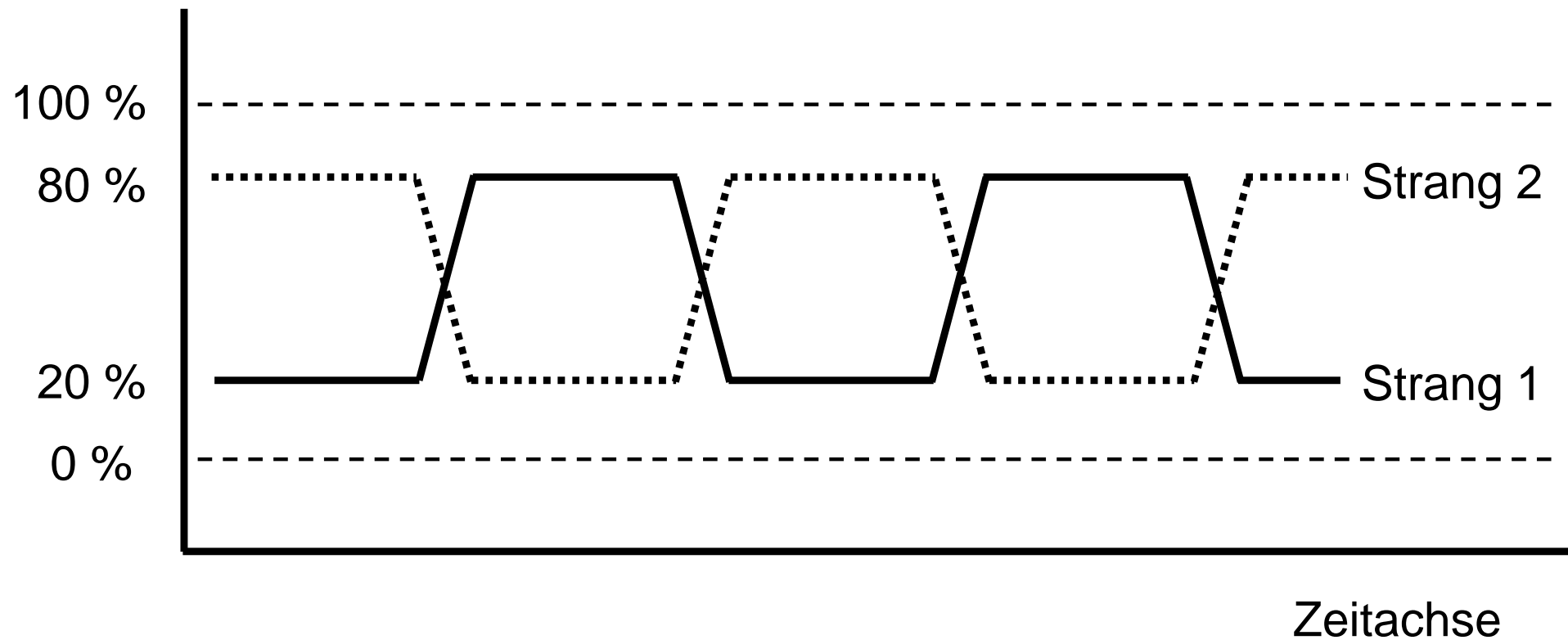
Luftmengen pro Strang



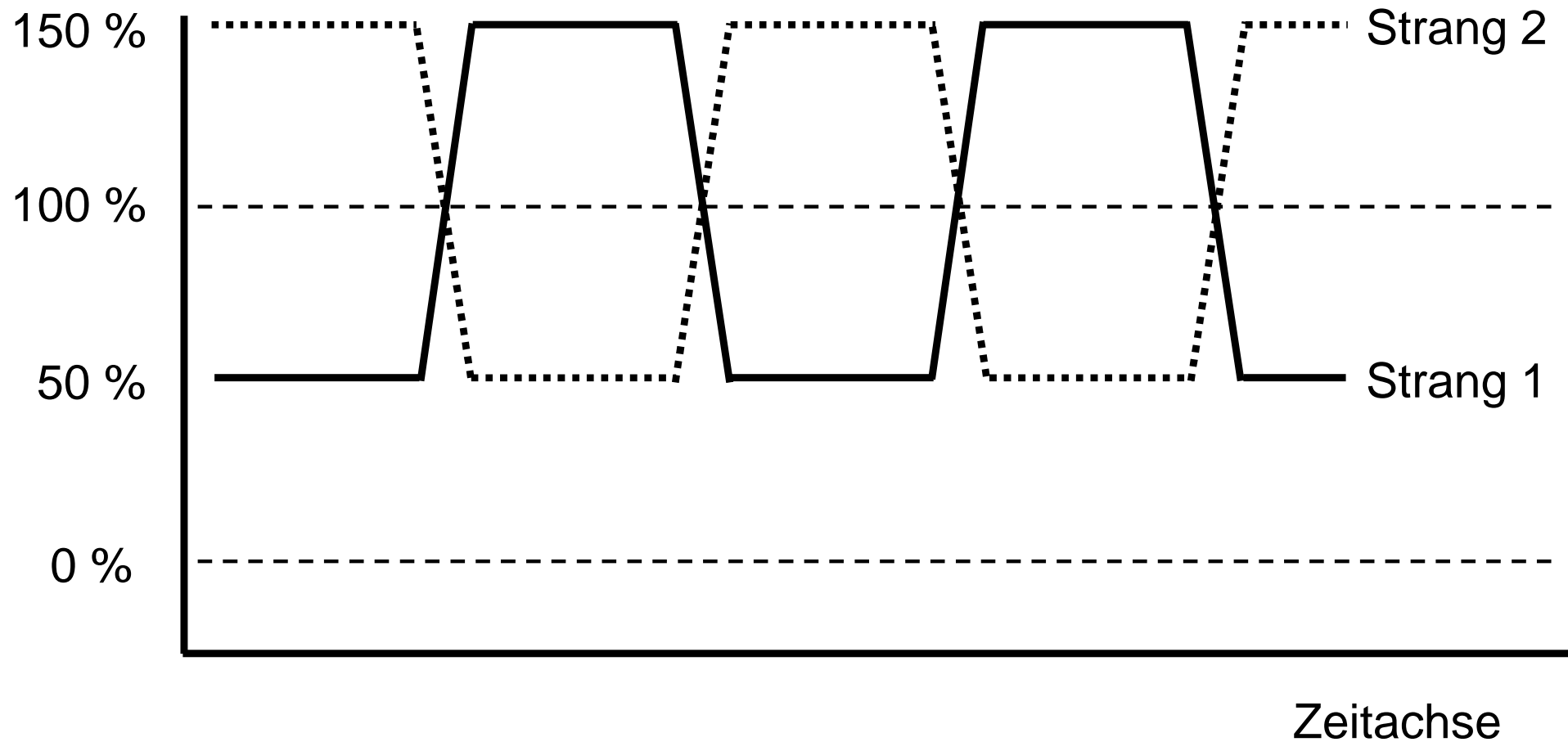
Luftmengen pro Strang

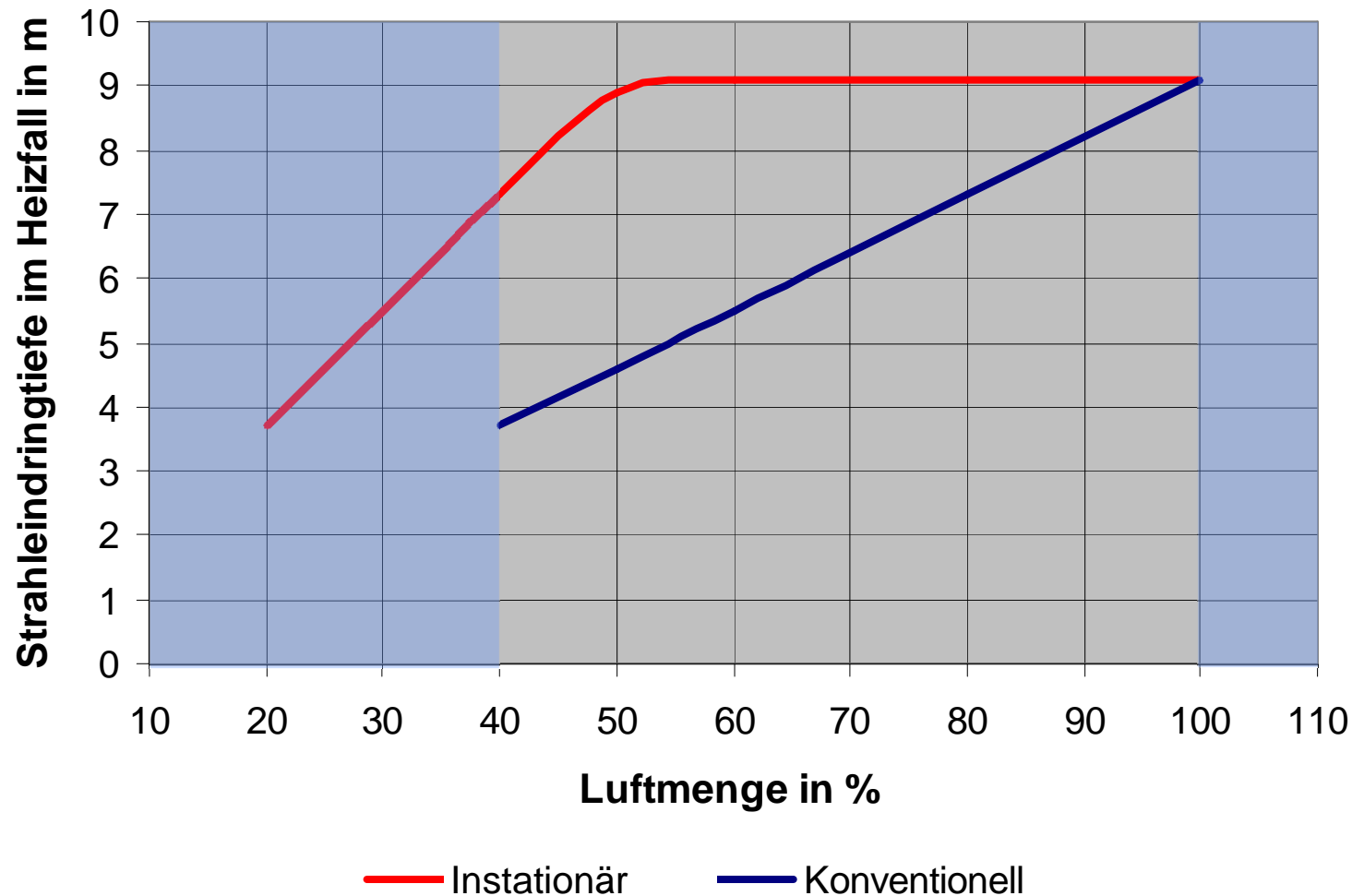


Luftmengen pro Strang

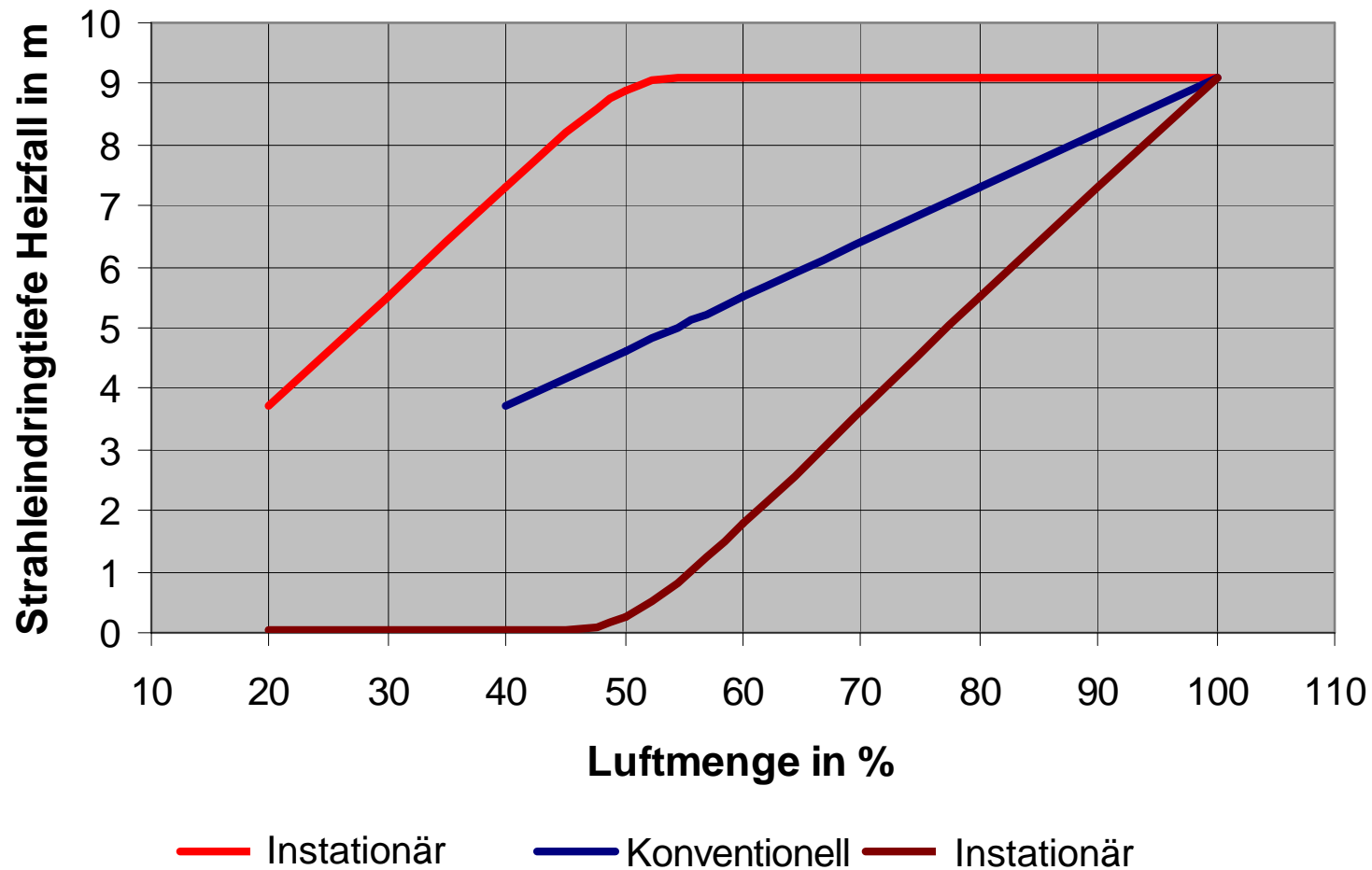


Luftmengen pro Strang

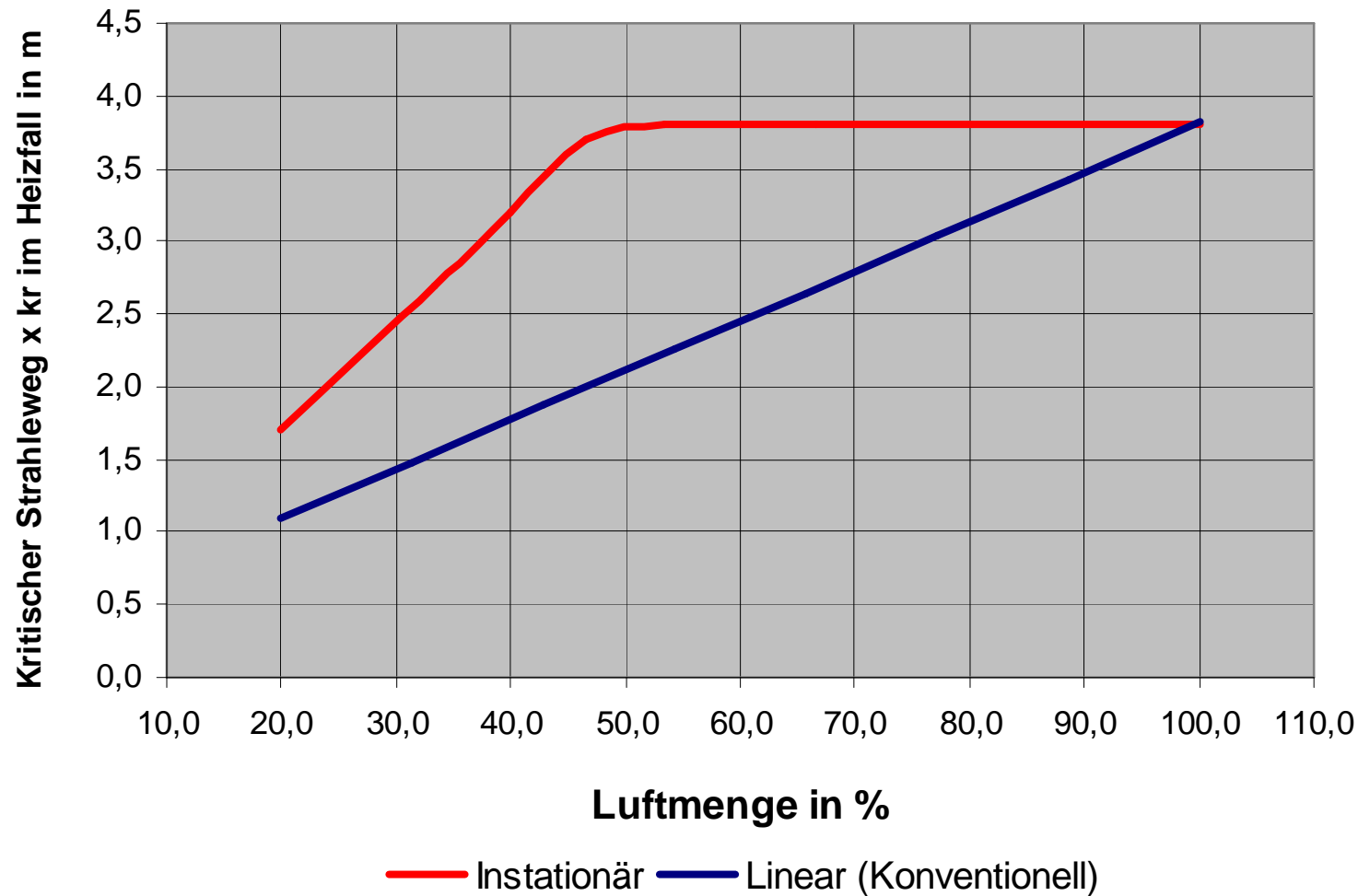




Strahleindringtiefe Drallauslaß in m zur Luftmenge



Strahleindringtiefe Drallauslass in m zur Luftmenge

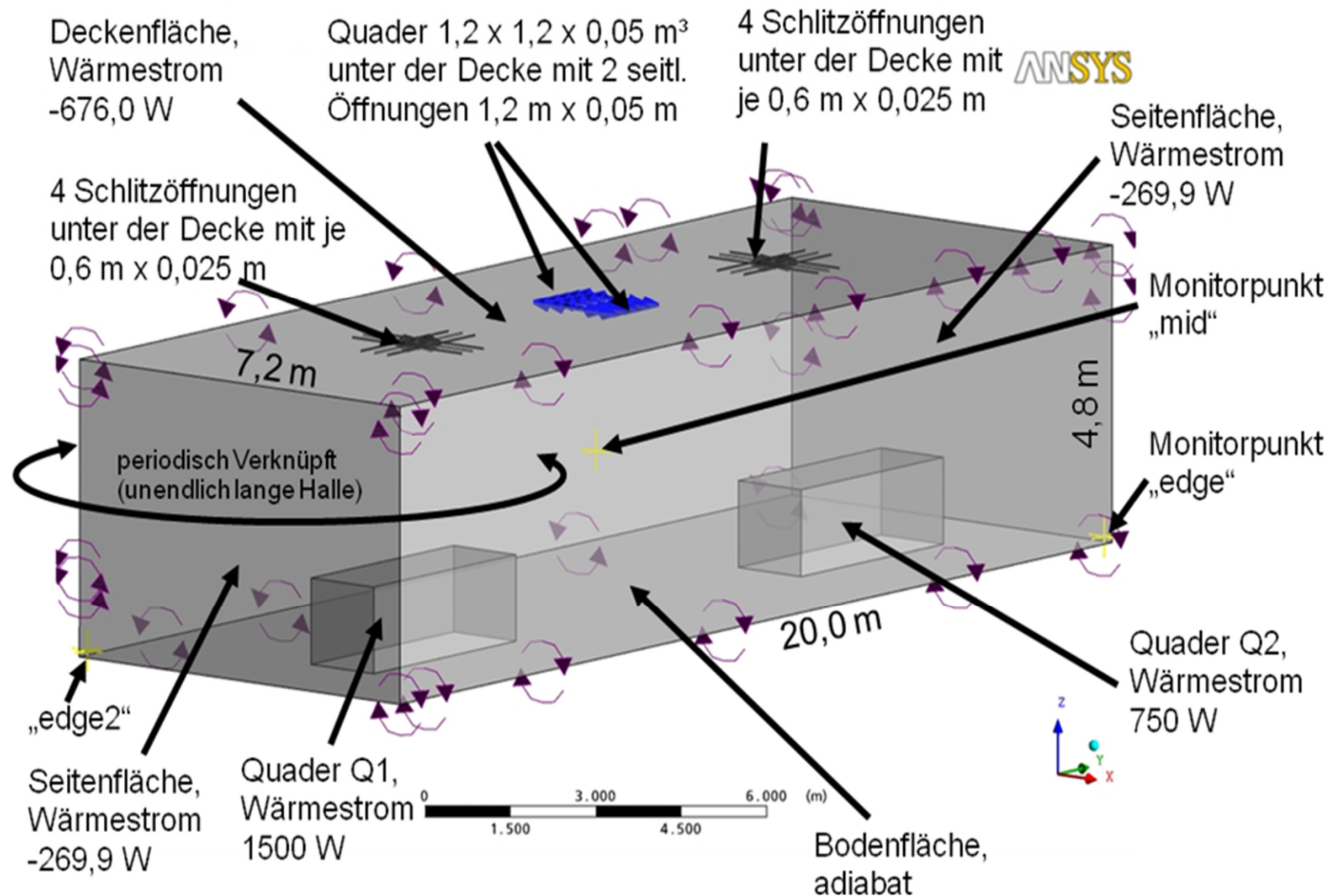


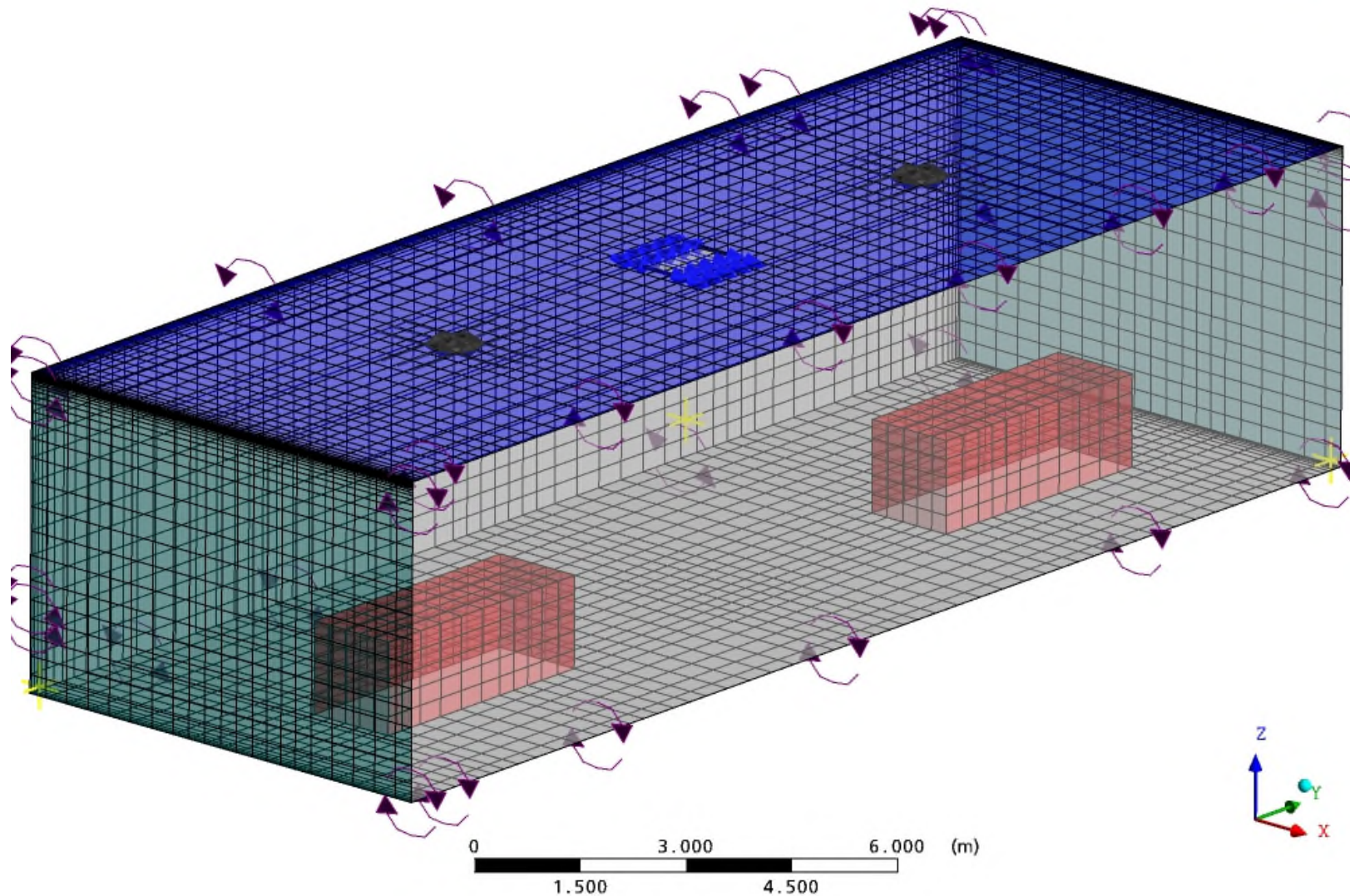
Kritischer Strahlweg x_{kr} Drallauslass in m zur Luftmenge

