

Raumluftqualität in Schulen

4. Energetisches Symposium
Integrale Sanierung von Schulen

Technische Schulen Steinfurt

30.05.2011



Fachbereich
Energie
Gebäude
Umwelt

Labor für Energietechnik
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Mundus

Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences



Raumluftqualität in Schulen

Einleitung

Raumluftqualität und Leistung

Grenzwerte

Modellrechnungen

Vergleich von Lüftungsmaßnahmen und -strategien

Bewertung der Maßnahmen und Strategien

Fazit



Ursachen von Innenraumbelastungen

Interne Emissionsquellen

- Baustoffe
- Einrichtungsgegenstände
- Unterricht (z.B. Werken, Chemie)
- Reinigungs- und Pflegemittel

Einträge durch die Außenluft

- Feinstaub
- Emissionen im Umfeld der Schule

Auswirkungen unzureichender Luftzufuhr

- Kohlendioxidanreicherung
- hohe Feuchtigkeit in der Raumluft
- mikrobieller Befall

Die unzureichende Lüftung ist überall dort ein Problem, wo viele Menschen auf begrenztem Raum versammelt sind:

=> Schulen, Kindergärten, Versammlungsräume, usw.



Kohlendioxid als Leitgröße der Lufthygiene



Pettenkofer 1858:
Der Kohlensäuregehalt allein macht die Luftqualität nicht aus, wir benutzen ihn bloß als Maßstab...



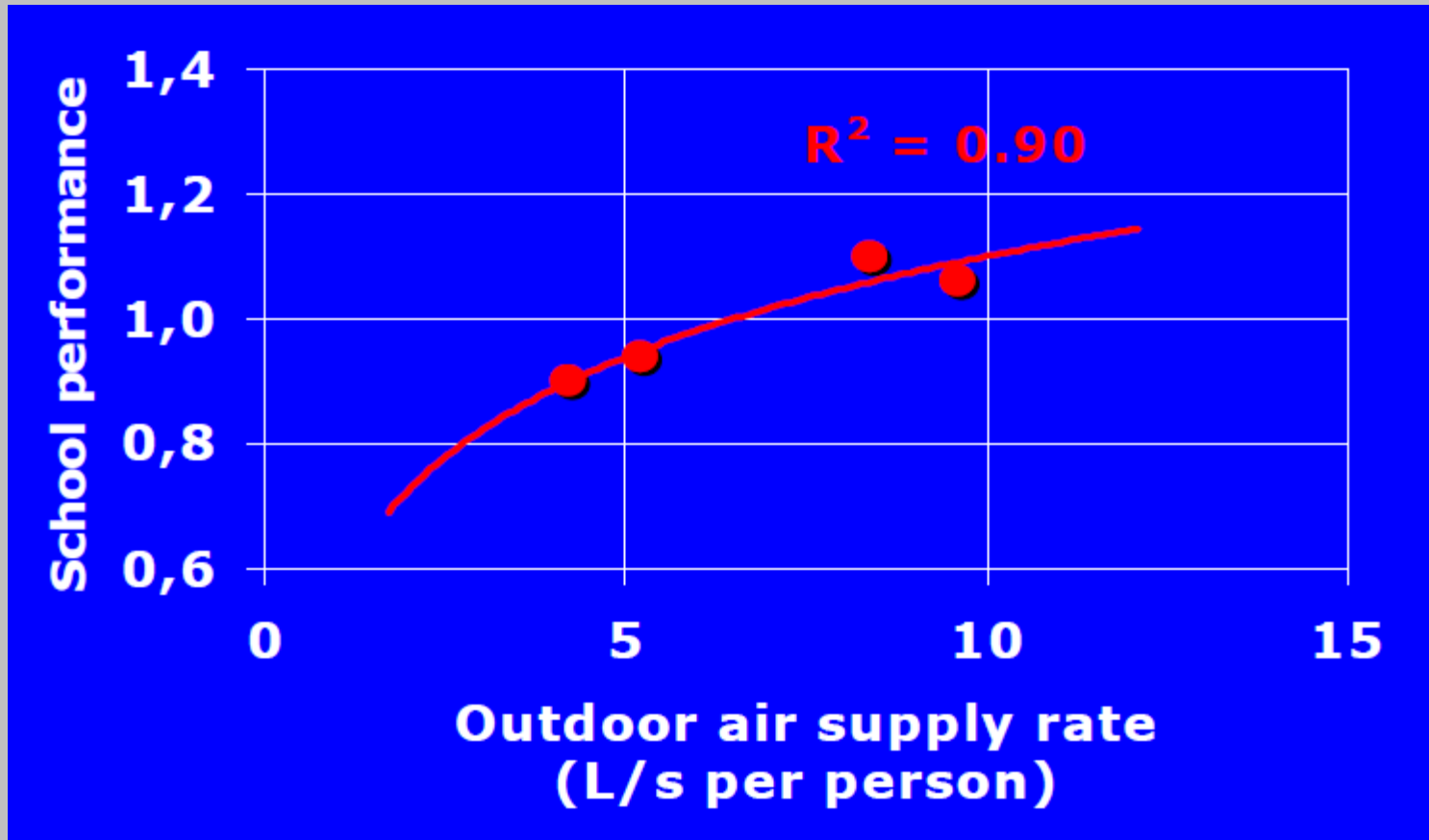
Fachbereich
Energie
Gebäude
Umwelt

Labor für Energietechnik
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Mundus

Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences



Raumluftqualität und schulische Leistung



Quelle: Prof. Bjarne W. Oleson, TU Denmark



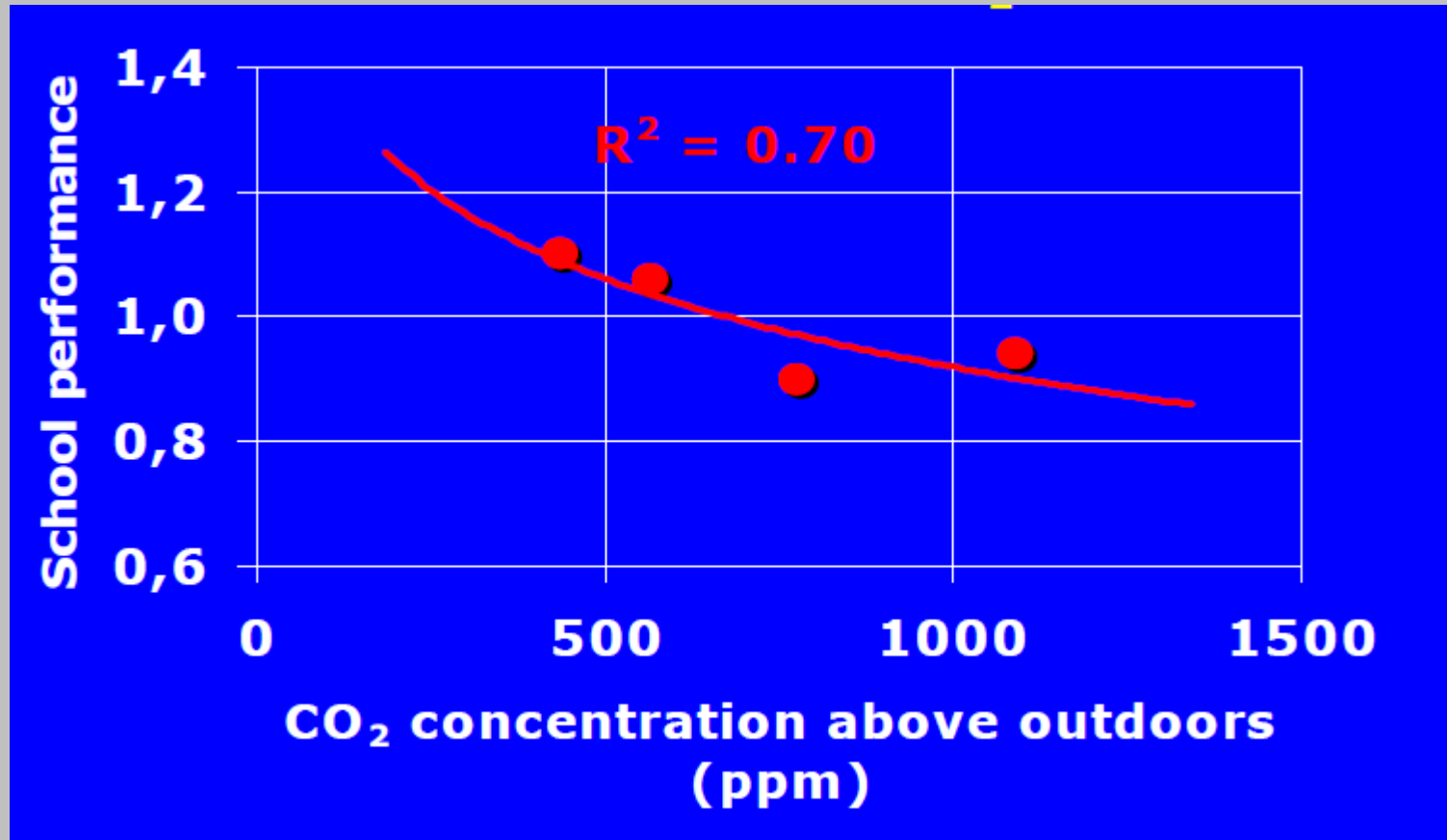
Fachbereich
Energie
Gebäude
Umwelt

Labor für Energietechnik
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Mundus

Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences



Raumluftqualität und schulische Leistung



Quelle: Prof. Bjarne W. Oleson, TU Denmark



Fachbereich
Energie
Gebäude
Umwelt

Labor für Energietechnik
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Mundus

Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences



Auswirkungen durch unzureichende Luftzufuhr