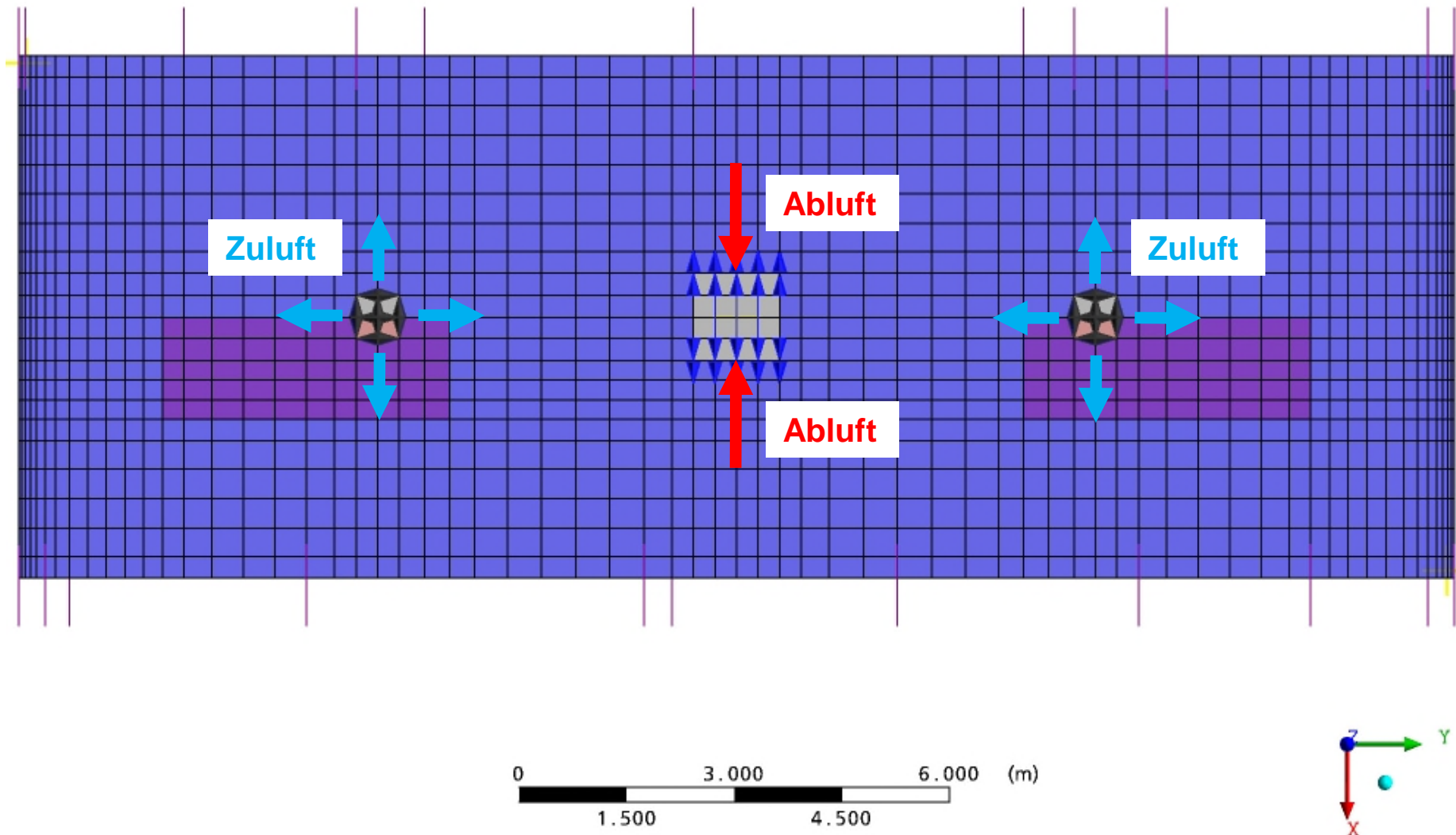


Industrie Service

- CFD (Computational Fluid Dynamics) Berechnungen verschiedener Varianten zur Hallenbelüftung mit dem 3D-Strömungssimulationsprogramm ANSYS CFX (TÜV Süd)
- Vergleich konventionelle Lüftung
 - LWZ = 1
 - LWZ = 2
- Intermittierende Lüftung
 - LWZ = 1 (Zu- und Abluft getrennt)
 - LWZ = 2 (Zu- und Abluft kombiniert)

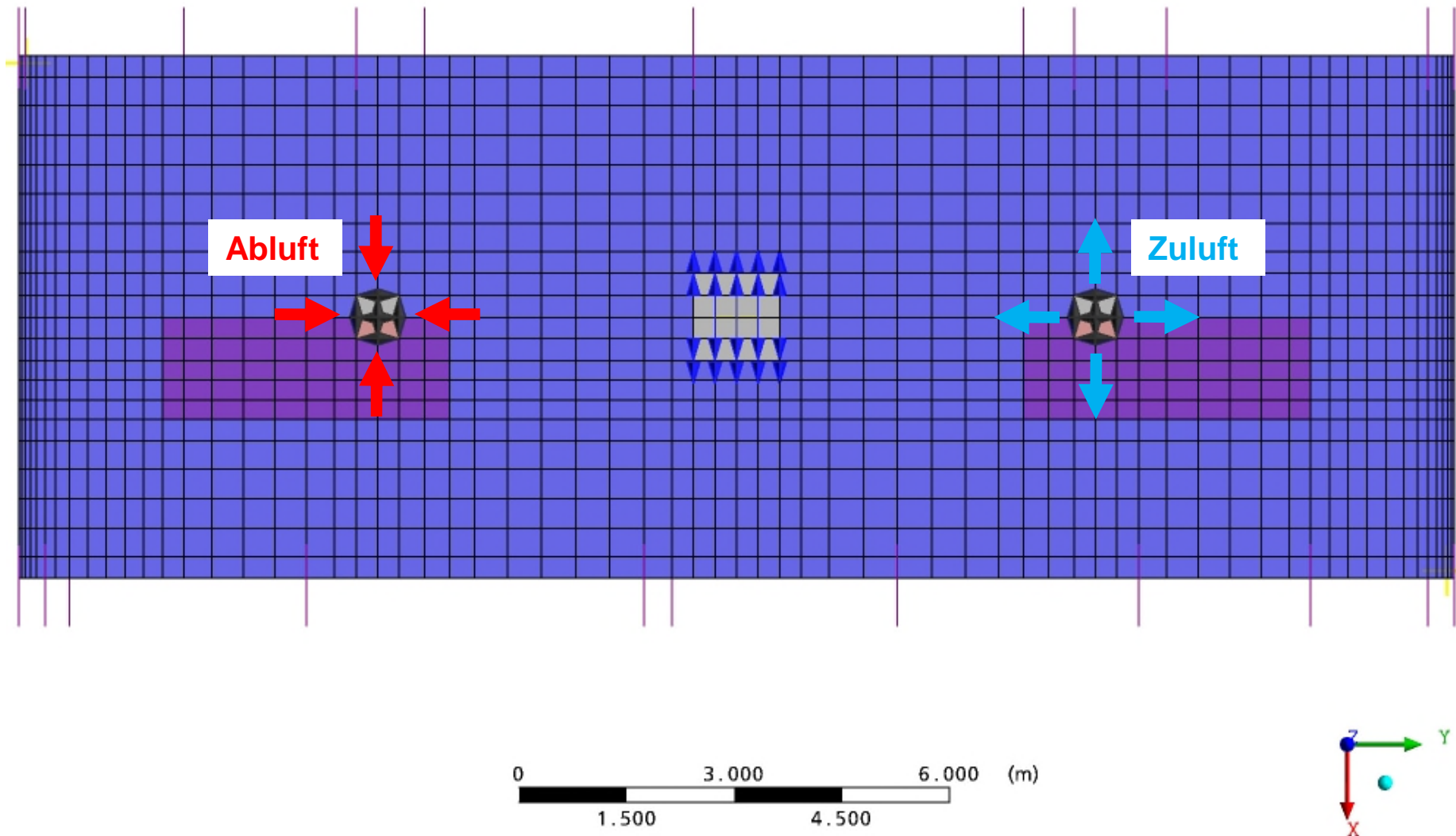






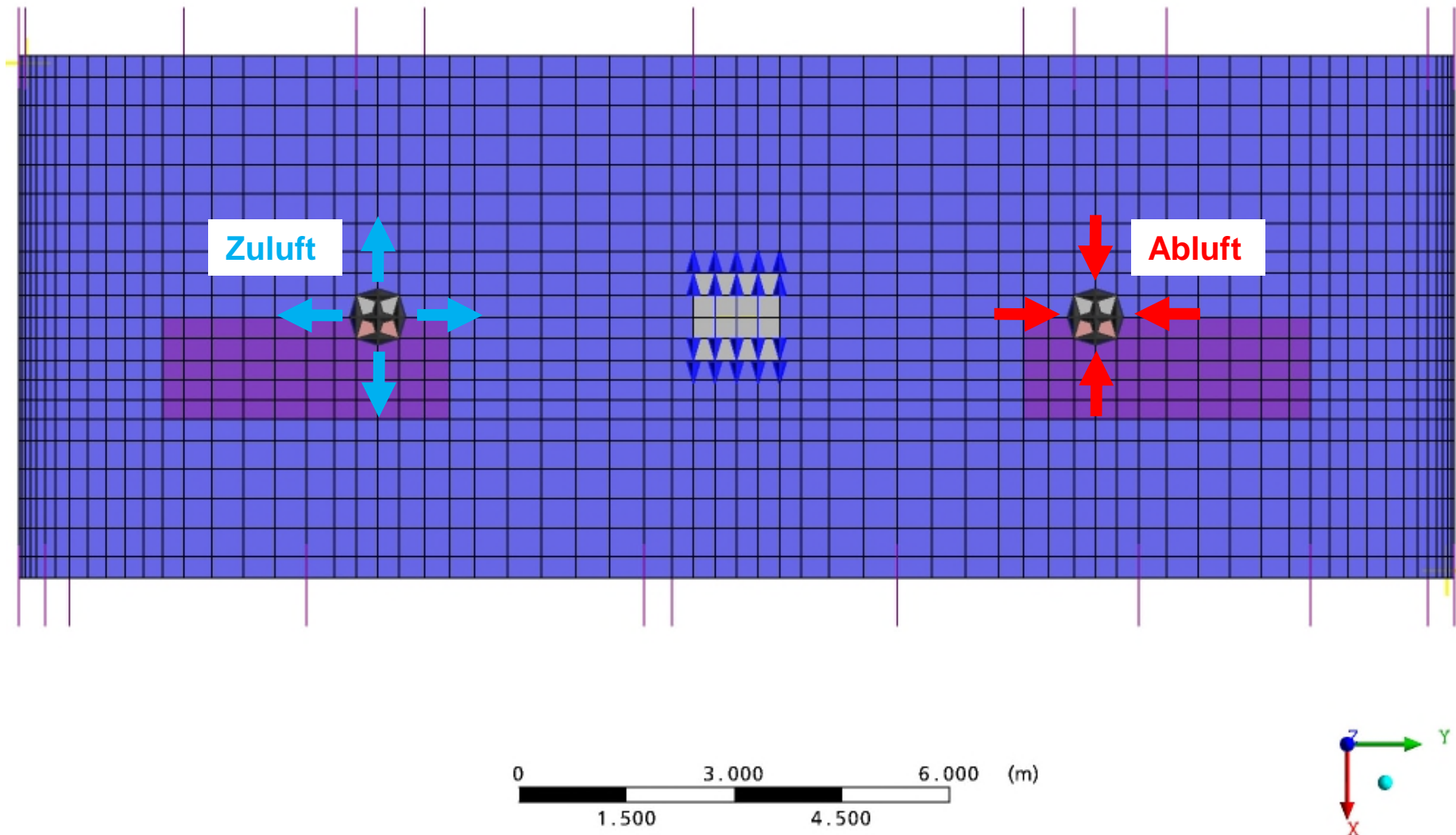
Stationäre Raumströmung konventionell

Phase 1

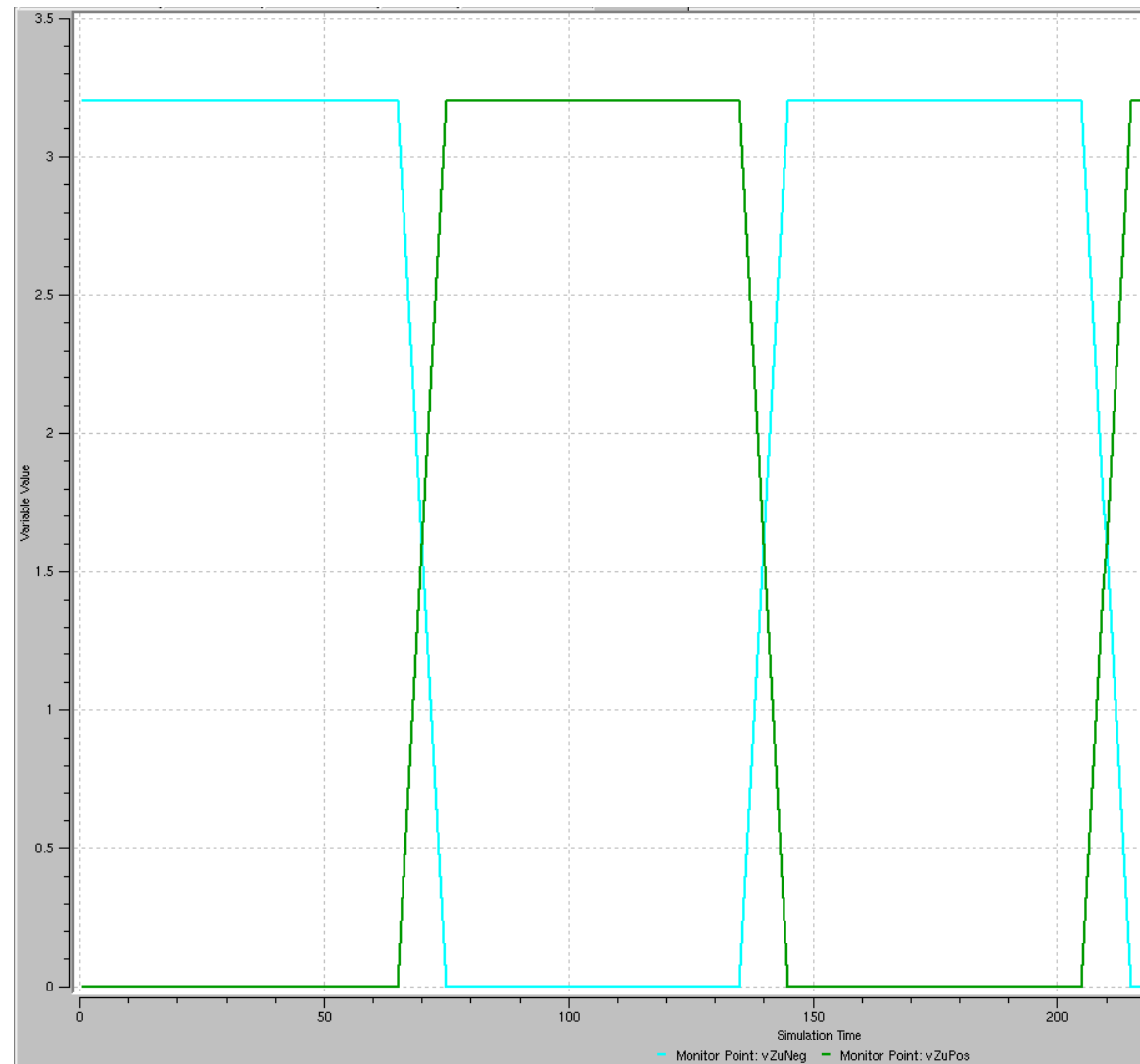


Instationäre Raumströmung Umschaltregenerator

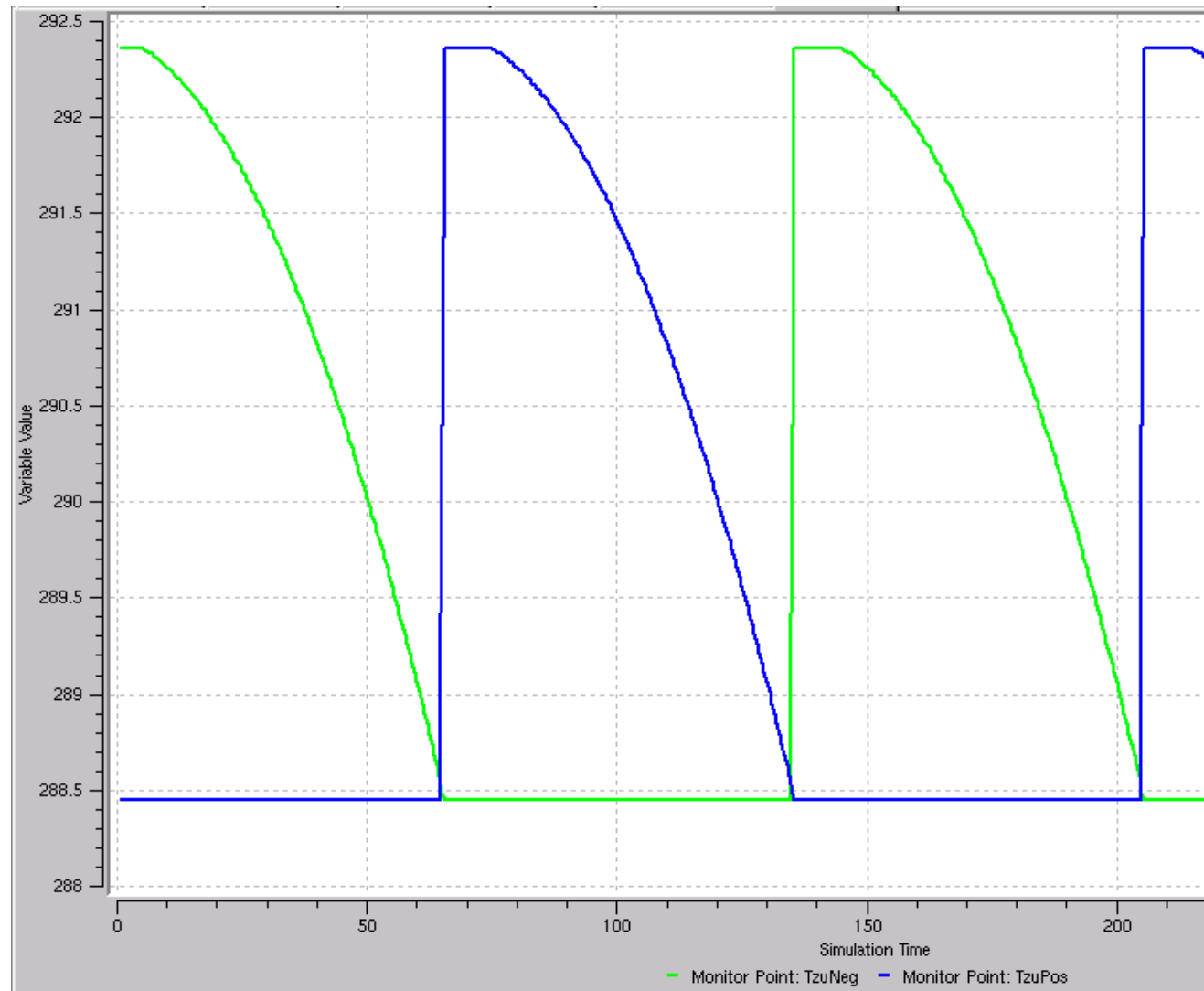
Phase 2



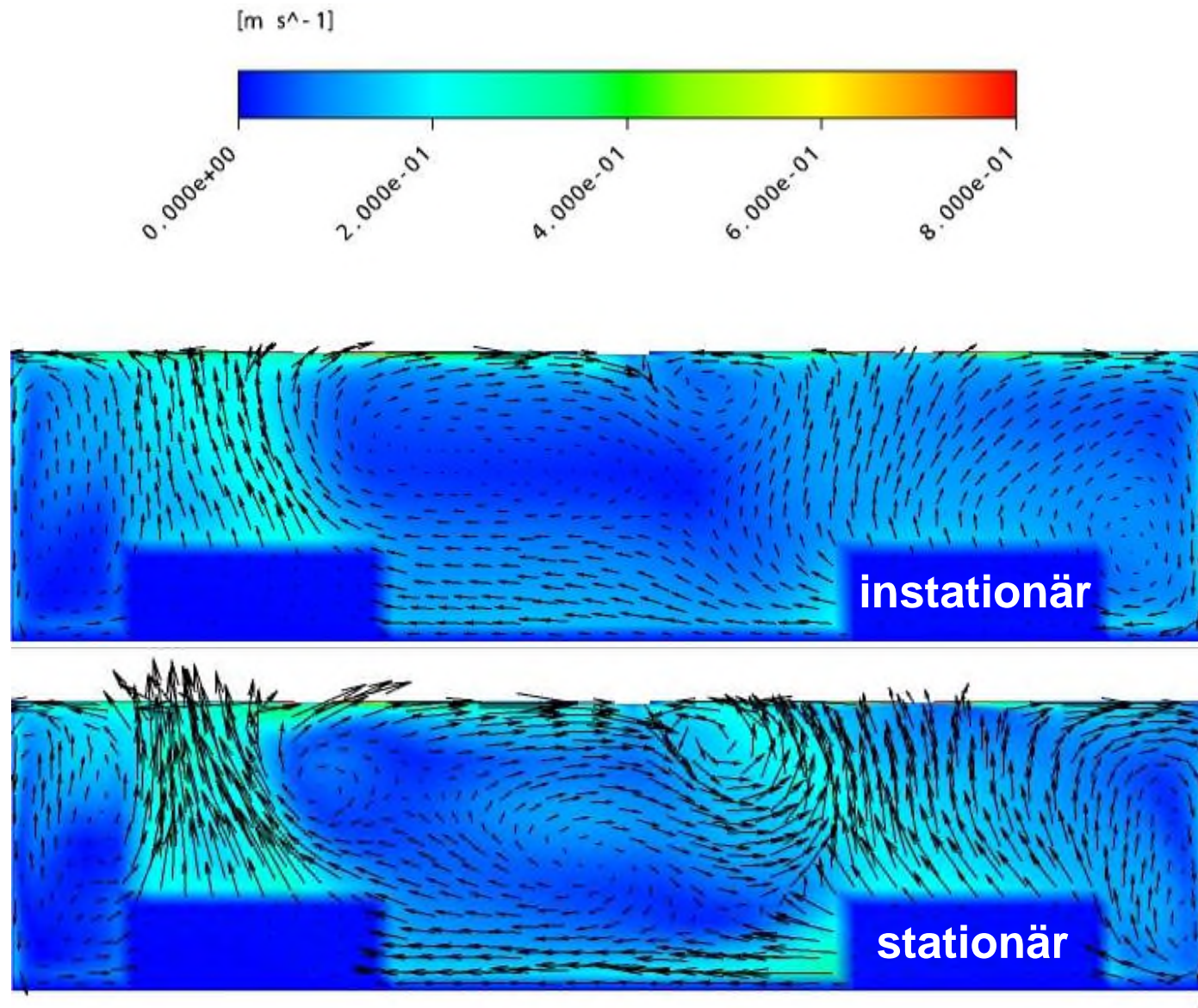
Instationäre Raumströmung Umschaltregenerator



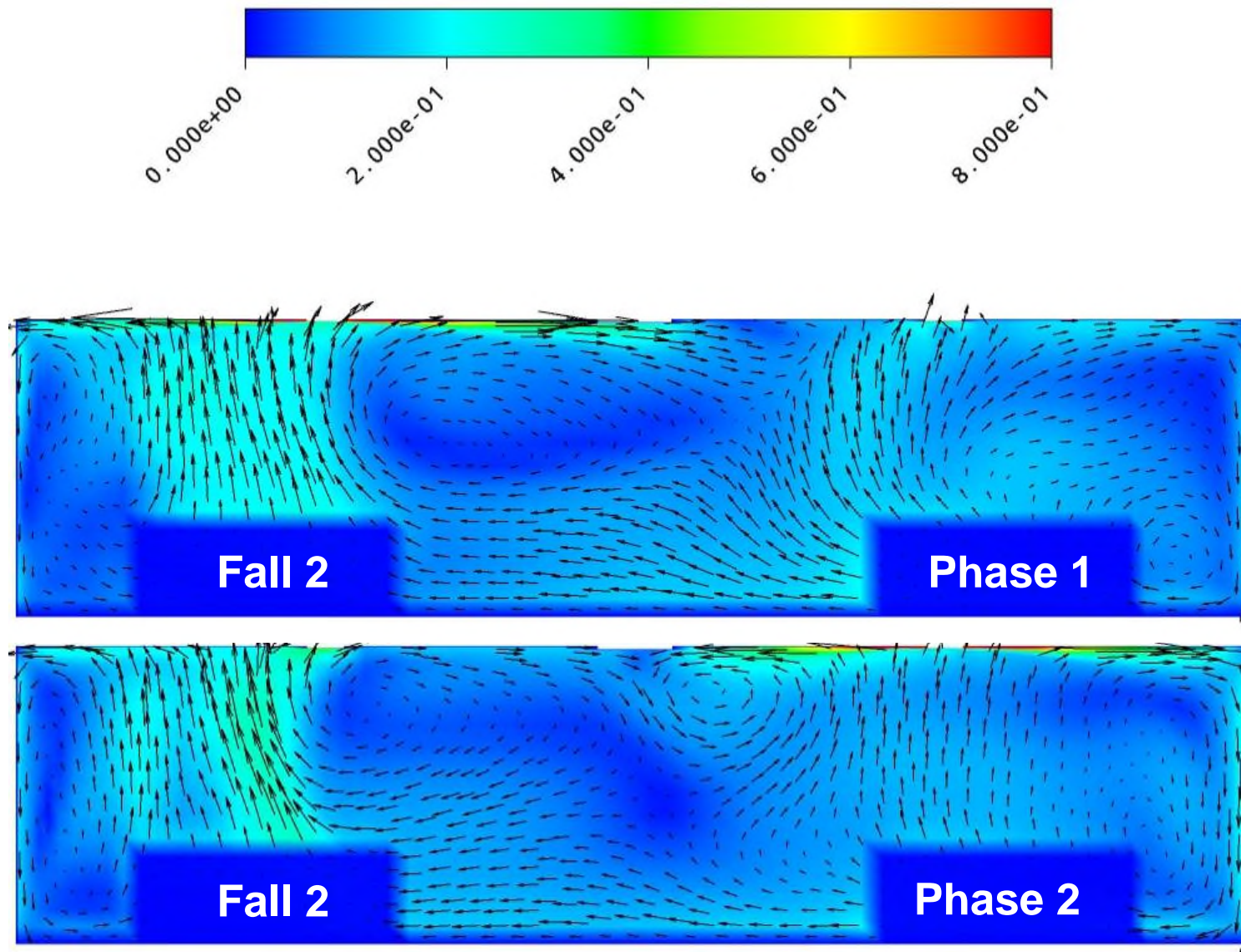
Instationäre Raumströmung Schaltzyklen



Instationäre Raumströmung Temperaturverlauf



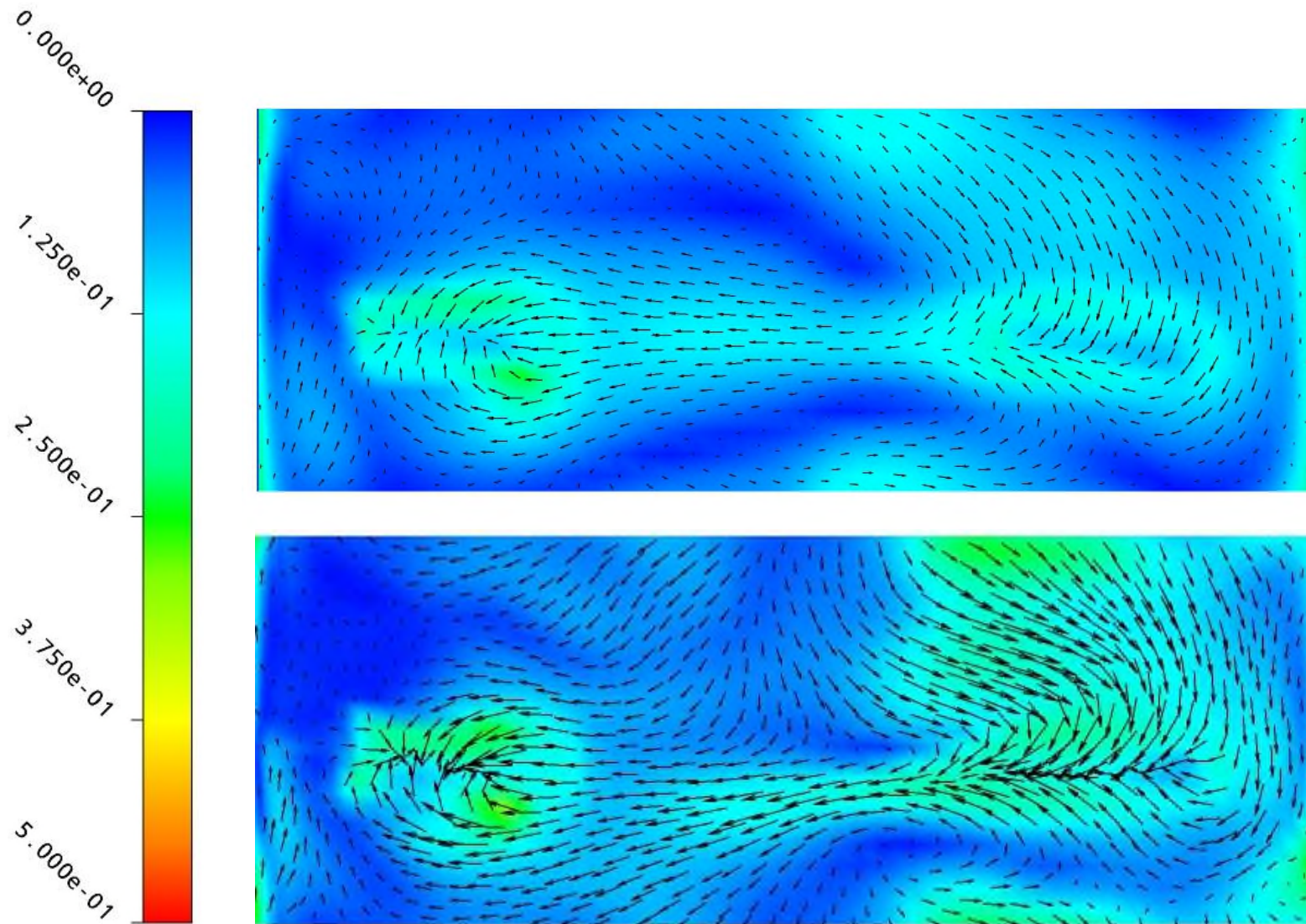
Vergleich Strömungsgeschwindigkeiten vertikal LWZ = 1



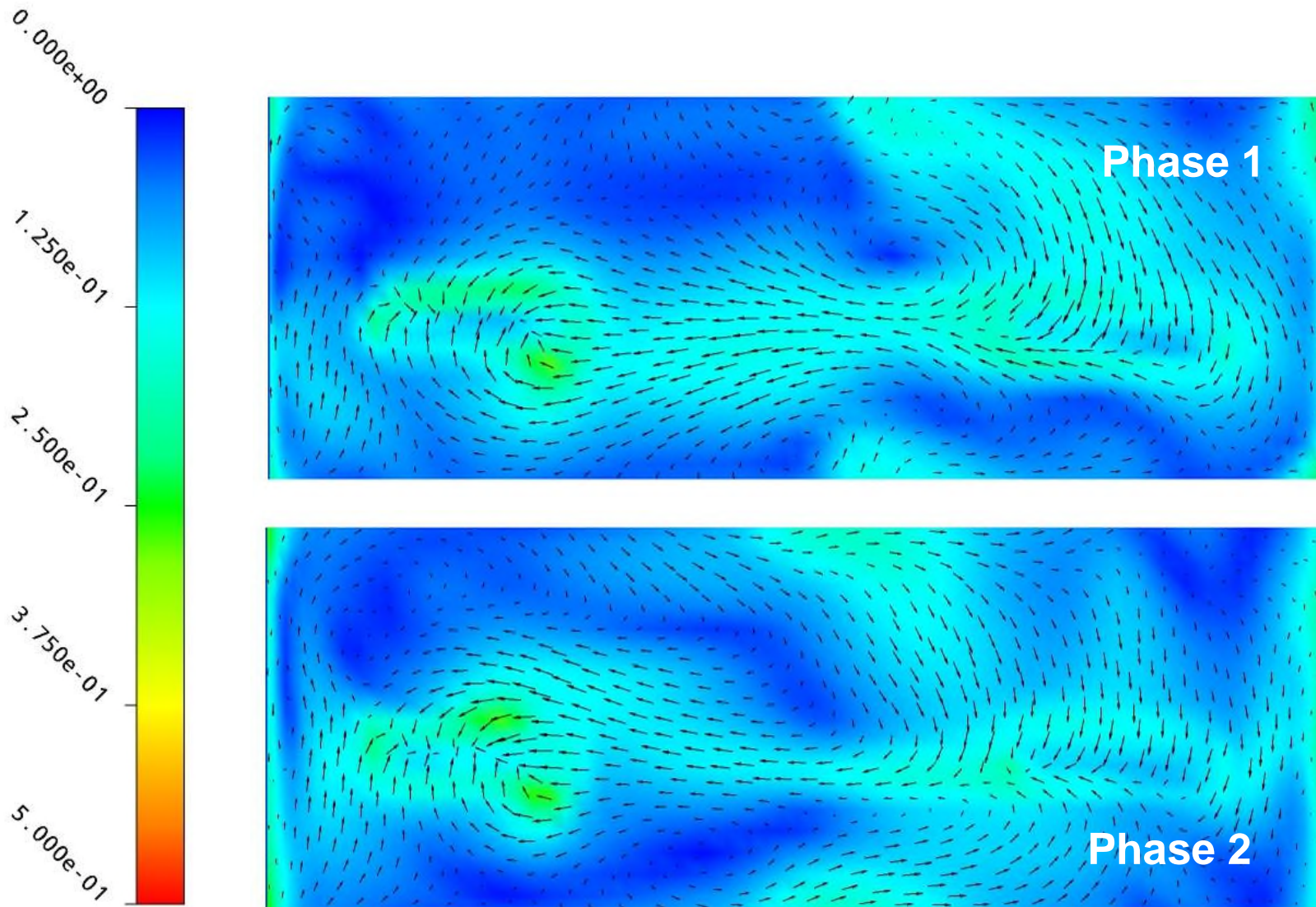
Vergleich der Phasen vertikal LWZ = 1

instationär

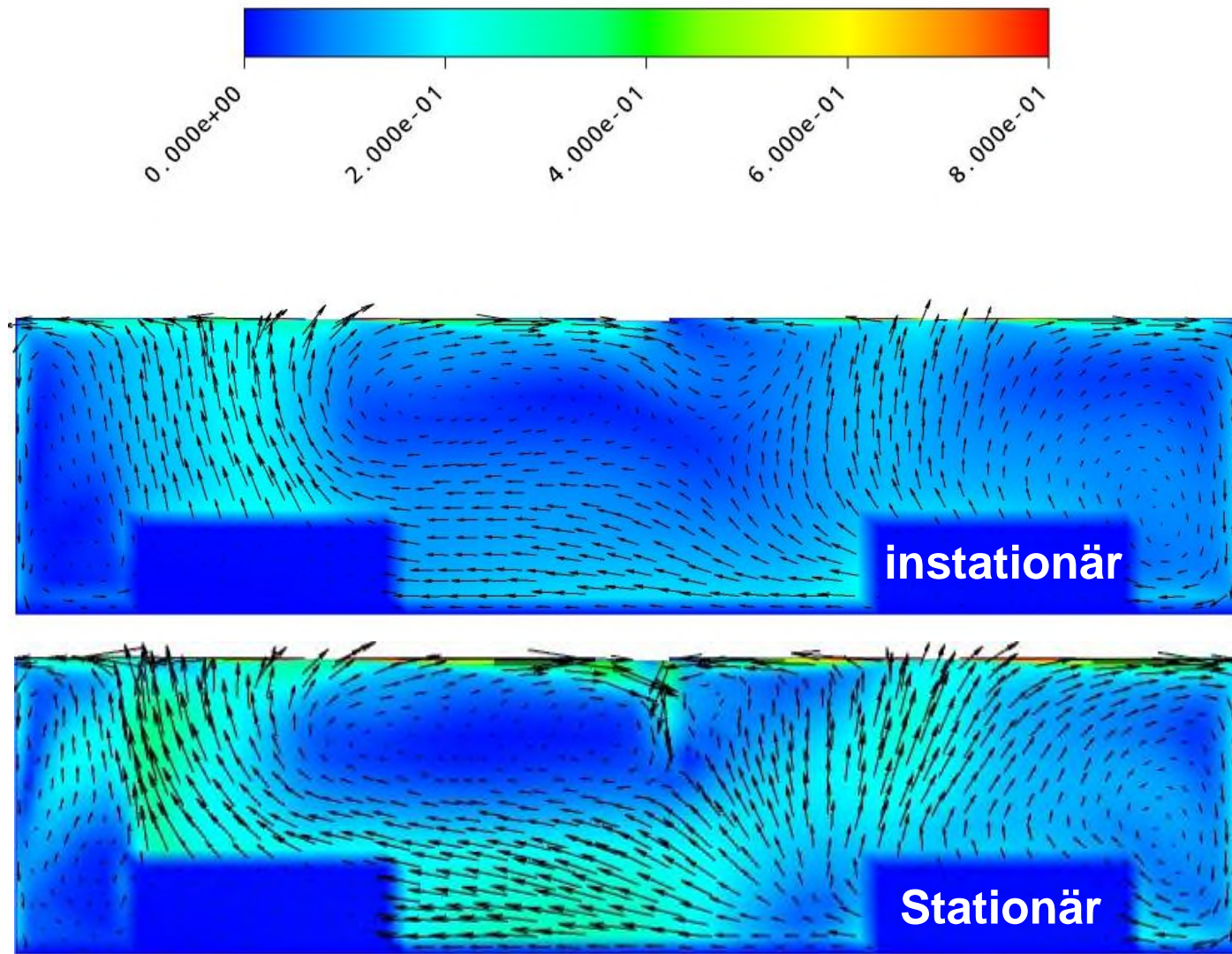
stationär



Vergleich Strömungsgeschwindigkeiten horizontal LWZ = 1



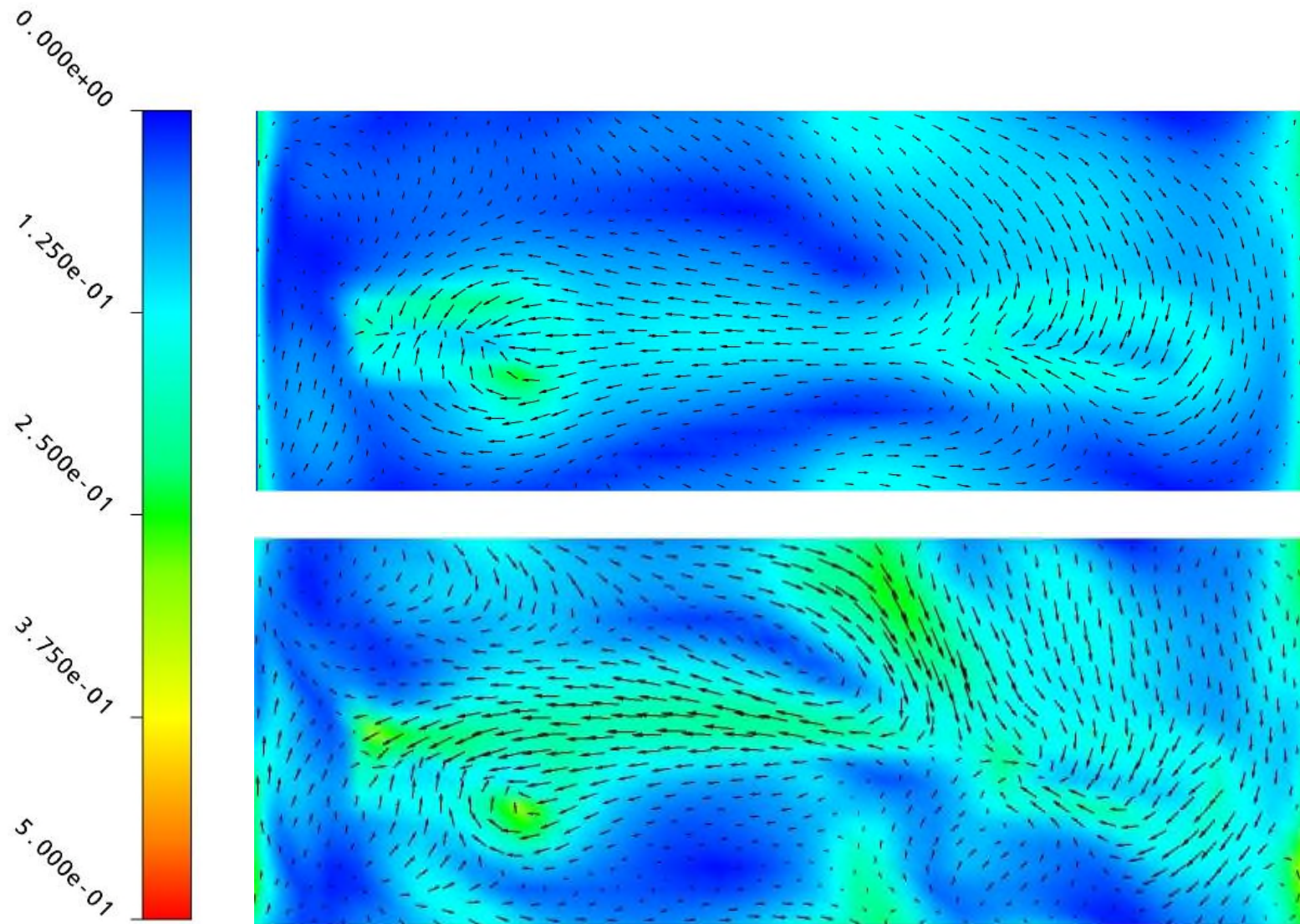
Vergleich der Phasen horizontal LWZ = 1



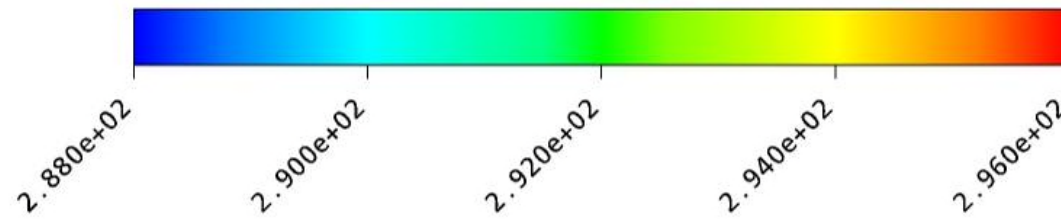
Vergleich Strömungsgeschwindigkeiten vertikal LWZ = 1 zu 2

instationär

stationär



Vergleich Strömungsgeschwindigkeiten horizontal LWZ = 1 zu 2



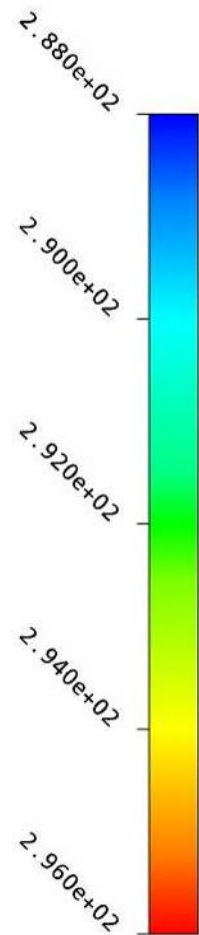
instationär



stationär



Vergleich Temperaturen vertikal LWZ = 1



instationär

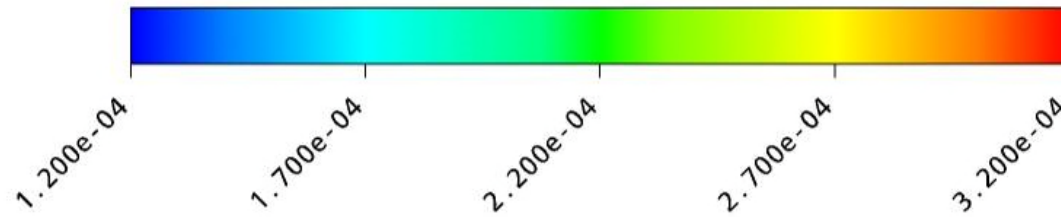


stationär

Vergleich Temperaturen horizontal LWZ = 1



Industrie Service



instationär



stationär



Vergleich Tracer CO₂ vertikal LWZ = 1

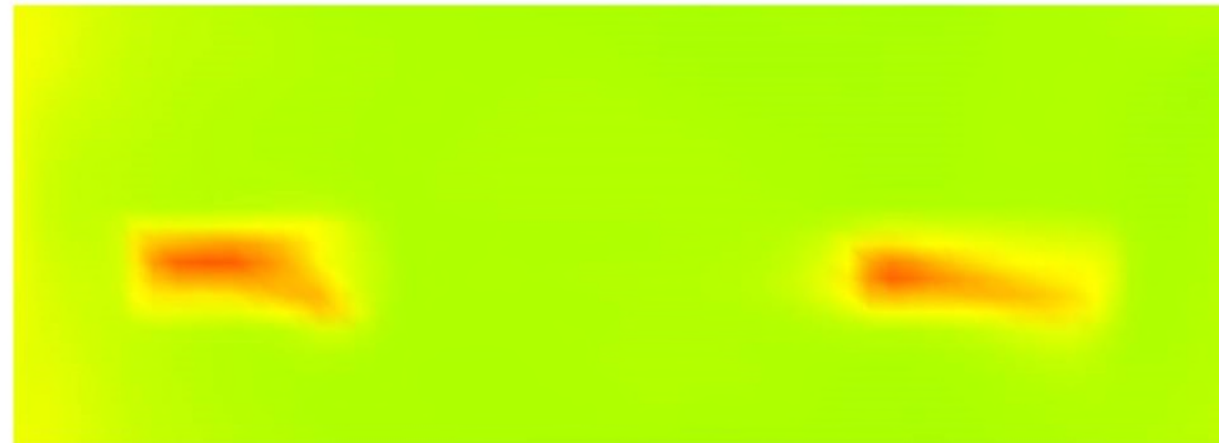
1.200e-04

1.700e-04

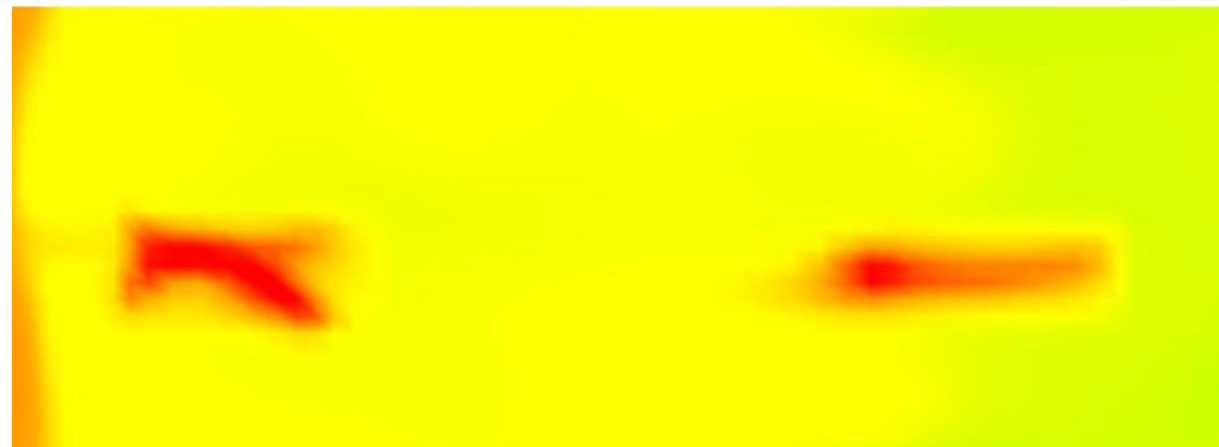
2.200e-04

2.700e-04

3.200e-04

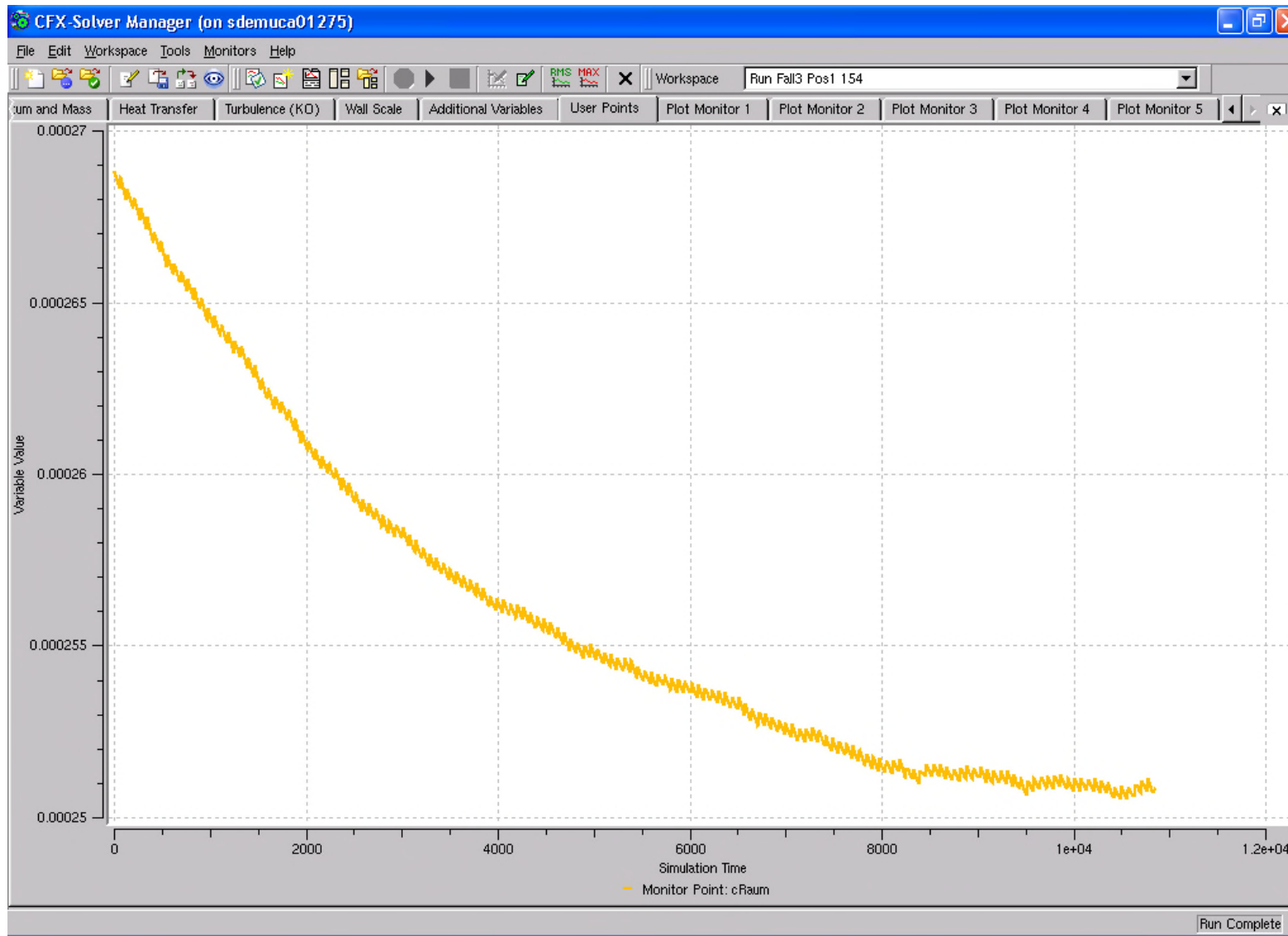


instationär

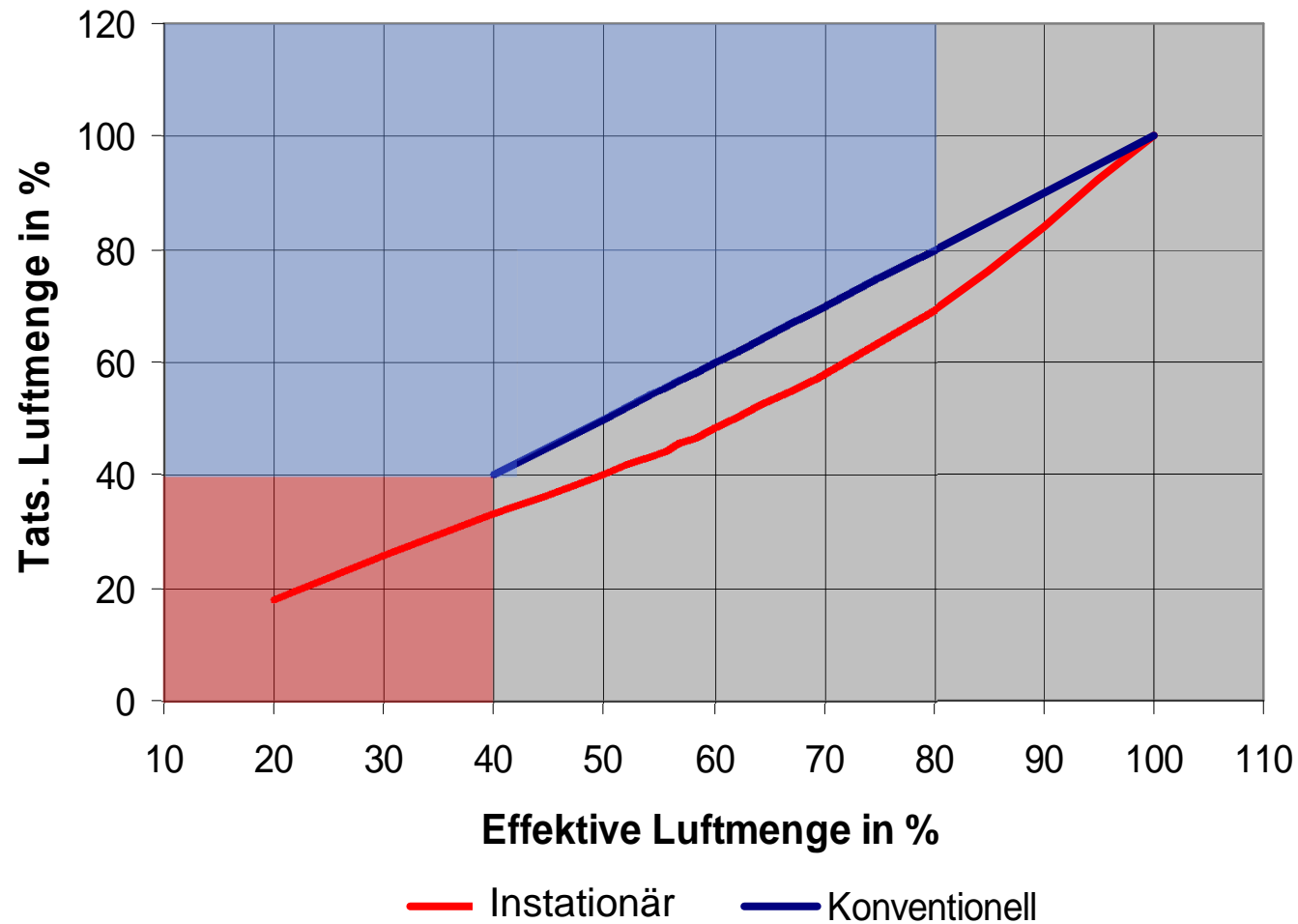


stationär

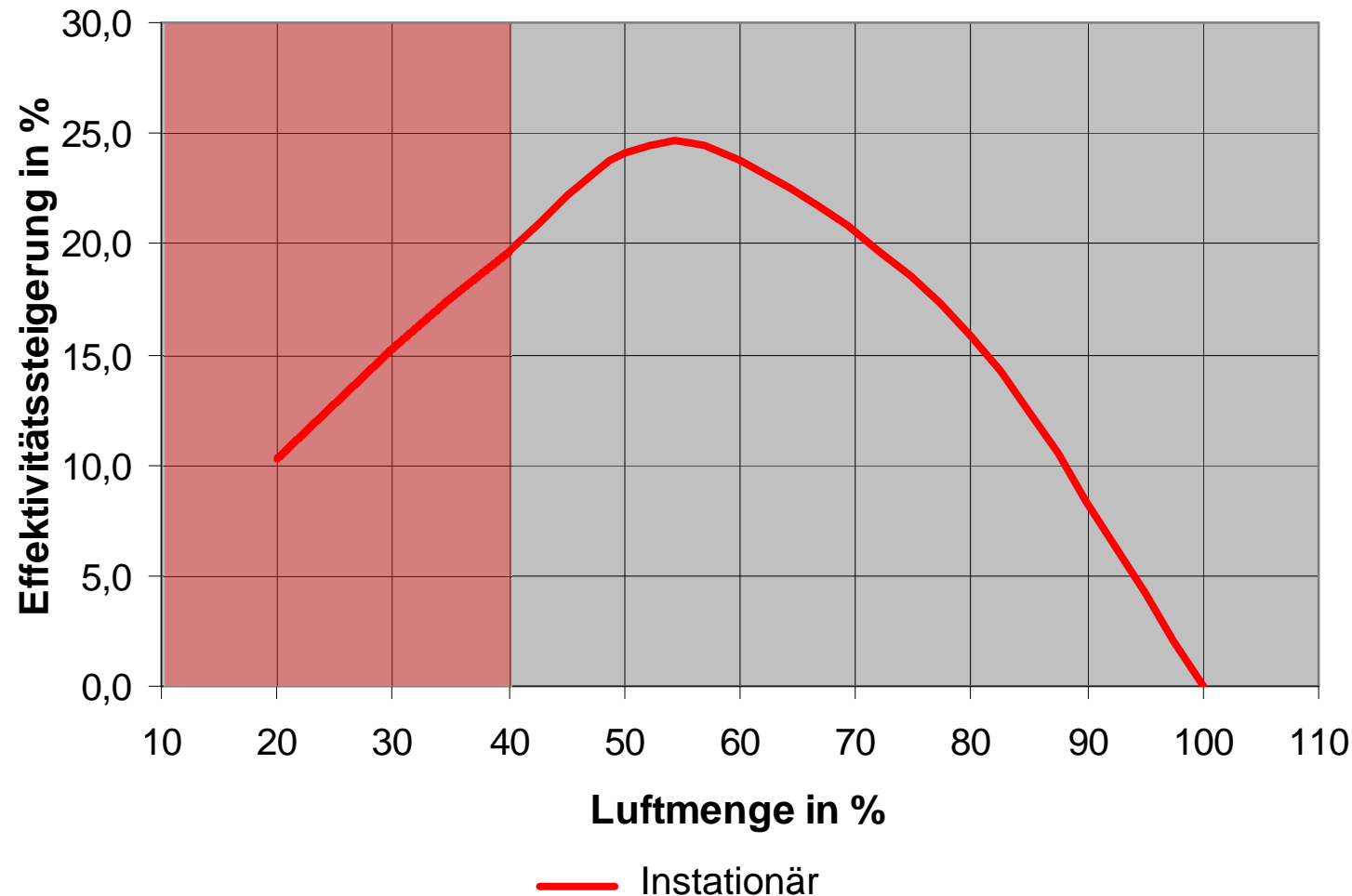
Vergleich Tracer CO₂ horizontal LWZ = 1



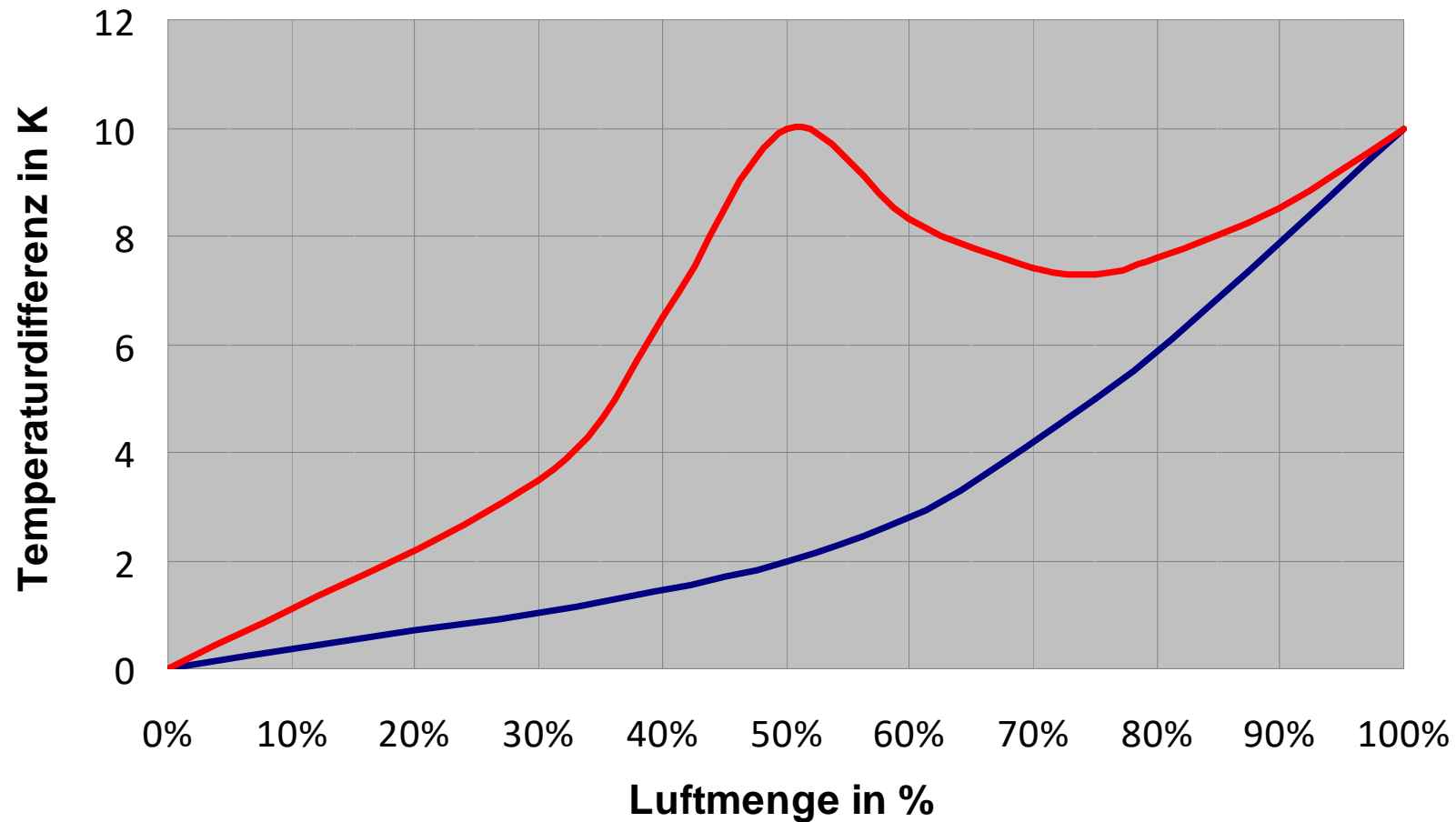
Konzentrationsänderung des CO₂-Tracerstoffs



Effektive Luftmengen im Vergleich

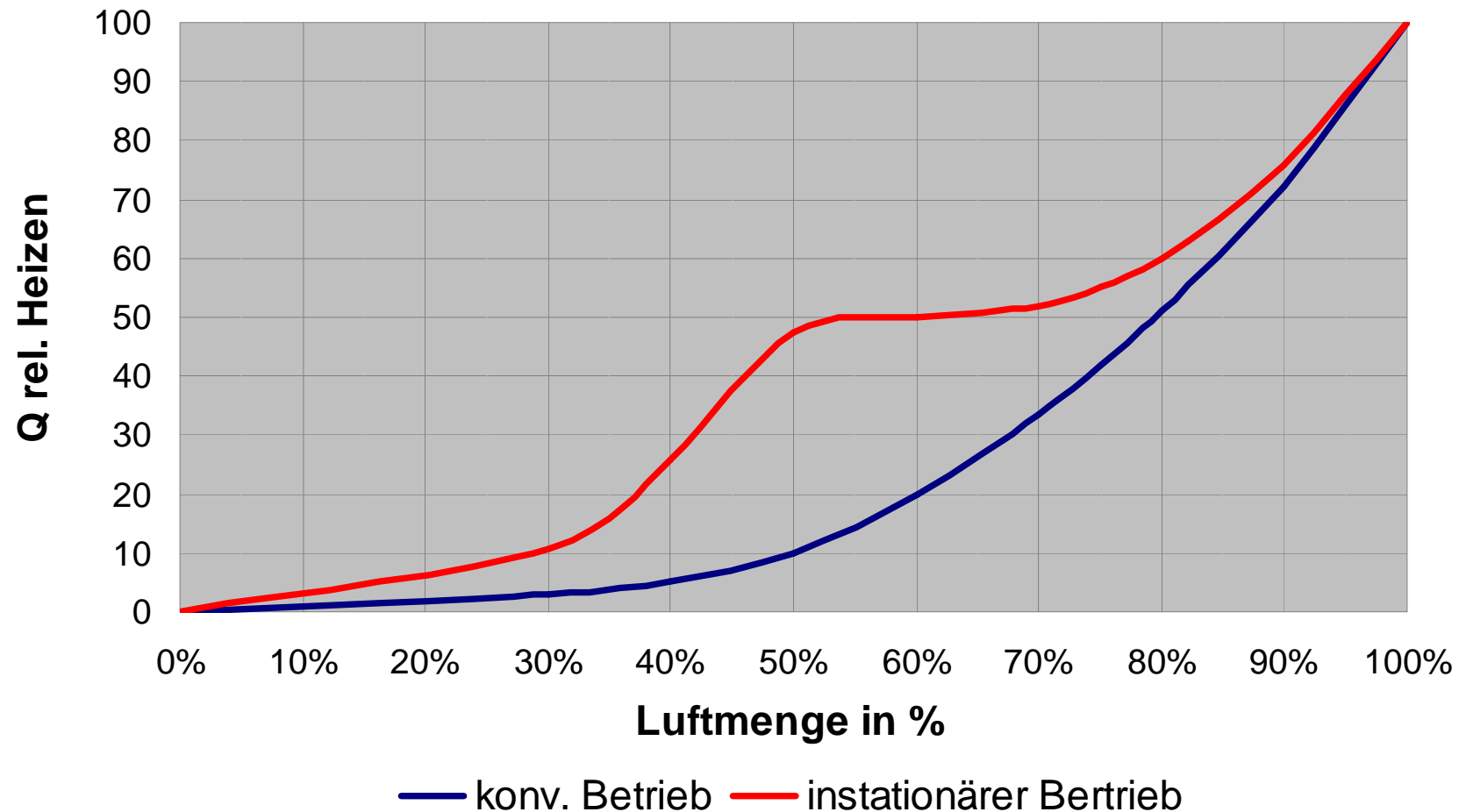


Effektivitätssteigerung zur konventionellen Lüftung



— konv. Betrieb — Instationärer Betrieb

Temperaturübertragung im Heizfall mit Drallauslaß (6 m Höhe)



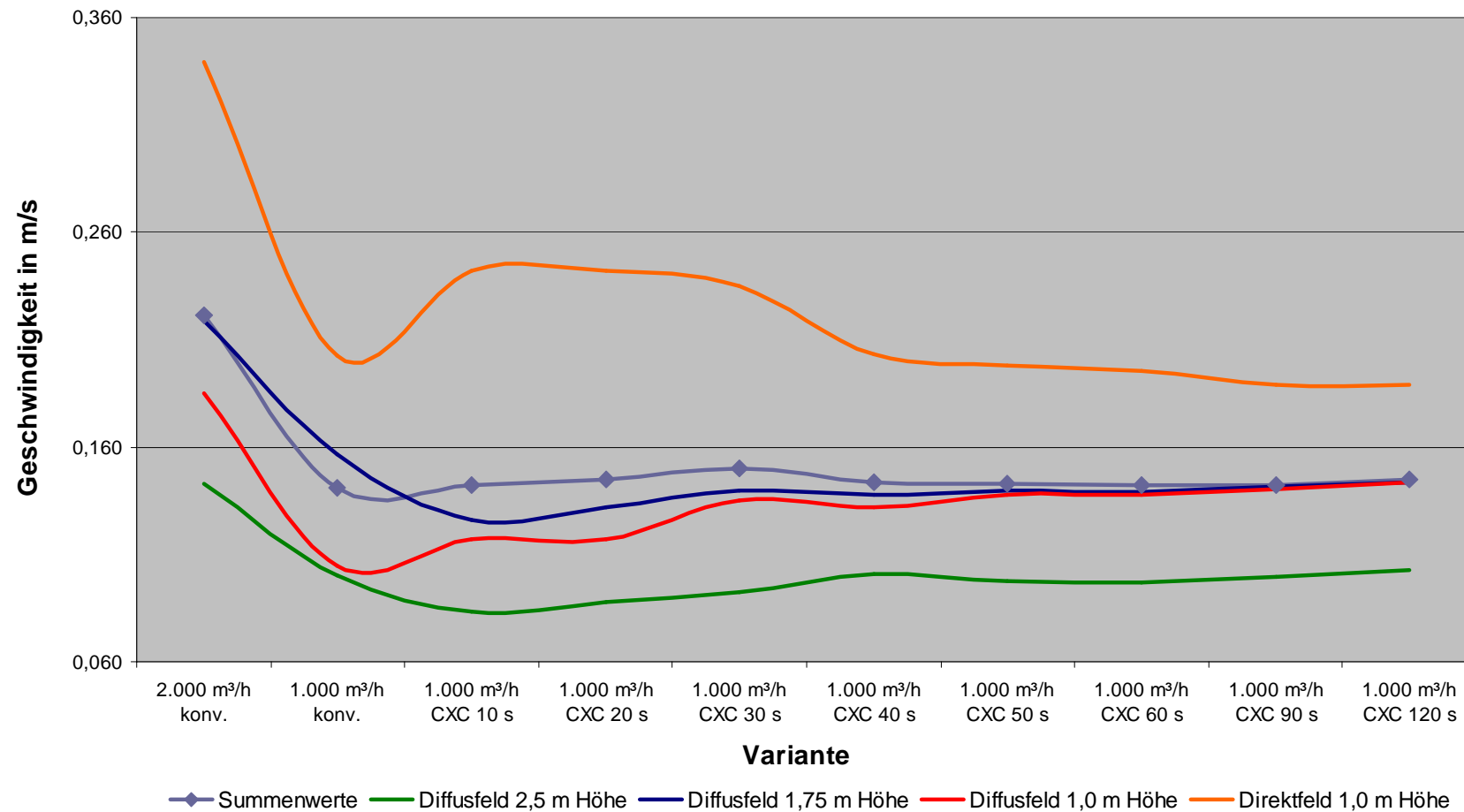
Relative Leistung im Heizfall mit Drallauslaß (6 m Höhe)

- Umluftanlage (isotherm) mit:
 - Luftmenge 2.000 m³/h
 - LWZ = 4,3
 - 2 Zuluftstränge mit Auslassgittern
- Vergleich:
 - Konventionelle Lüftung
 - Instationäre (intermittierende) Lüftung im Teillastbetrieb
 - variable Zyklen



Messaufbau $V = 2.000 \text{ m}^3/\text{h}$ (Mischlüftung $LW = 4$)

Luftgeschwindigkeit im Raum



Messung der Luftgeschwindigkeiten im Raum

$$Tu = \frac{s_v}{\bar{v}}$$

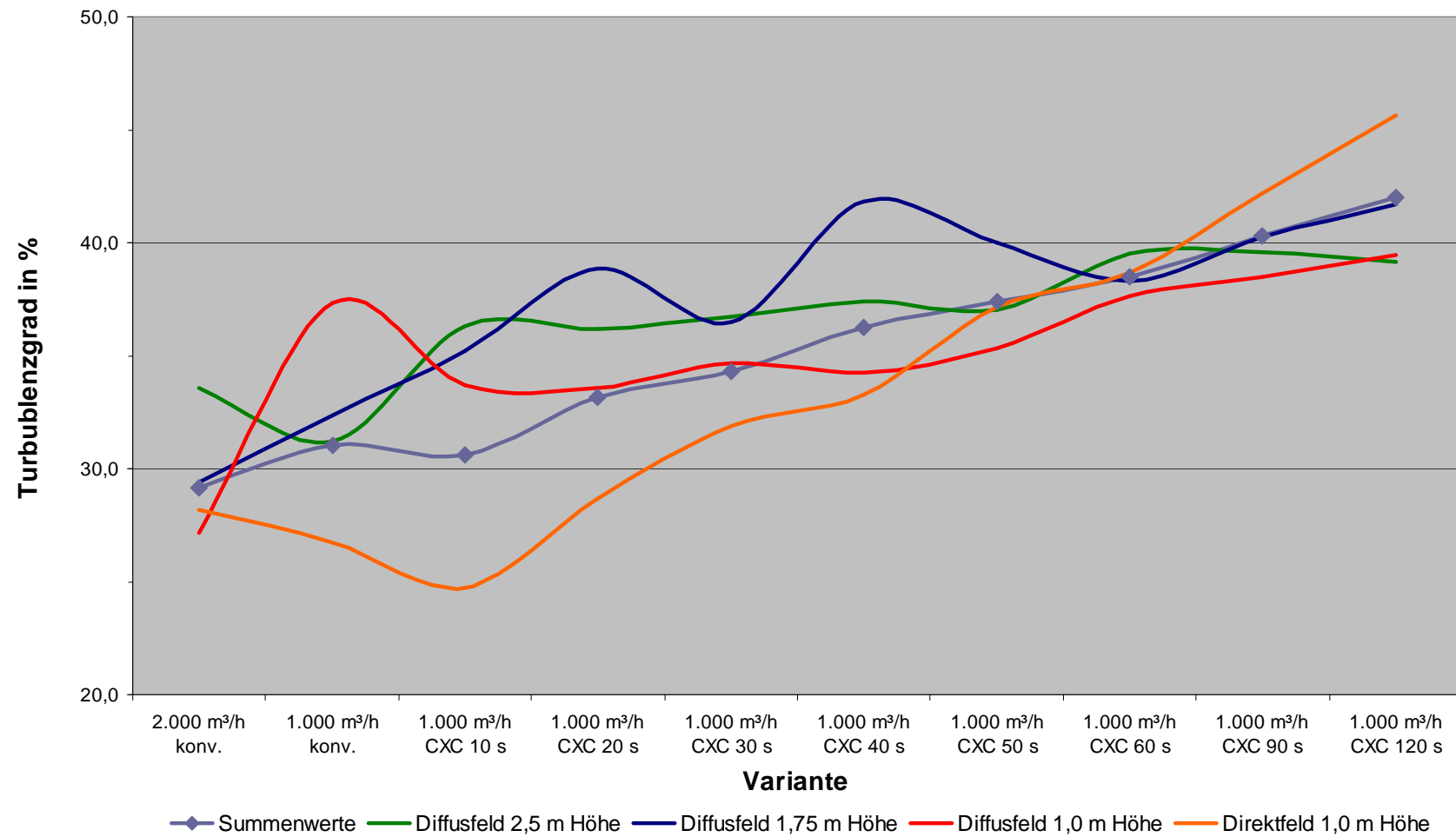
Turbulenzgrad mit der Standardabweichung

$$s_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}$$

Zugluftrisiko (Draught Rating) nach Fanger

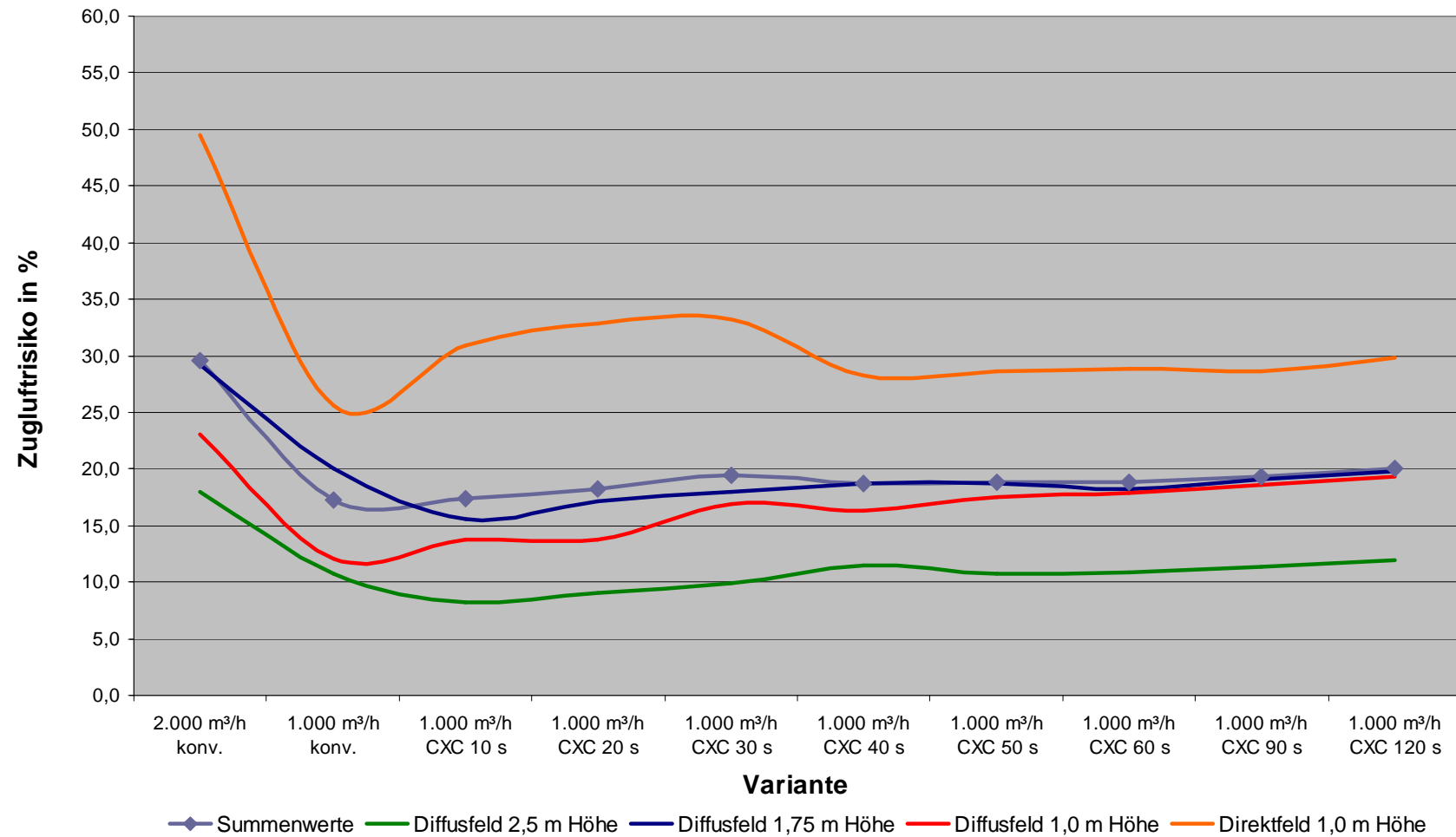
$$DR = (34 - \varrho_L) \cdot (\bar{v} - 0.05)^{0.62} \cdot (0.37 \cdot \bar{v} \cdot Tu + 3,14)$$

Turbulenzgrad



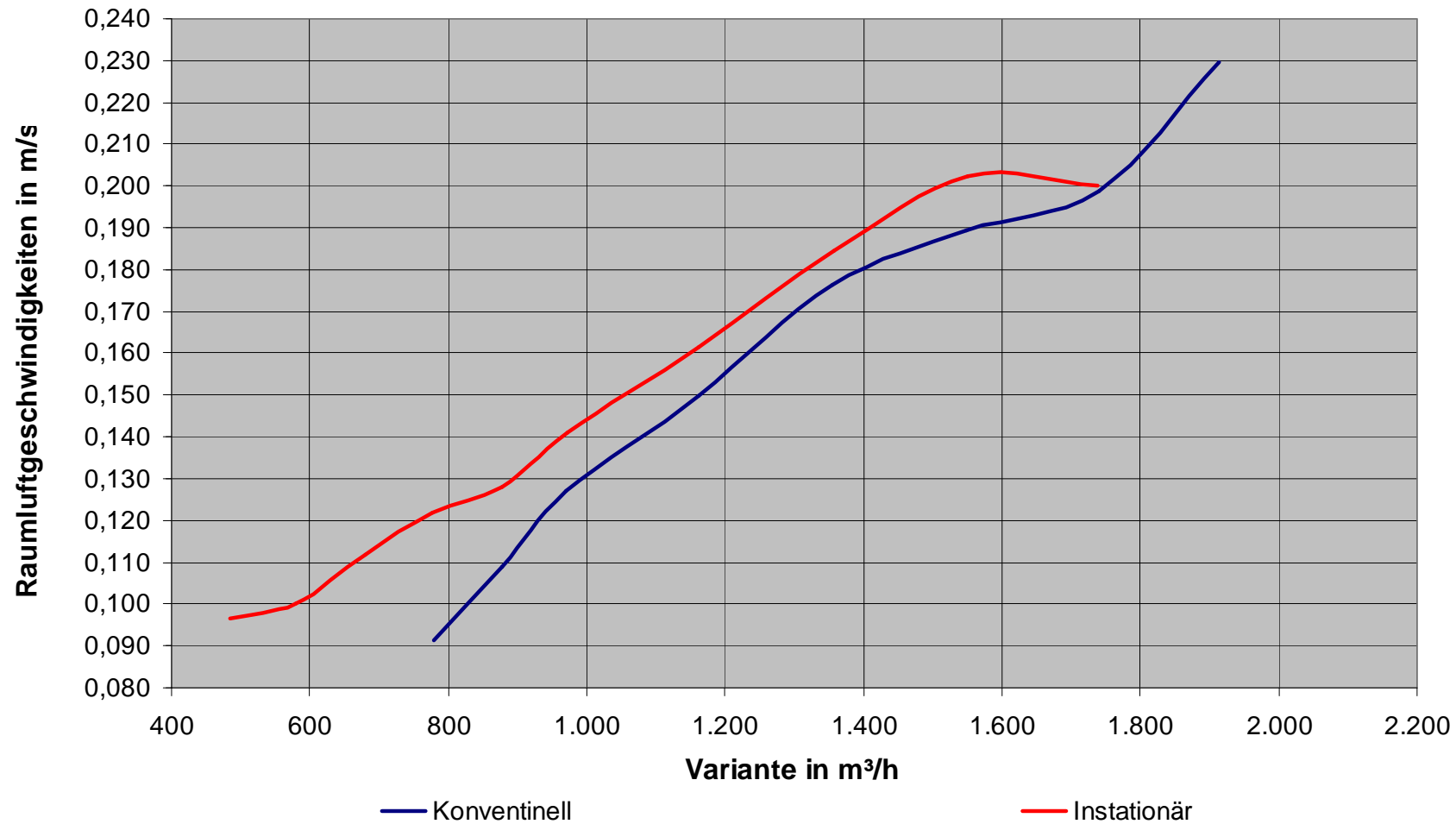
Messung der Turbulenzgrade im Raum

Zugluftrisiko (Anteil unzufriedener Personen)



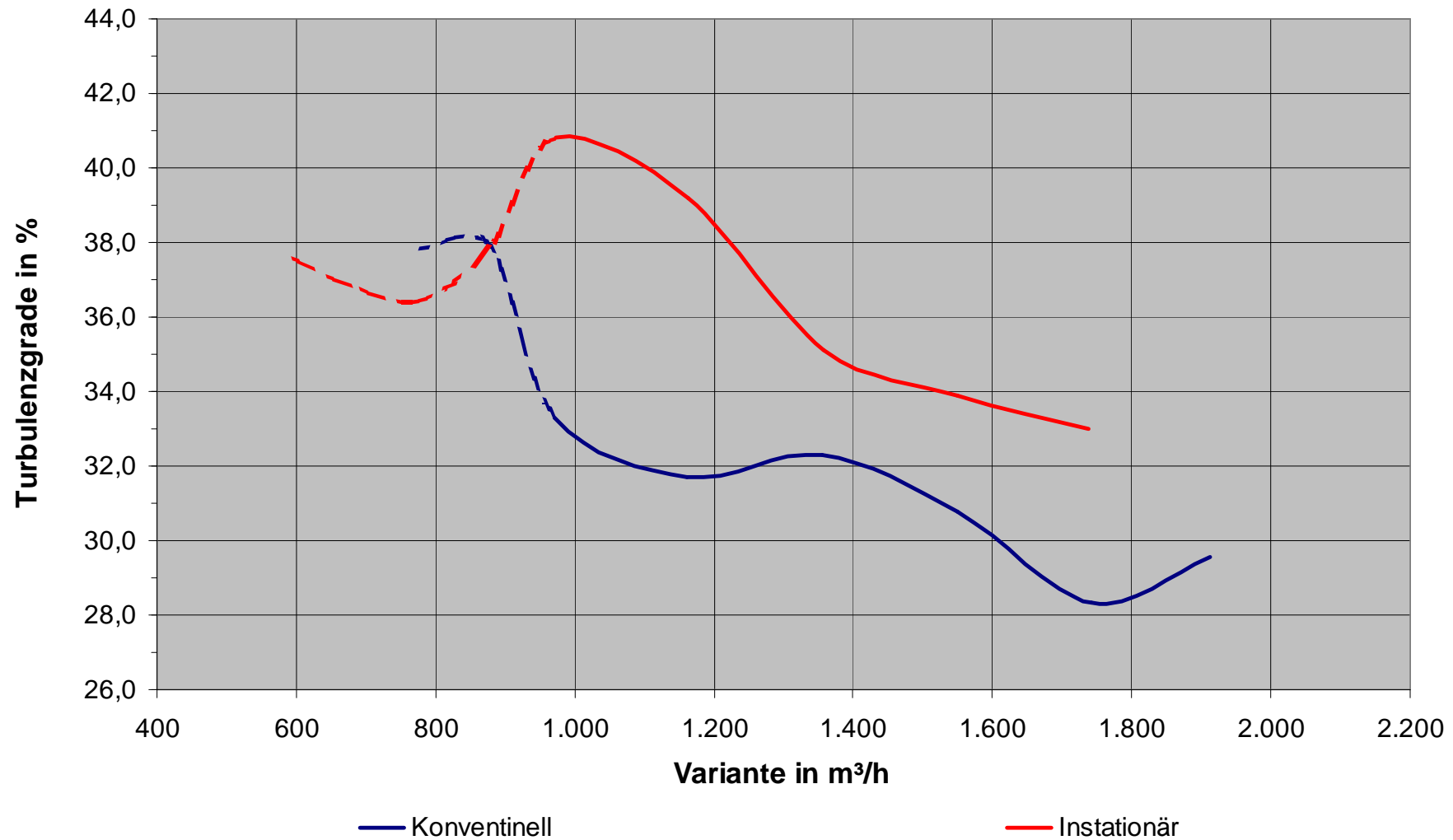
Messung der Zugluftrisikos (DR) im Raum

Luftgeschwindigkeiten



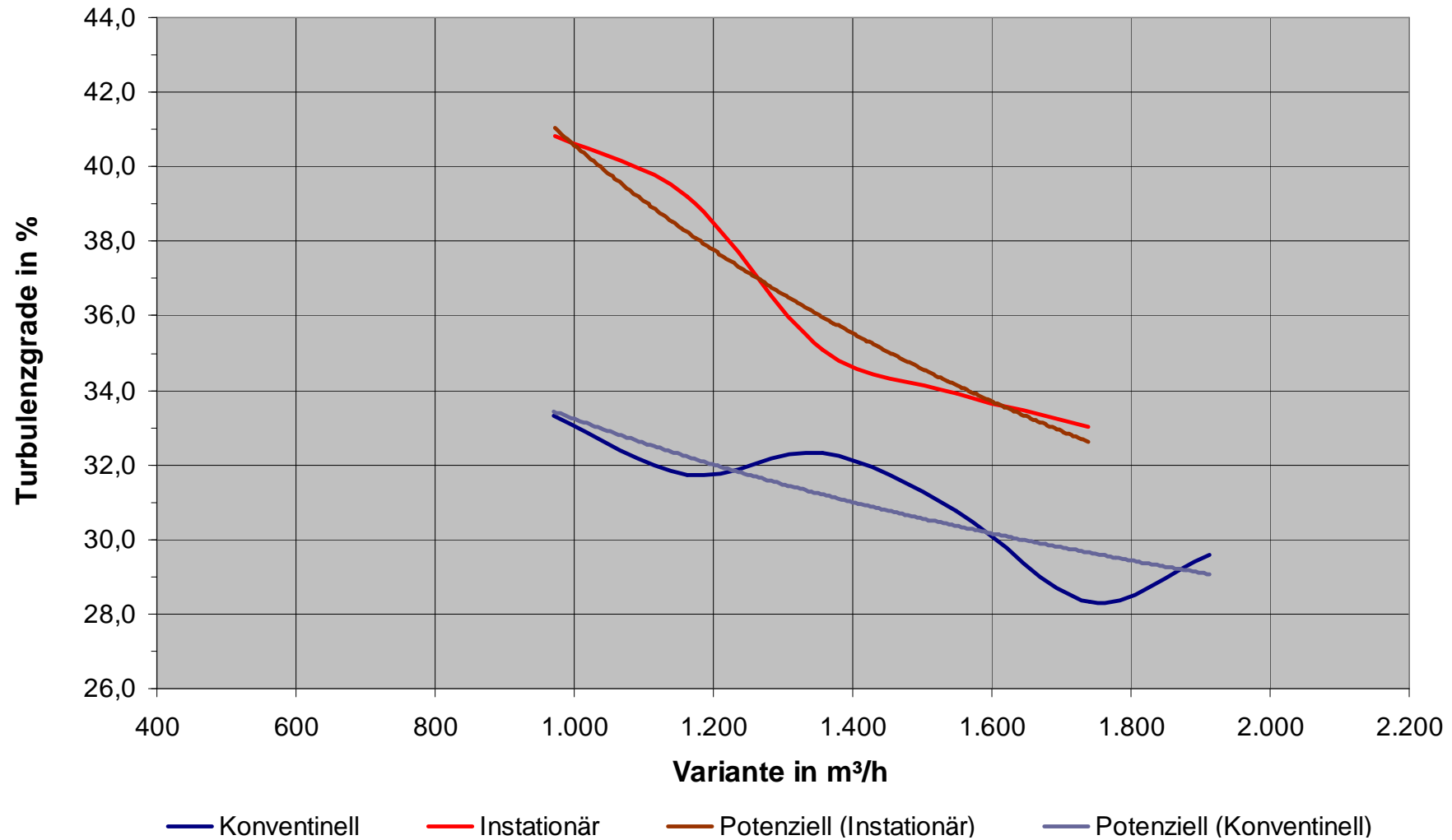
Raumluftgeschwindigkeiten zum Volumenstrom

Turbulenzgrad



Lokaler Turbulenzgrad zum Volumenstrom

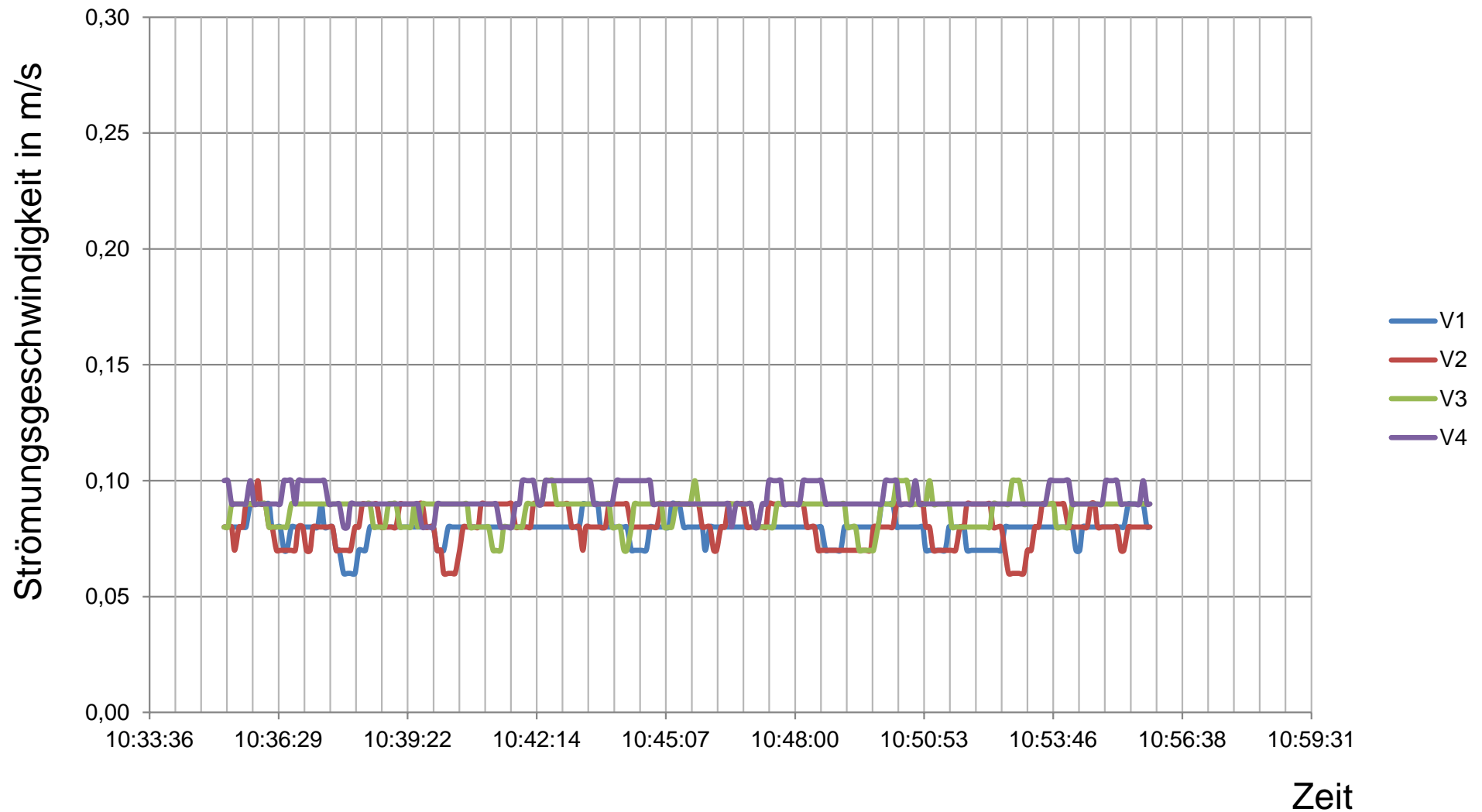
Turbulenzgrad



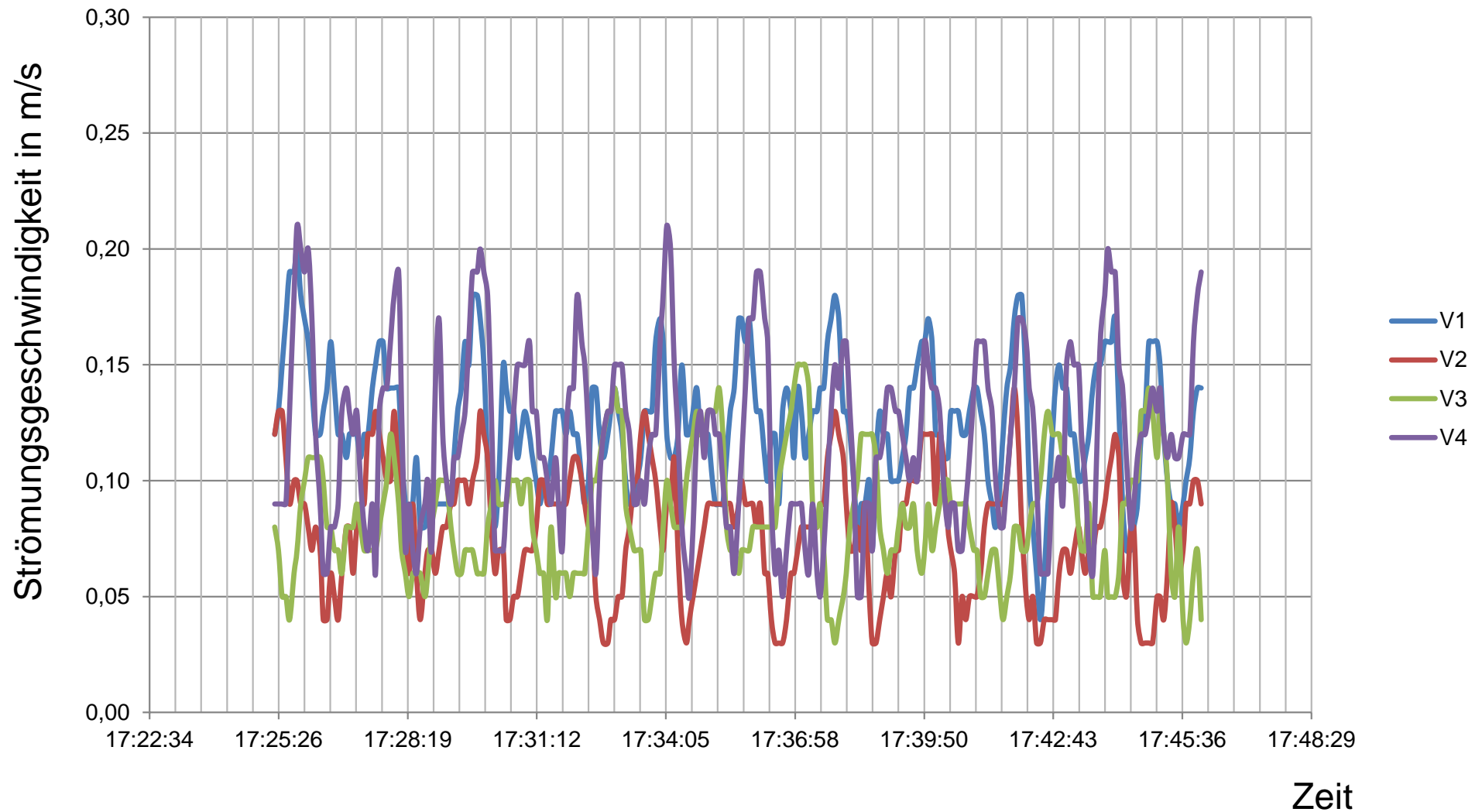
Lokaler Turbulenzgrad zum Volumenstrom

- Zu- und Abluftanlage im Heizbetrieb:
 - Luftmenge 10.300 m³/h (100 %) bei 19°C
 - Volumen der Halle 12.580 m³ bei 15°C
 - LWZ = 0,82
 - 2 Zuluftstränge mit Weitwurfdüsen
 - Abluft konventionell
- Vergleich:
 - Konventionelle Lüftung
 - Instationäre (intermittierende) Lüftung im Voll- und Teillastbetrieb (Zyklus 1 Minute) bei 100, 80, 60 und 40 % der Nennmenge





Geschwindigkeit (konventionelle Raumströmung) bei 80 % Menge



Geschwindigkeit (instationäre Raumströmung) bei 80 % Menge

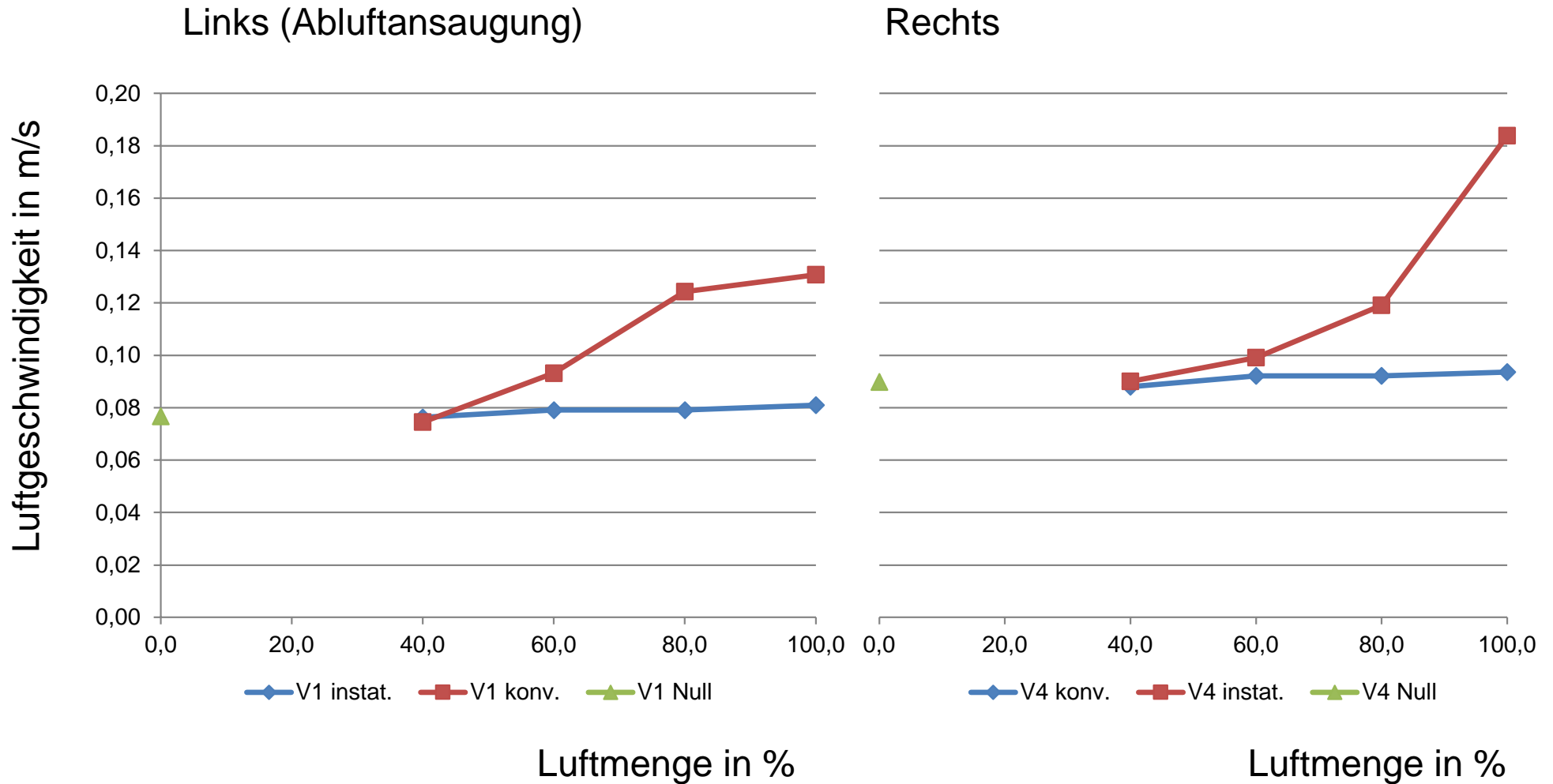
$$Tu = \frac{s_v}{\bar{v}}$$

Turbulenzgrad mit der Standardabweichung

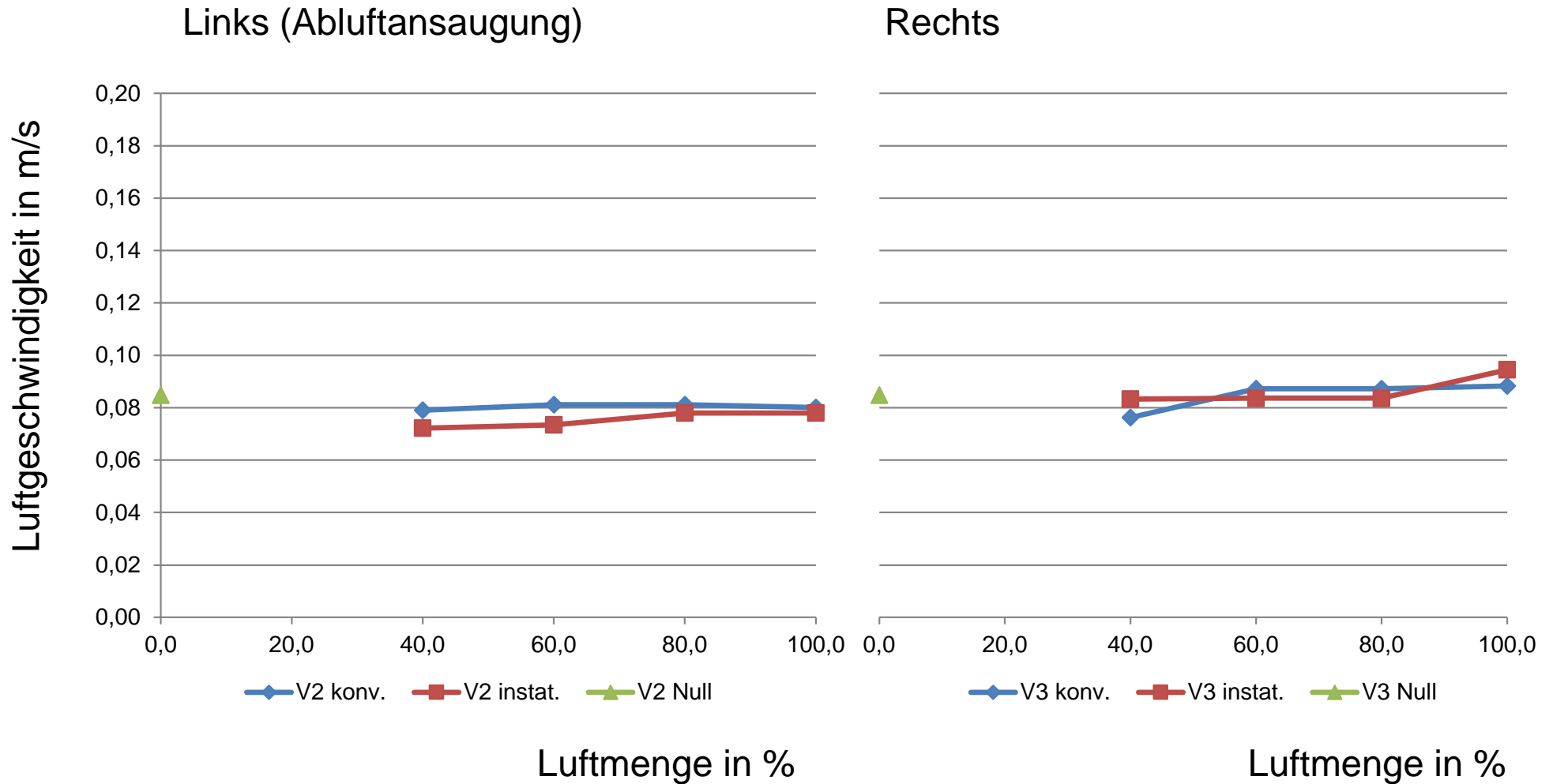
$$s_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}$$

Zugluftrisiko (Draught Rating) nach Fanger

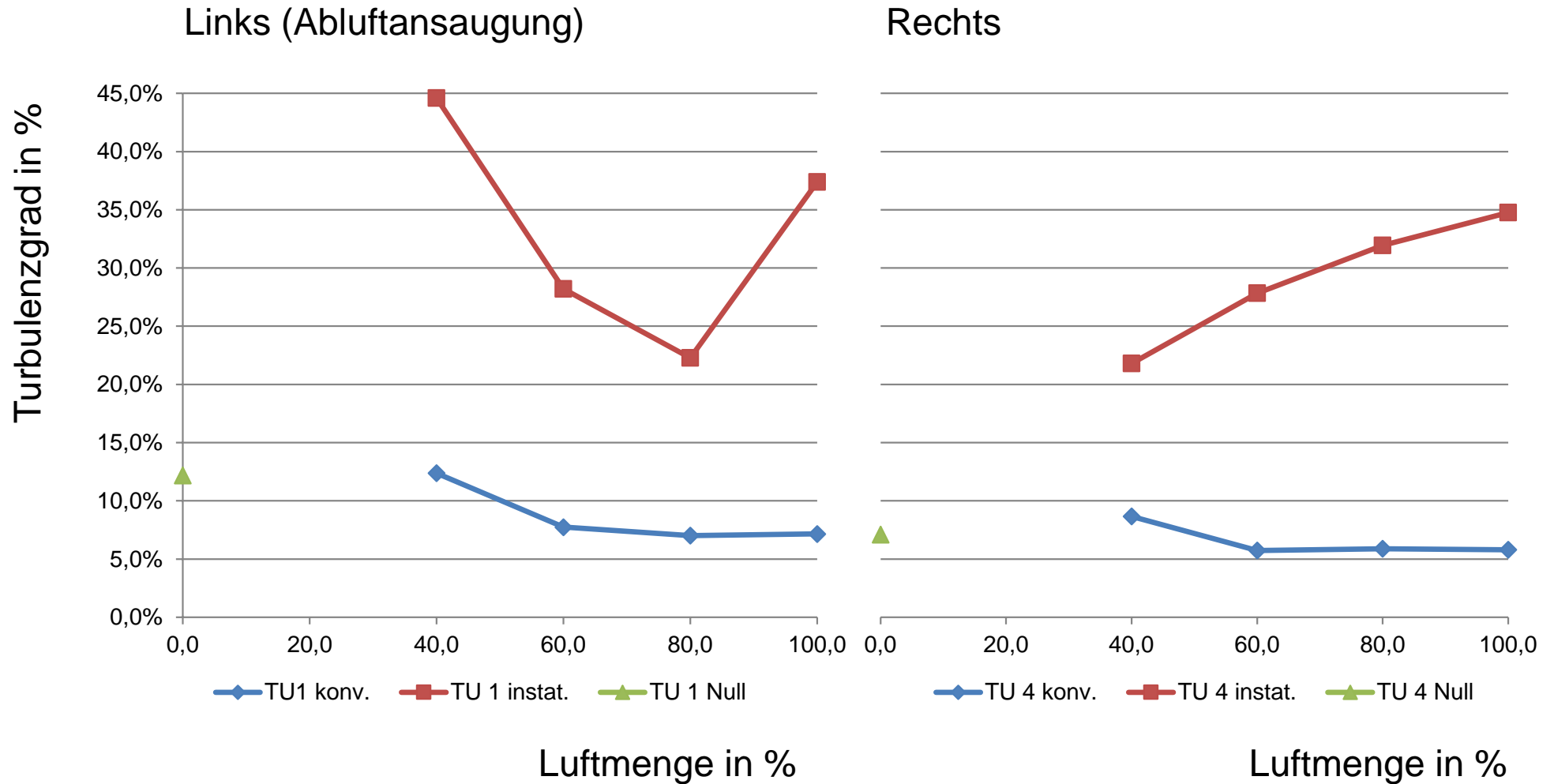
$$DR = (34 - \varrho_L) \cdot (\bar{v} - 0.05)^{0.62} \cdot (0.37 \cdot \bar{v} \cdot Tu + 3,14)$$



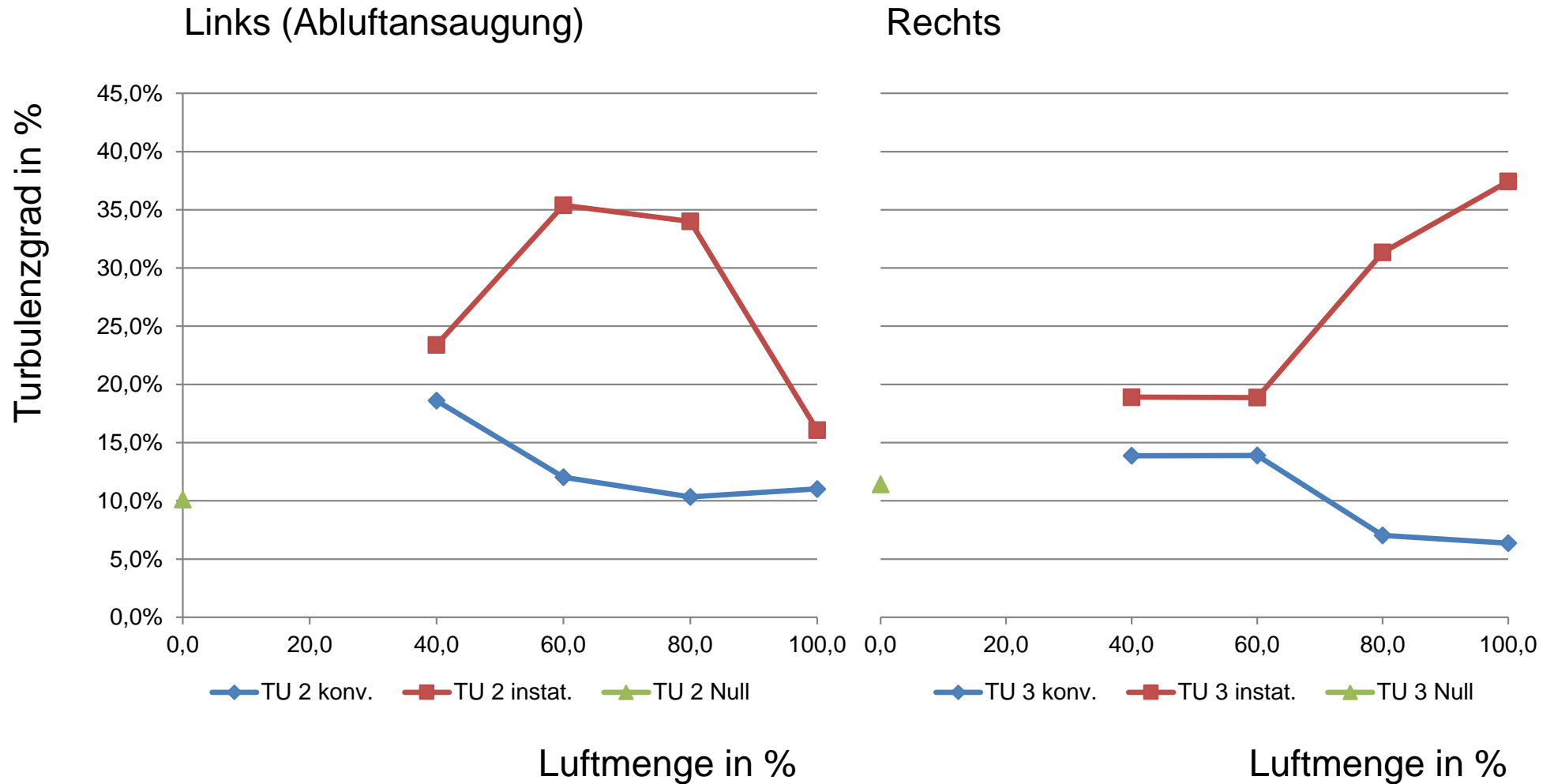
Mittlere Luftgeschwindigkeiten im Vergleich (Fensterfront)



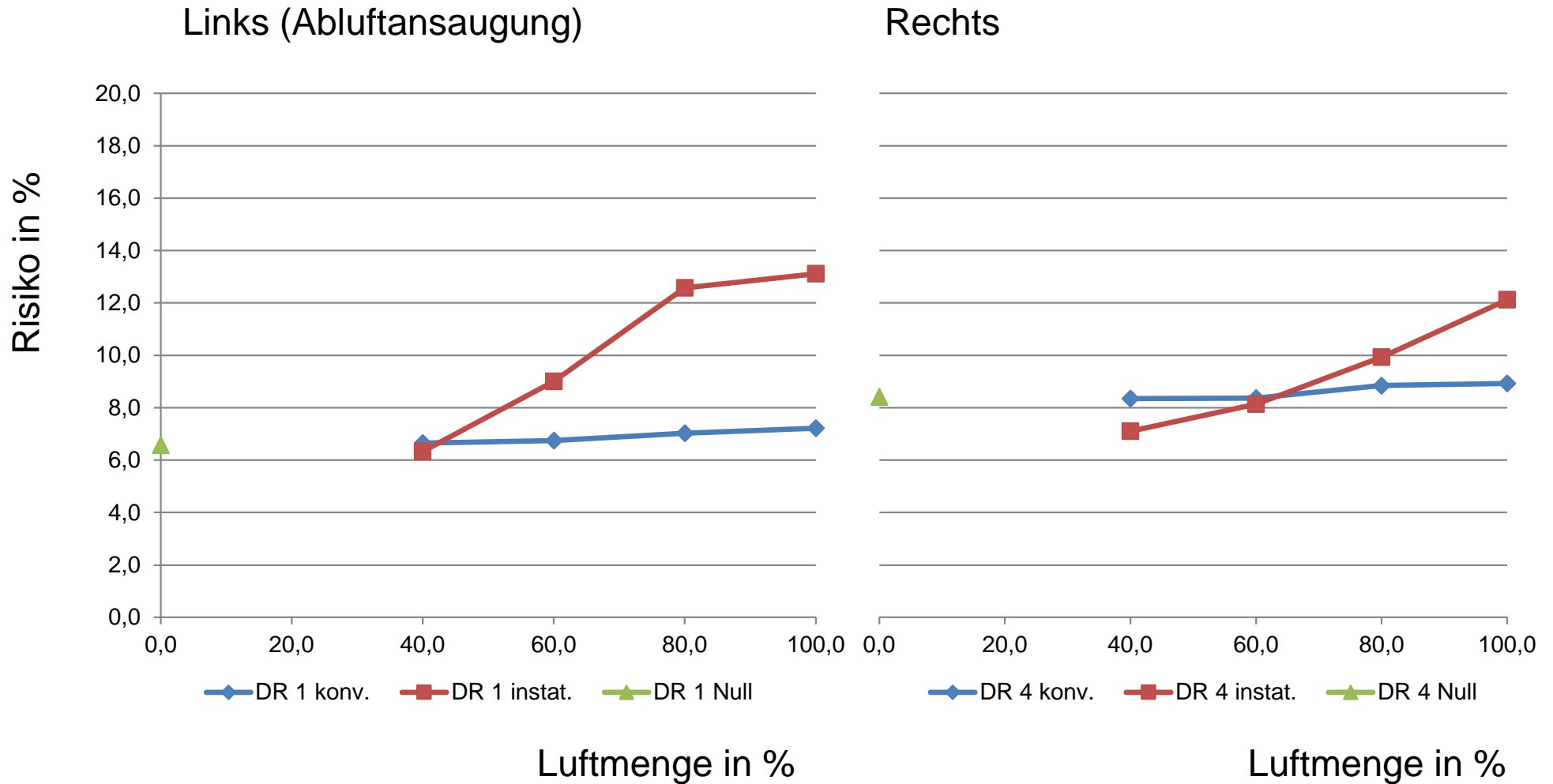
Mittlere Luftgeschwindigkeiten im Vergleich (Tribüne)



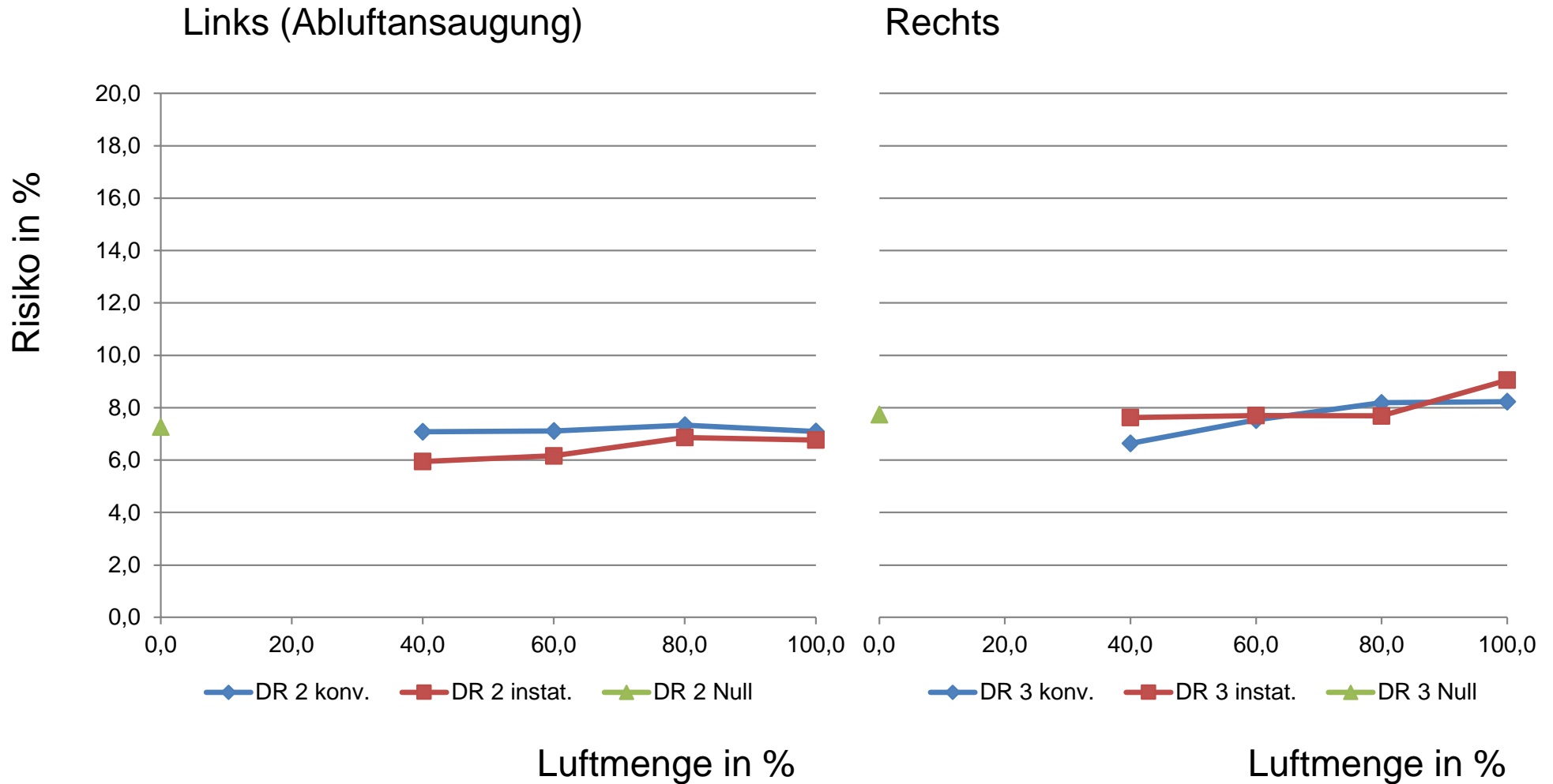
Turbulenzgrade im Vergleich (Fensterfront)



Turbulenzgrade im Vergleich (Tribüne)

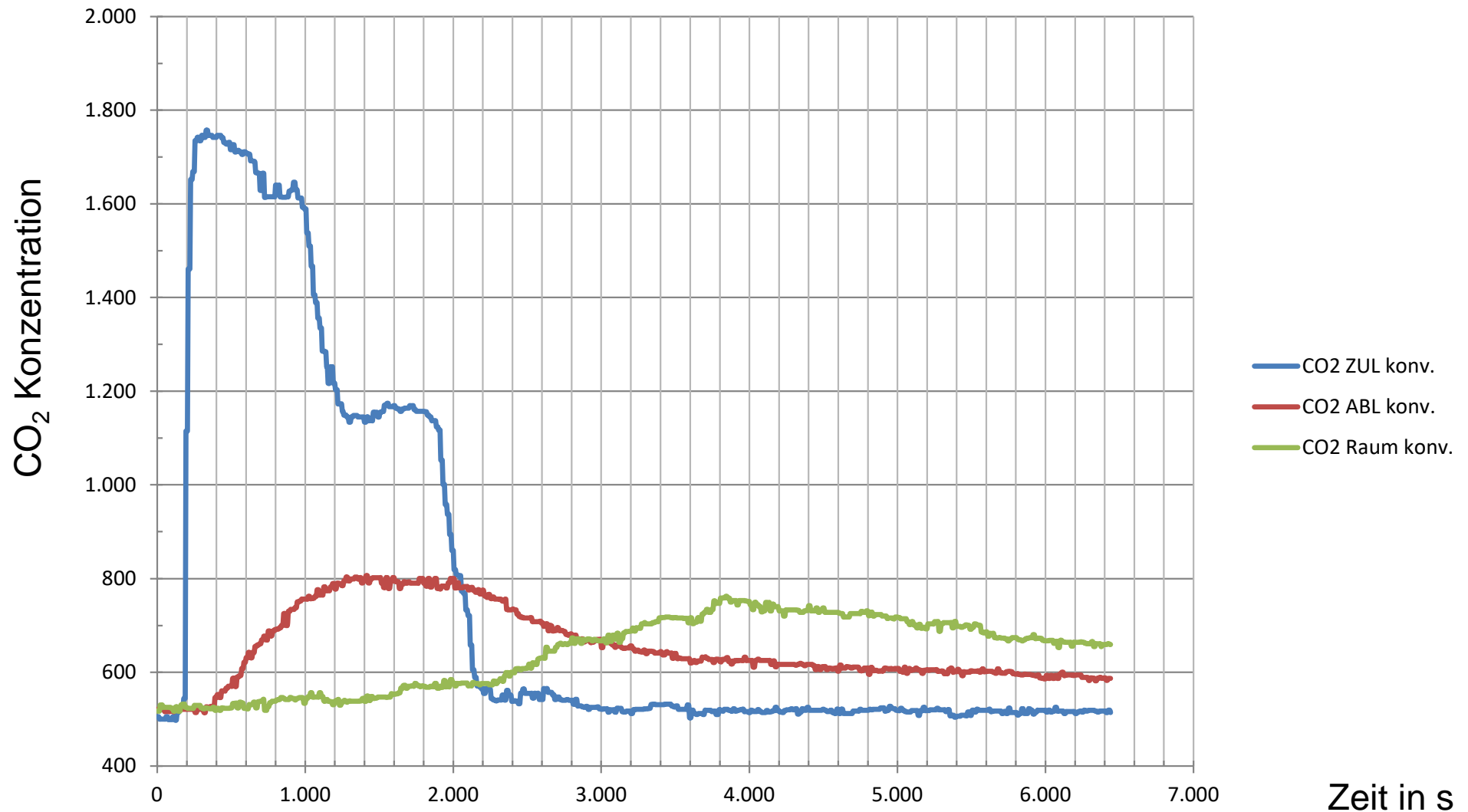


Zugluftrisiko im Vergleich (Fensterfront)

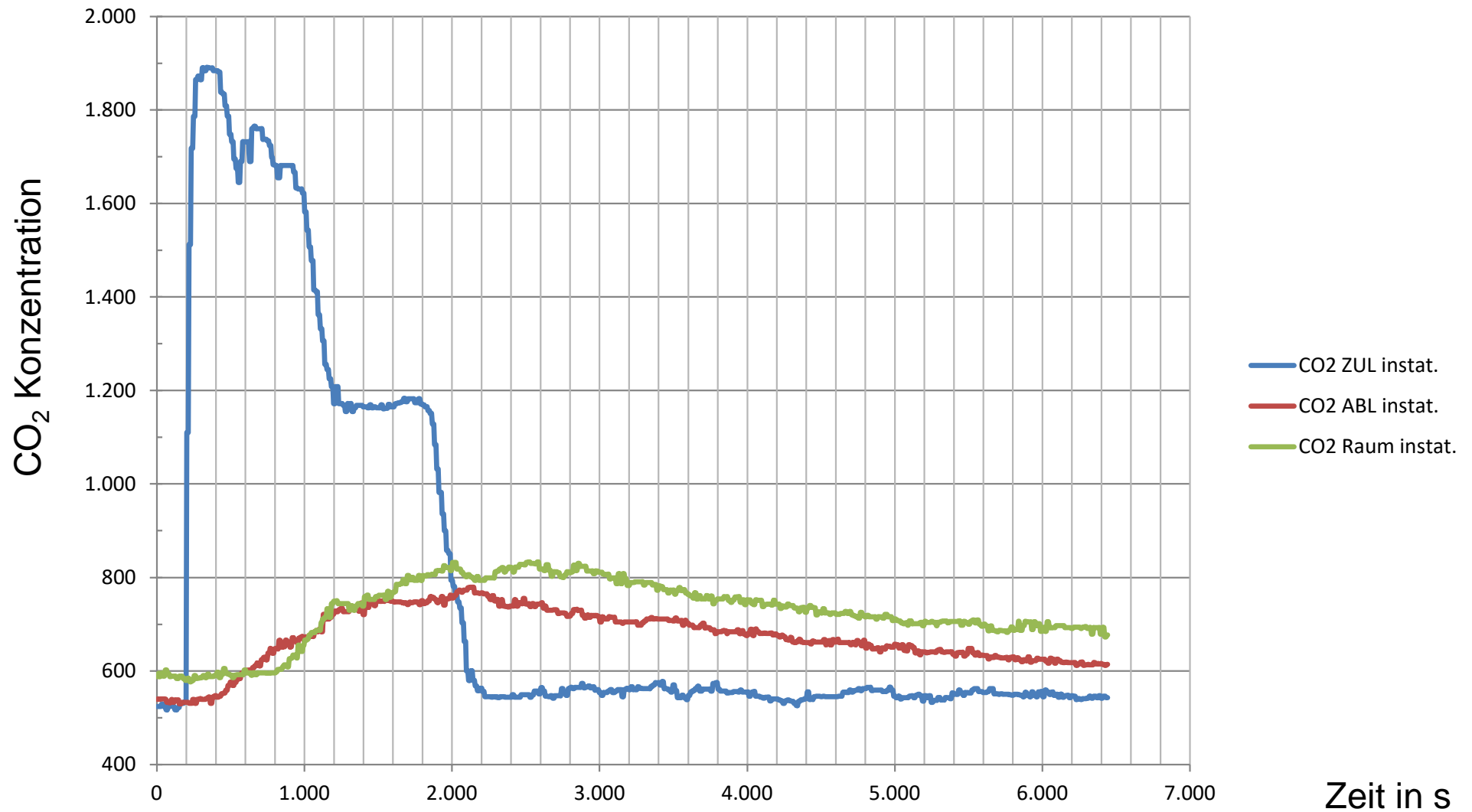


Zugluftrisiko im Vergleich (Tribüne)

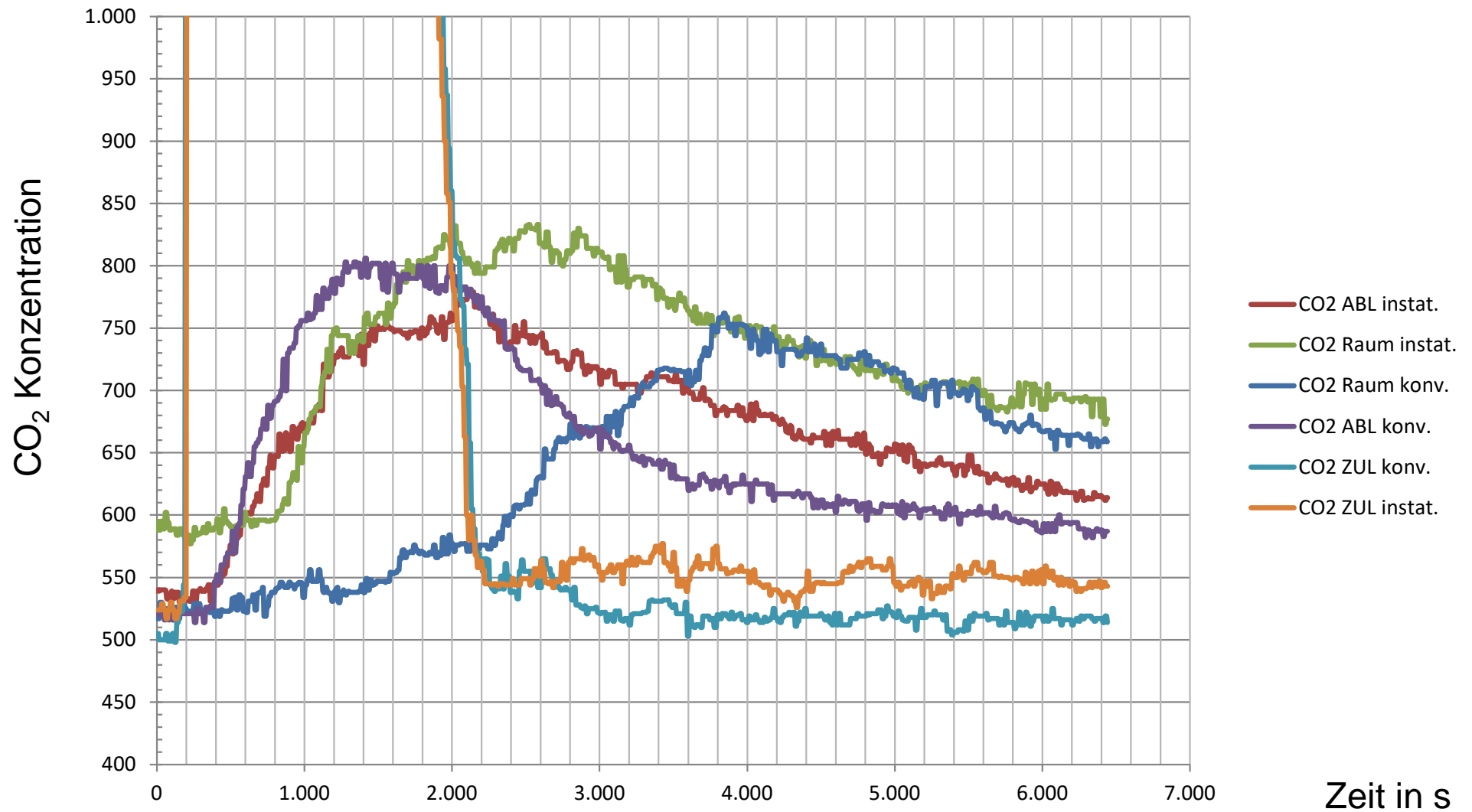
- Zu- und Abluftanlage im Heizbetrieb:
 - Luftmenge 10.300 m³/h (100 %) bei 19 °C
 - Volumen der Halle 12.580 m³ bei 15 °C
 - LWZ = 0,82
 - 2 Zuluftstränge mit Weitwurfdüsen
 - Abluft konventionell
 - CO₂ Injektion über 30 Minuten
- Vergleich:
 - Konventionelle Lüftung
 - Instationäre (intermittierende) Lüftung im Vollastbetrieb (Zyklus 1 Minute)



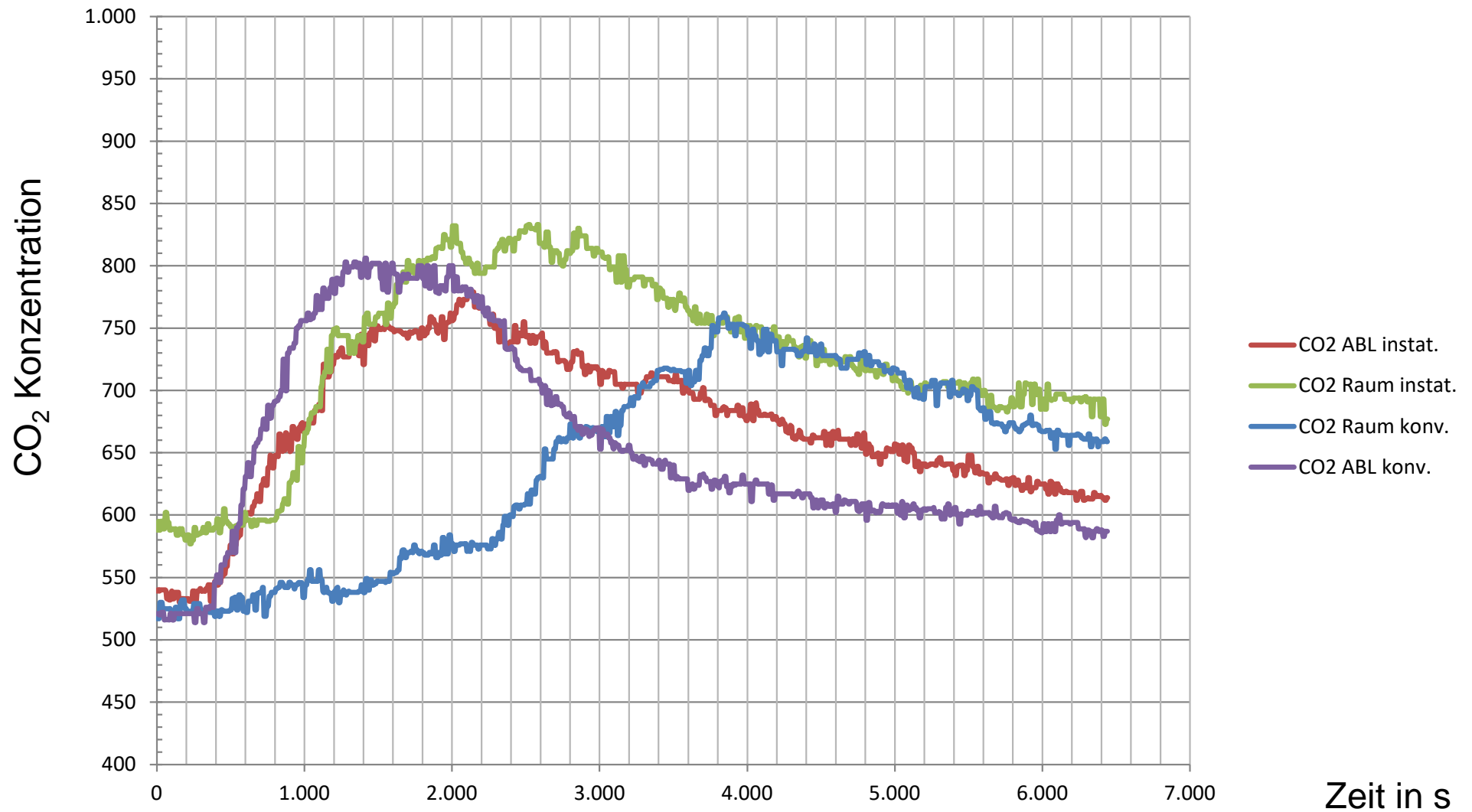
CO₂ Injektion (konventionelle Lüftung)



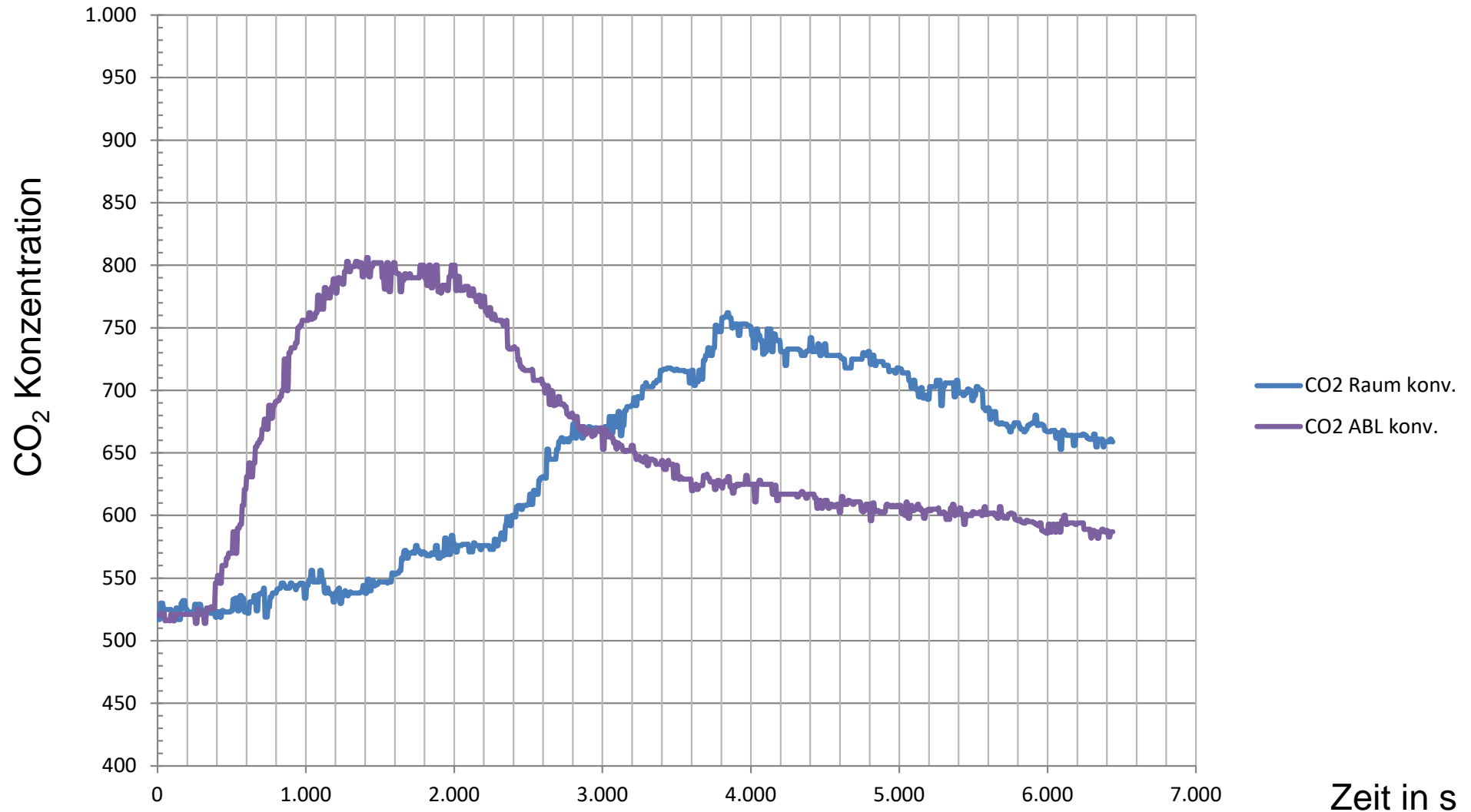
CO₂ Injektion (instationäre Lüftung)



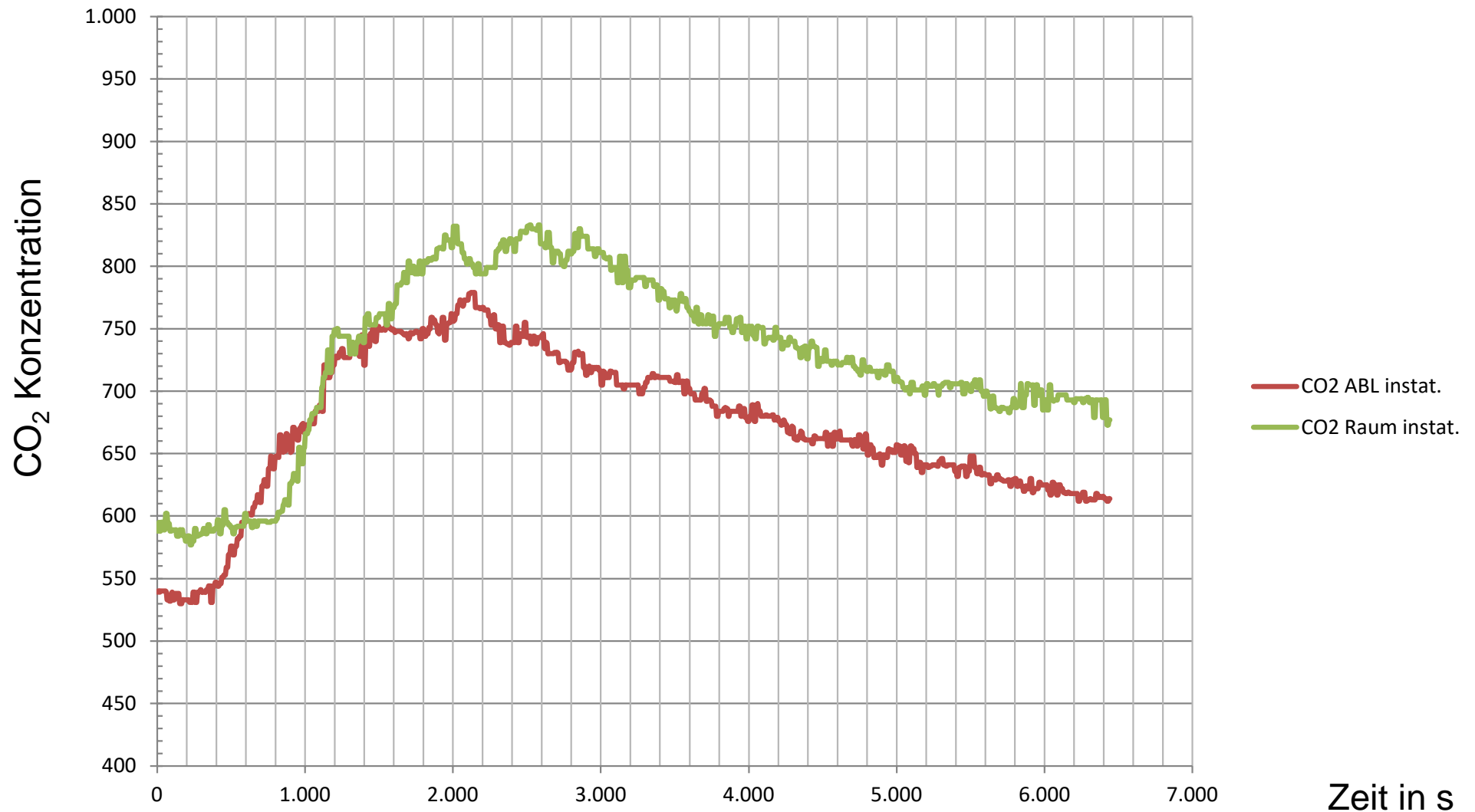
CO₂ Injektion (Versuch im Vergleich)



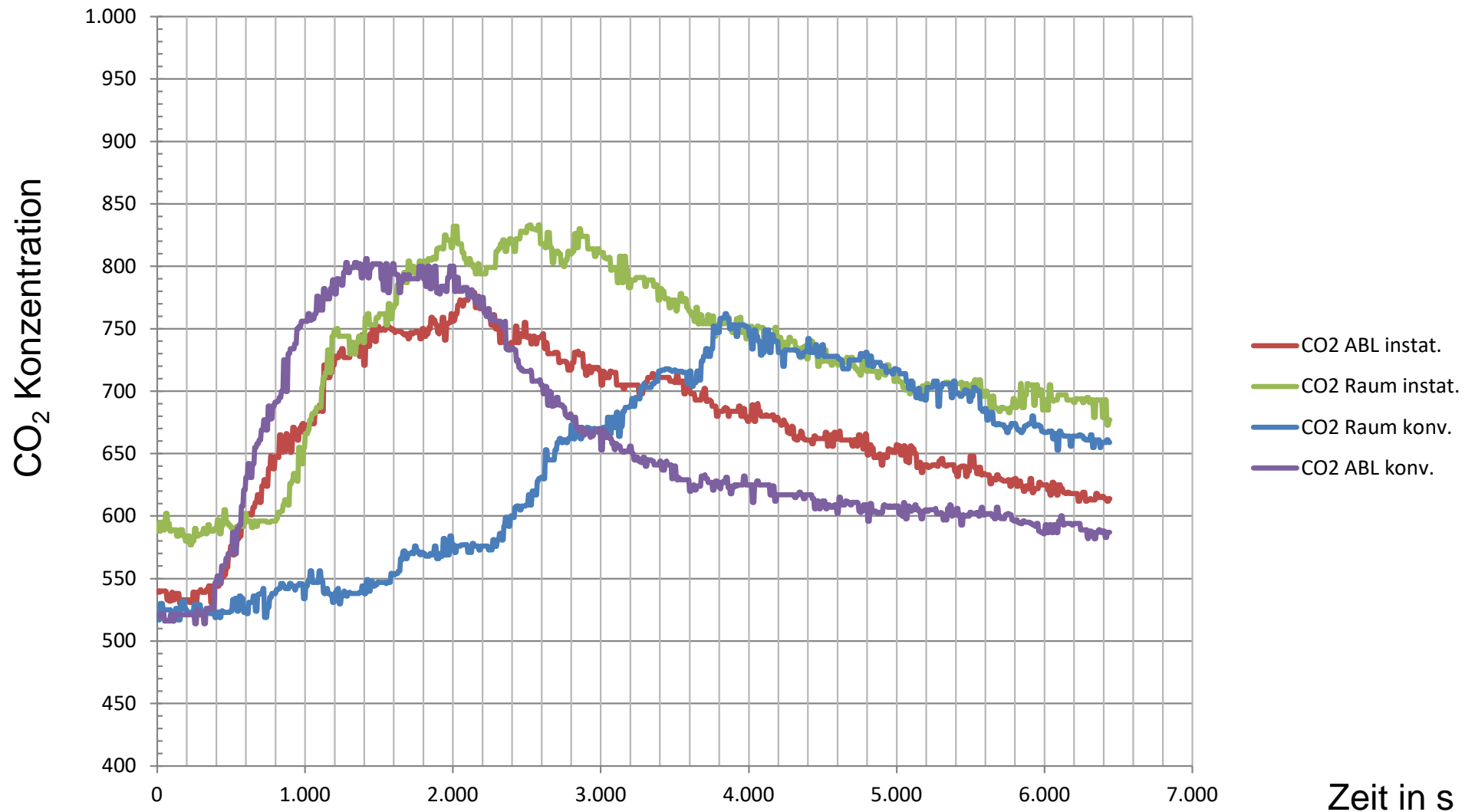
CO₂ Injektion (Versuch im Vergleich)



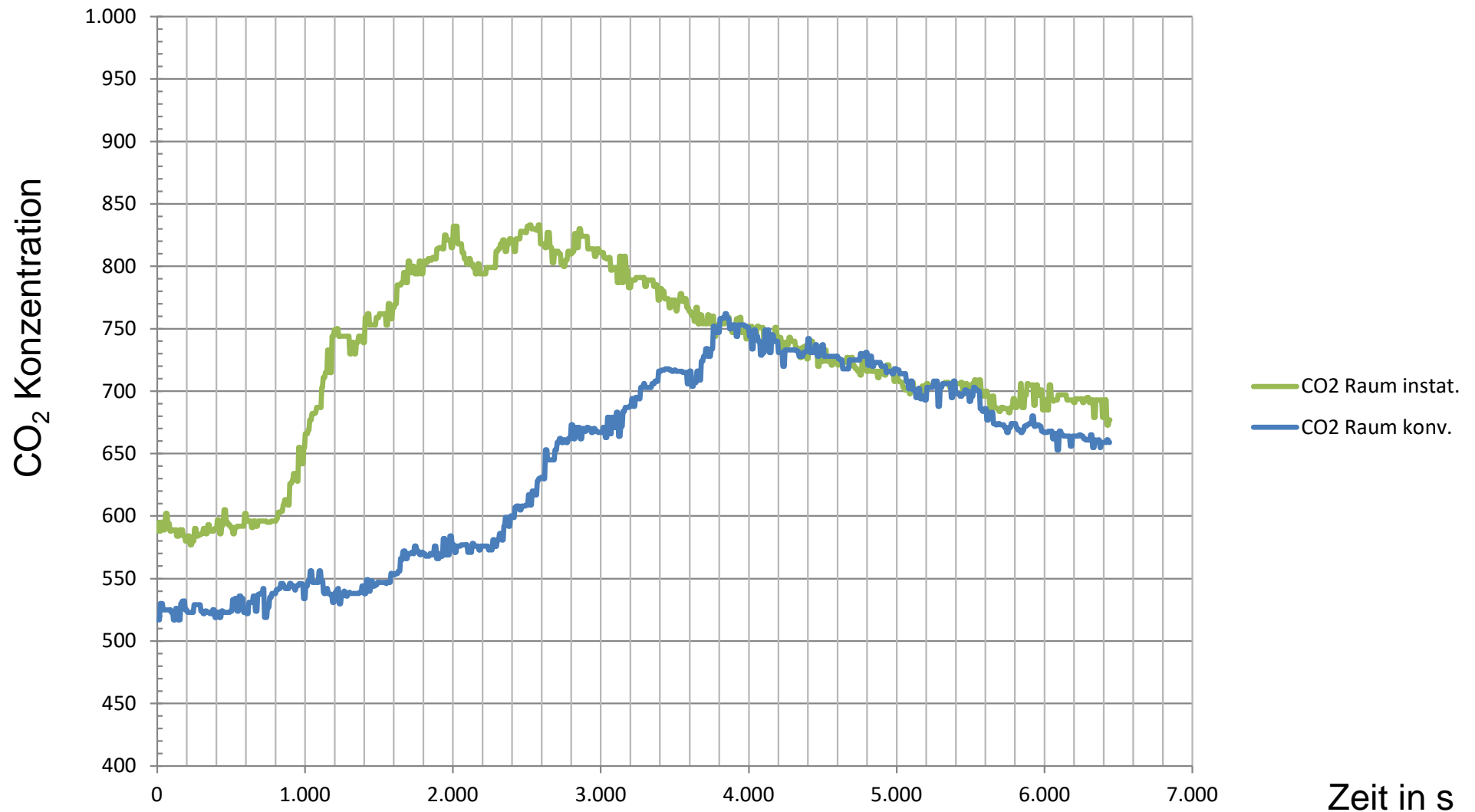
CO₂ Zeitverhalten (konventionelle RLT – Abluft zum Raum)



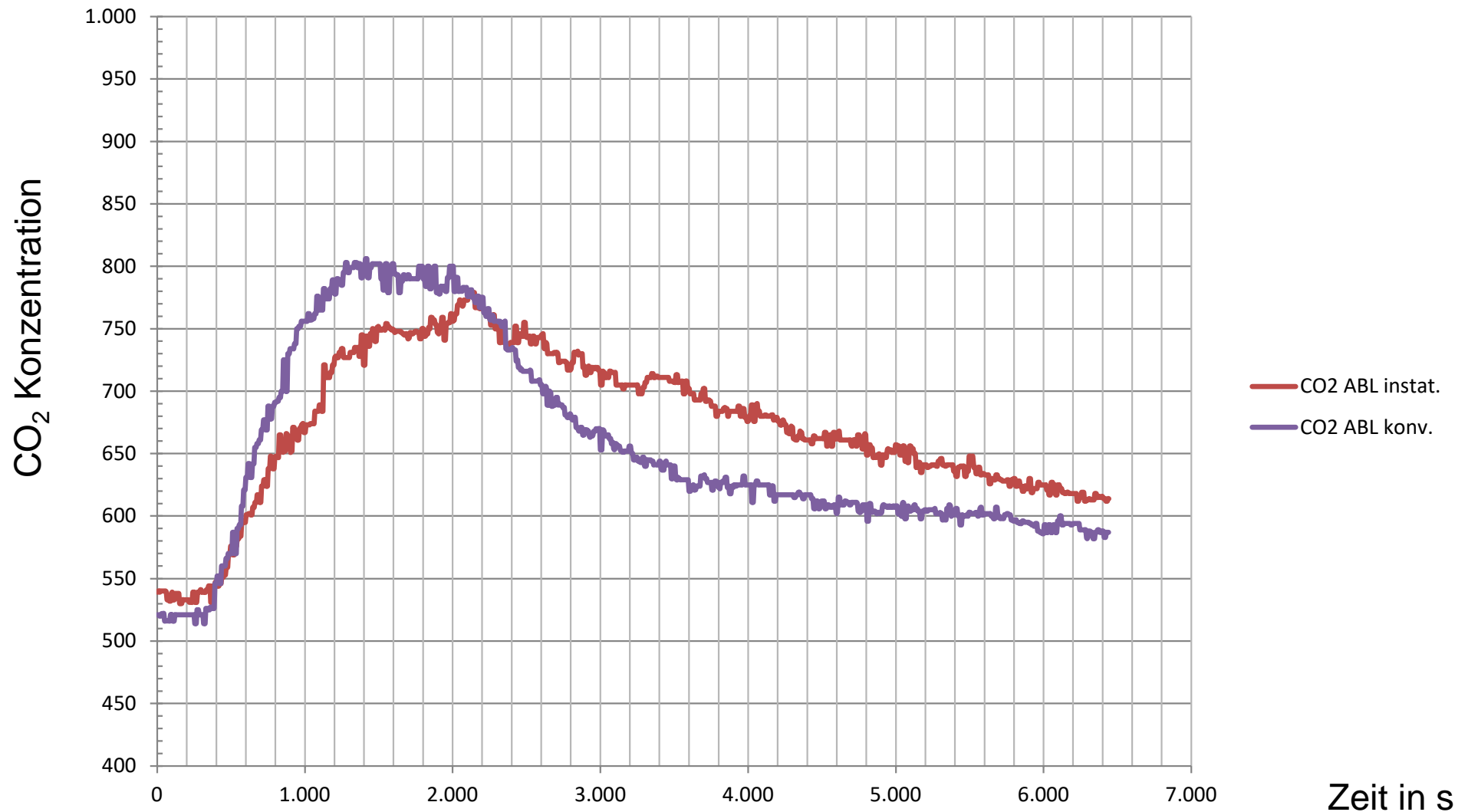
CO₂ Zeitverhalten (Instationäre RLT – Abluft zum Raum)



CO₂ Zeitverhalten (Versuch im Vergleich)



CO₂ Zeitverhalten (Versuch im Vergleich - Raumkonzentration)



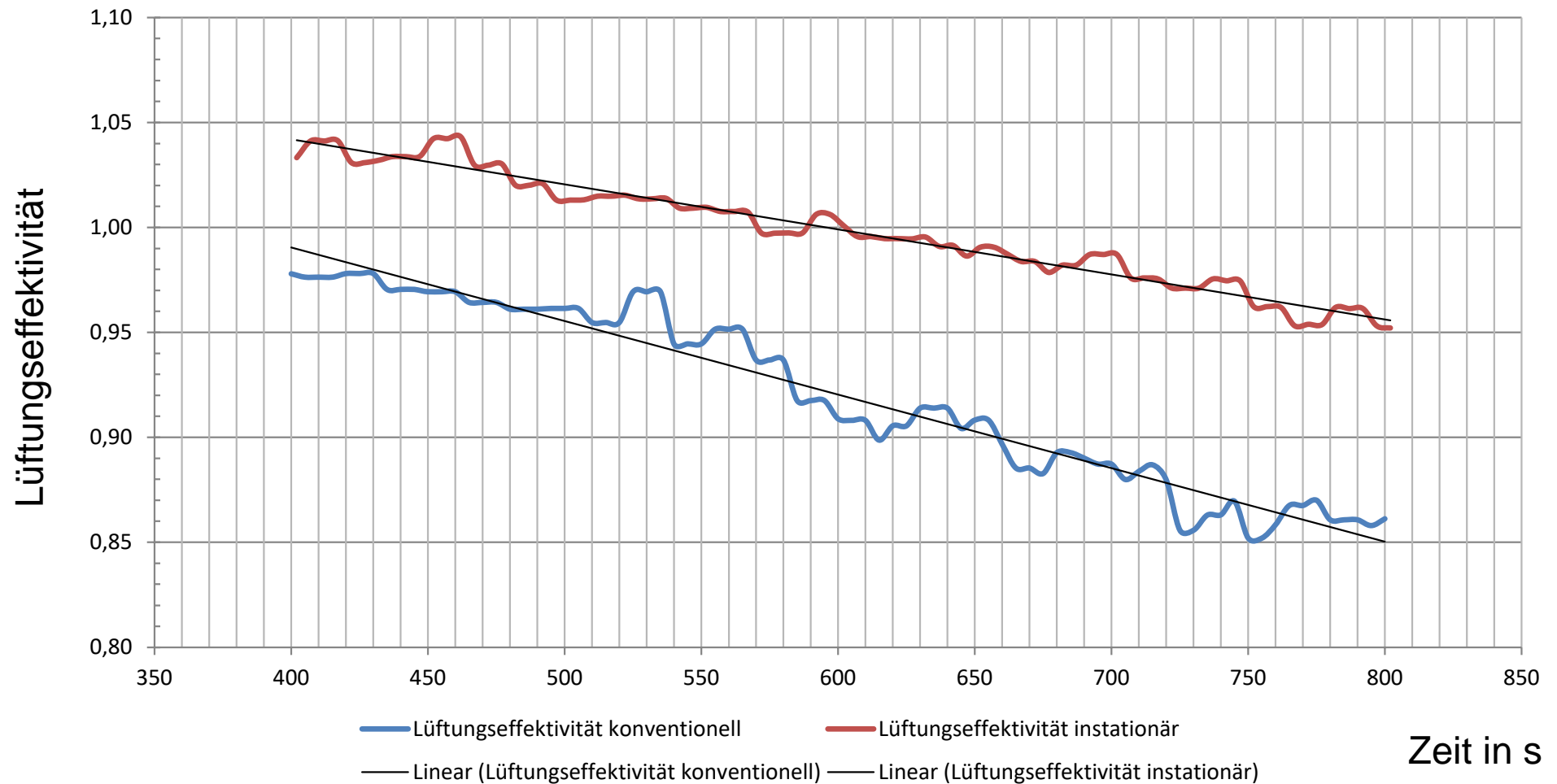
CO₂ Zeitverhalten (Versuch im Vergleich - Abluftkonzentration)

$$LE = \frac{C_{\text{Abluft}} - C_{\text{Zuluft}}}{C_{\text{Raum}} - C_{\text{Zuluft}}}$$

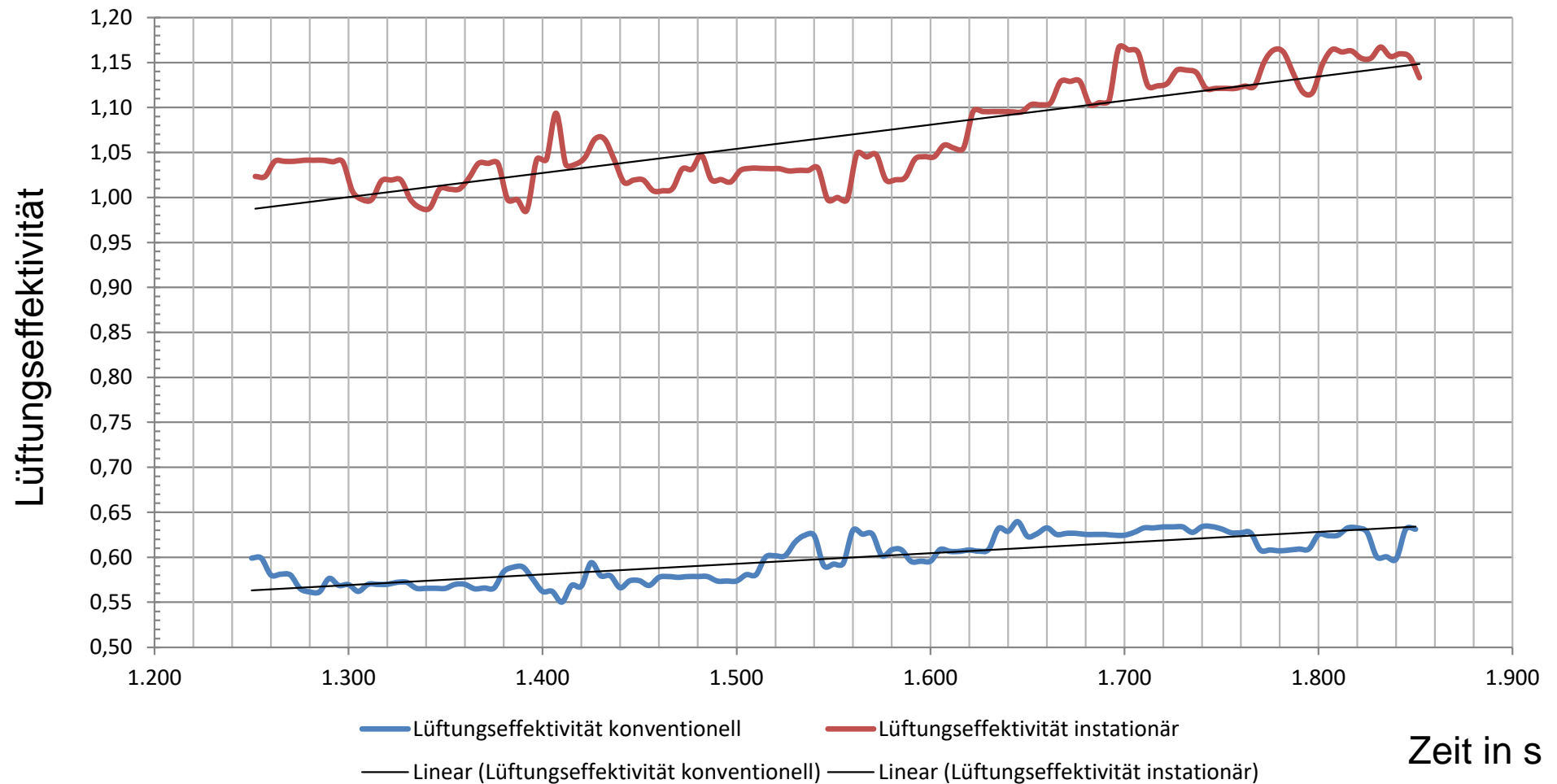
Lüftungseffektivität

$$MG = \frac{C_{\text{Raum}}}{C_{\text{Abluft}}}$$

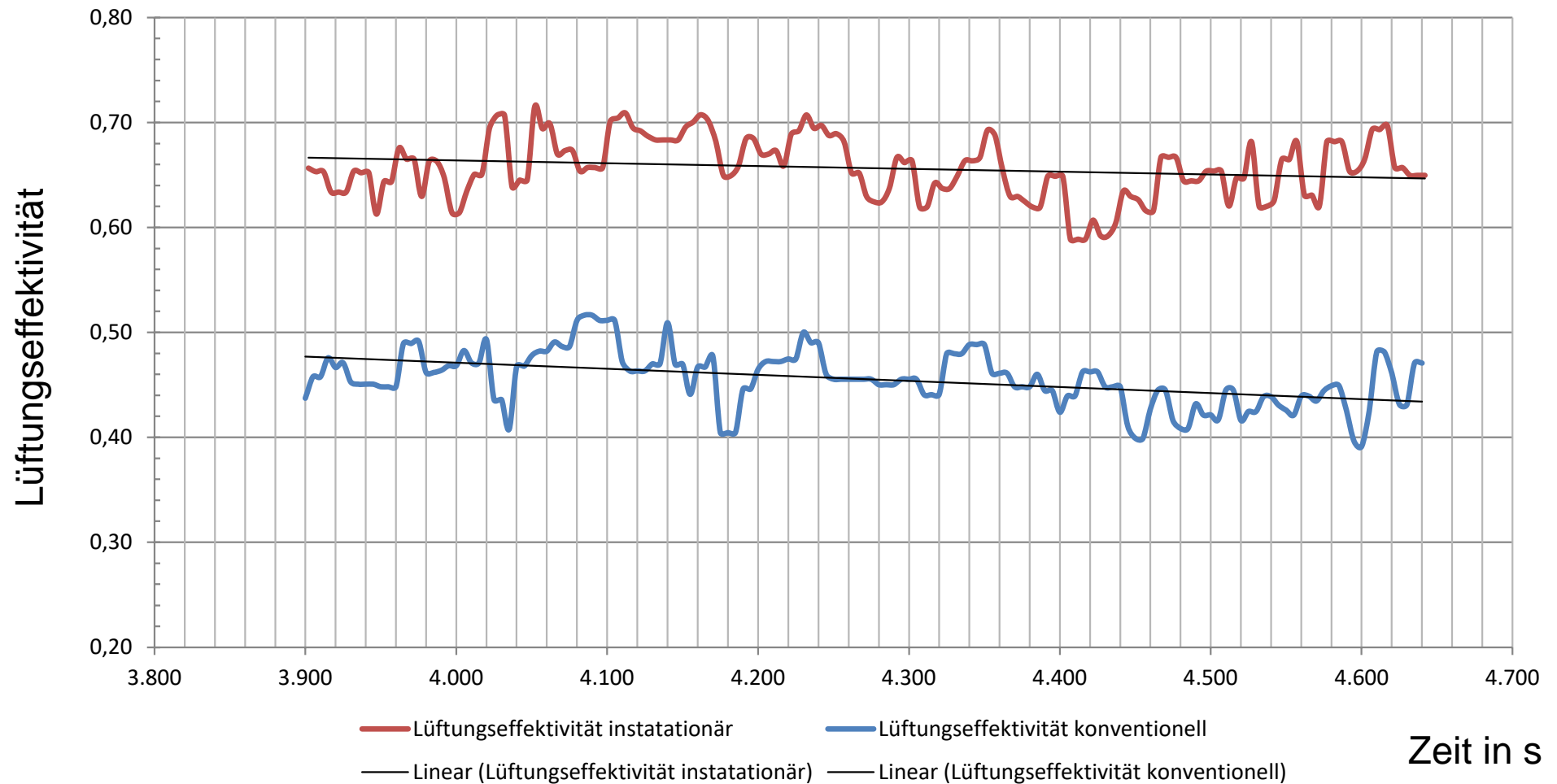
Mischgüte



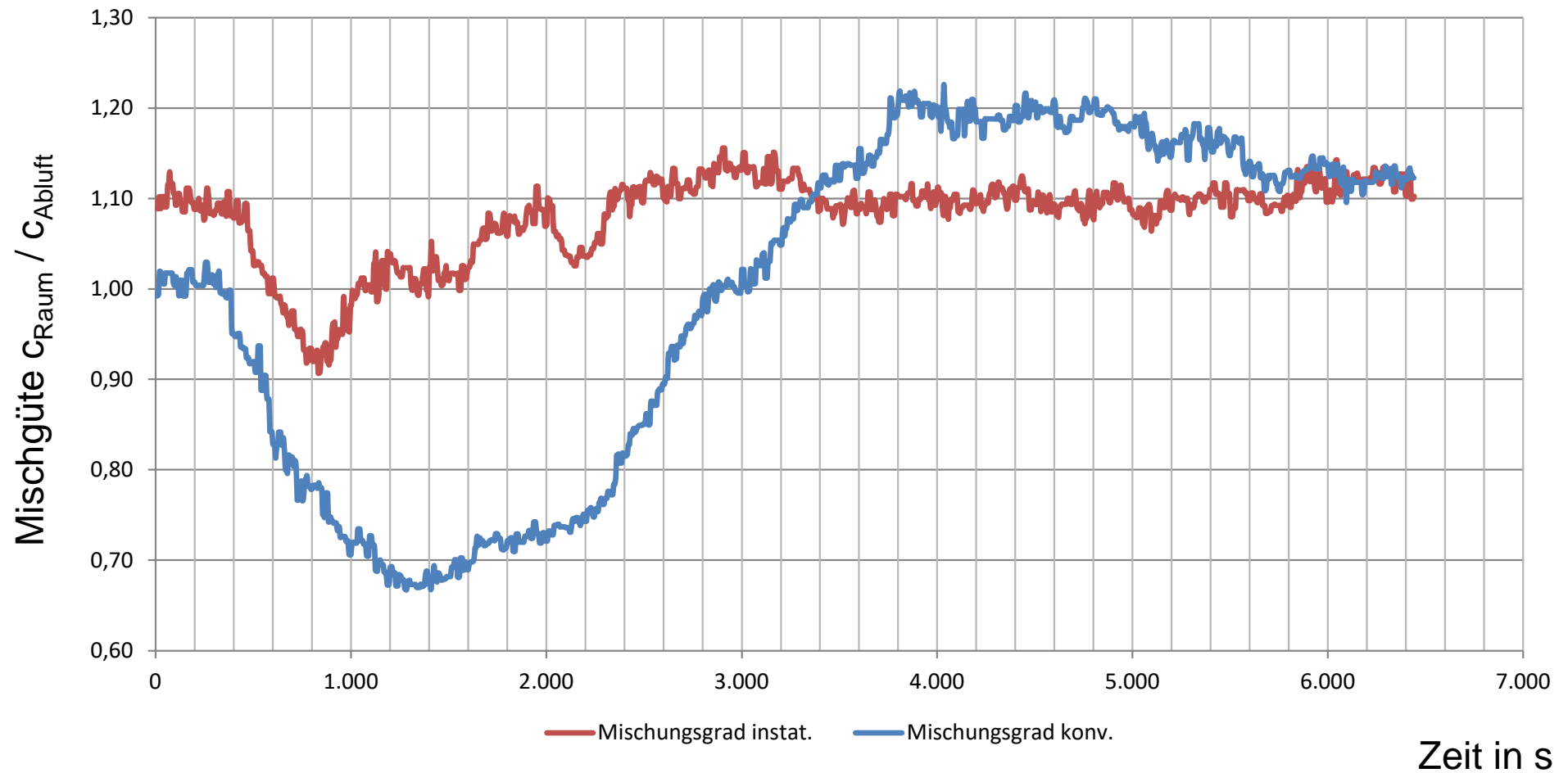
Lüftungseffektivität im Vergleich (Injektion Anfang)



Lüftungseffektivität im Vergleich (Injektion Ende)



Lüftungseffektivität im Vergleich (Abklingen)



Mischgüte im Vergleich



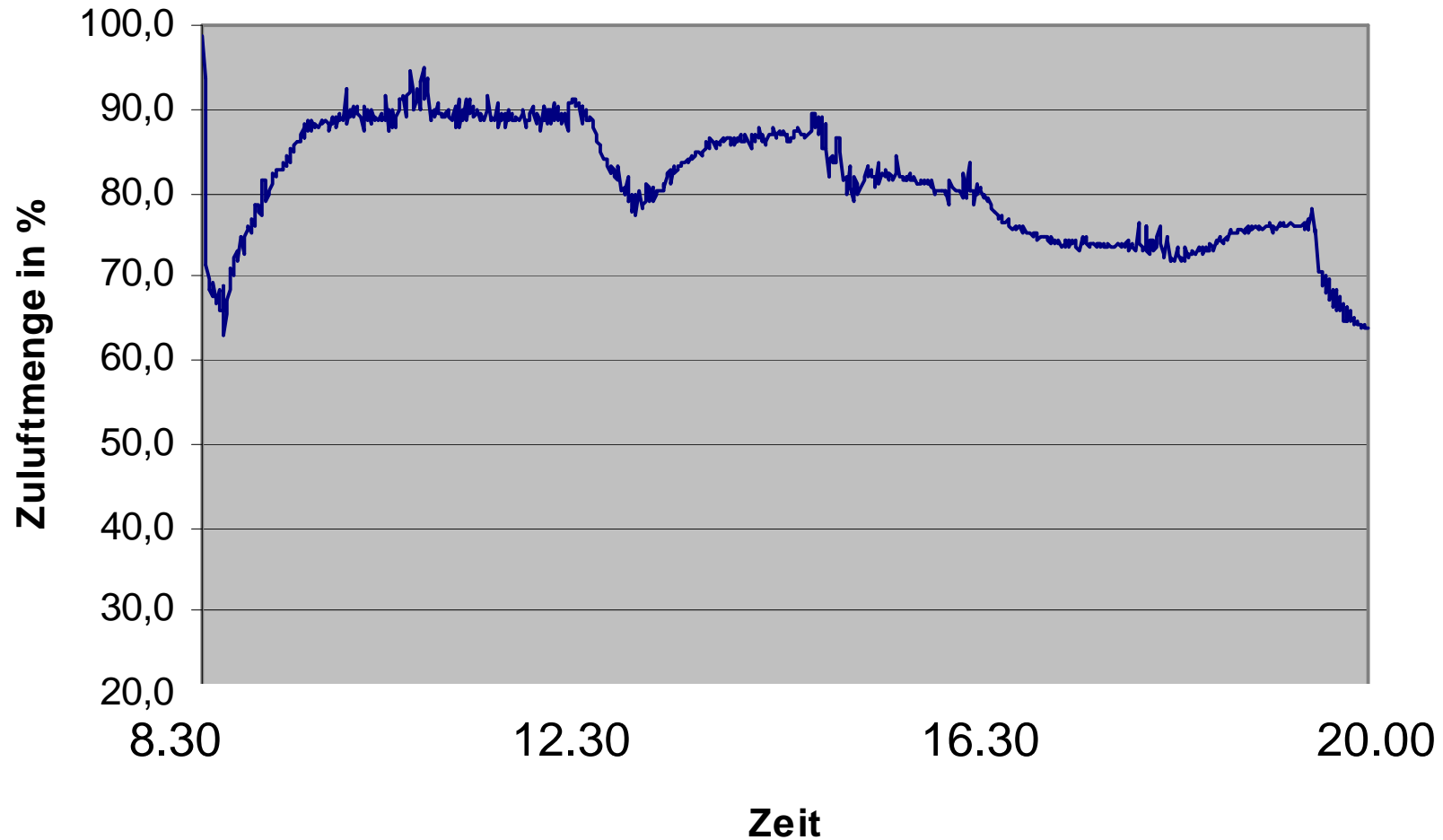
Einsatz FH Soest



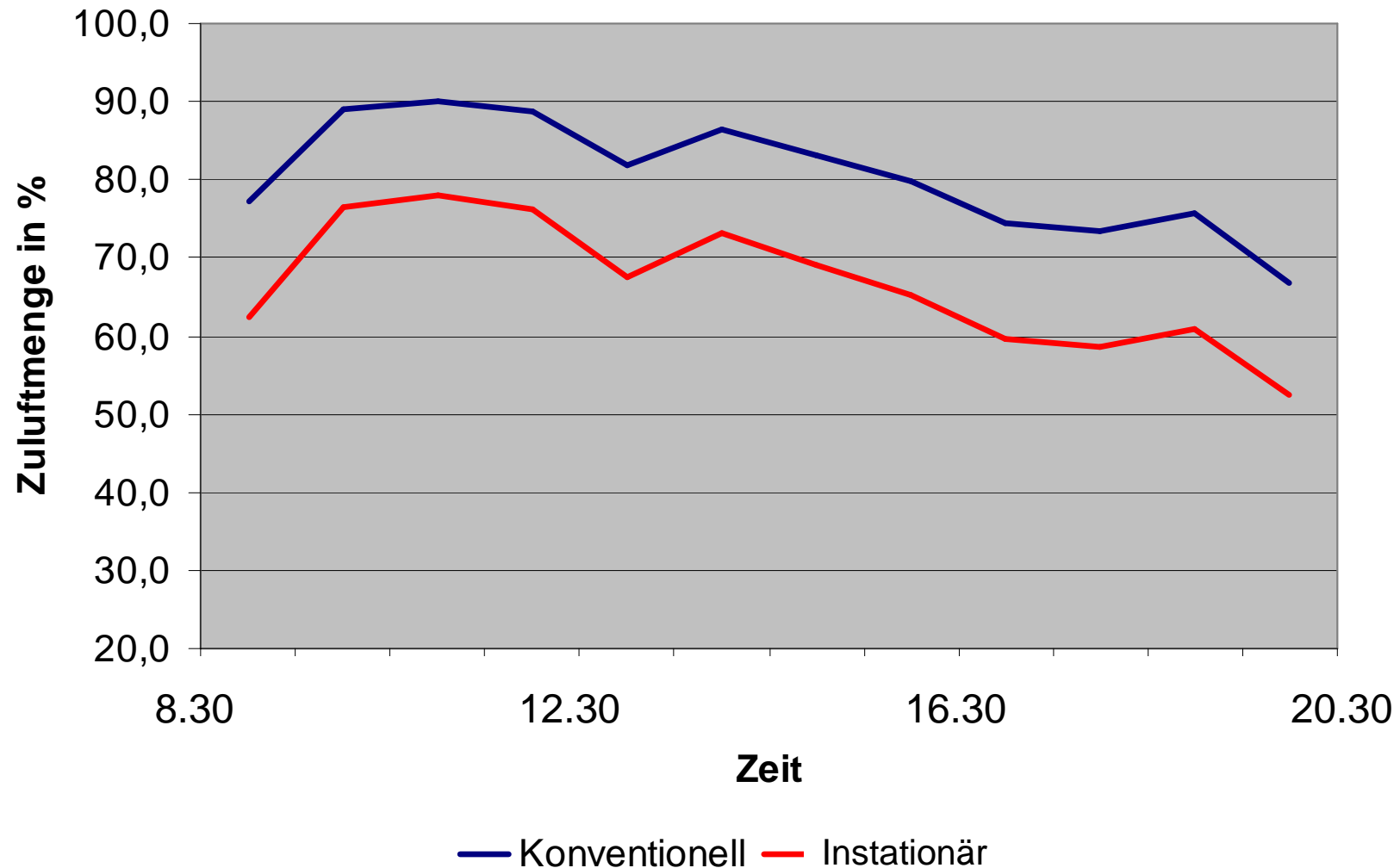
Einsatz FH Soest



Einsatz FH Soest



Typischer Luftmengenbedarf (Hörsaal)



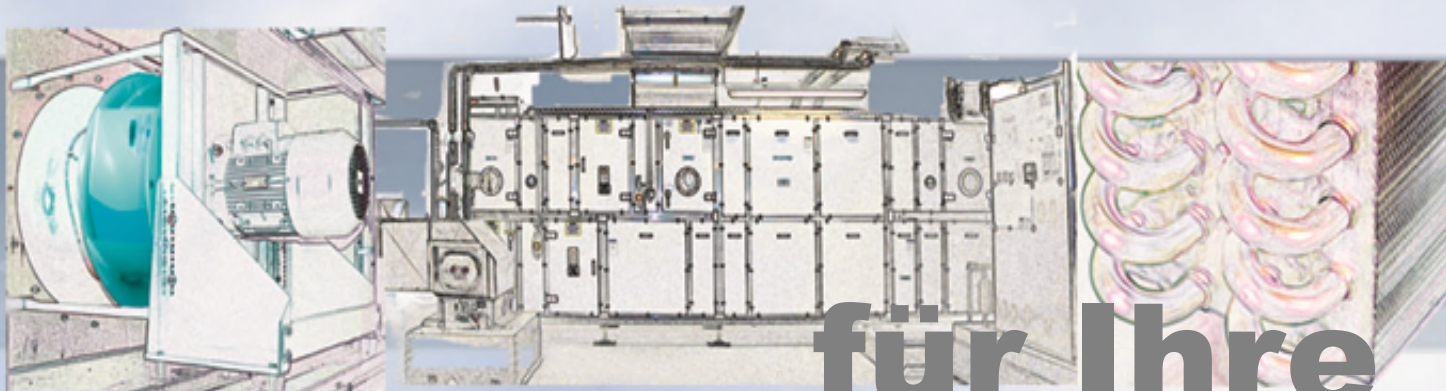
Typischer Luftmengenbedarf (Hörsaal) im Vergleich

Zeit	Lüftung		Elektroenergiebedarf			Lüftungswärme		
	Konv. %	CXC %	Konv. KW	CXC KW	Delta KW	Konv. KW	CXC KW	Delta KW
08:30:00	77,2	62,5	2,30	1,60	0,70	23,8	19,3	4,54
09:30:00	89,0	76,5	3,52	2,51	1,01	27,5	23,6	3,85
10:30:00	90,1	78,0	3,66	2,64	1,02	27,8	24,1	3,73
11:30:00	88,8	76,2	3,50	2,49	1,00	27,4	23,5	3,87
12:30:00	81,8	67,6	2,74	1,89	0,85	25,3	20,9	4,39
13:30:00	86,5	73,2	3,23	2,27	0,97	26,7	22,6	4,09
14:30:00	83,2	69,2	2,88	1,99	0,89	25,7	21,3	4,32
15:30:00	79,8	65,3	2,54	1,75	0,79	24,6	20,1	4,48
16:30:00	74,3	59,5	2,05	1,45	0,60	22,9	18,4	4,56
17:30:00	73,4	58,6	1,97	1,40	0,57	22,6	18,1	4,56
18:30:00	75,7	60,9	2,16	1,52	0,65	23,3	18,8	4,56
19:30:00	66,7	52,5	1,49	1,15	0,33	20,6	16,2	4,39
Mittelwerte			2,67	1,89	0,78	24,85	20,57	4,28

Basis : Auslegung mit $V = 10.000 \text{ m}^3/\text{h}$ und $P_{el} = 5 \text{ KW}$

- Steigerung der Lüftungseffektivität
- instationäre Raumströmung verbesserte Mischung
- „Stoßbetrieb“ durch impulsbehaftete Strömung
- Stationäre Raumströmungen werden verringert
- Verringerung der mittleren Strömungsgeschwindigkeiten
- Homogeneres und diffuseres Strömungsfeld
- Verringerung der Schadstoffkonzentrationen
- Höhere Temperaturdifferenzen sind möglich
- **Reduzierung der Luftmengen ist möglich**

Herzlichen Dank



für Ihre
Aufmerksamkeit

Instationäre Raumströmung

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Dr. Christoph Kaup

c.kaup@umwelt-campus.de



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld
Umwelt macht Karriere.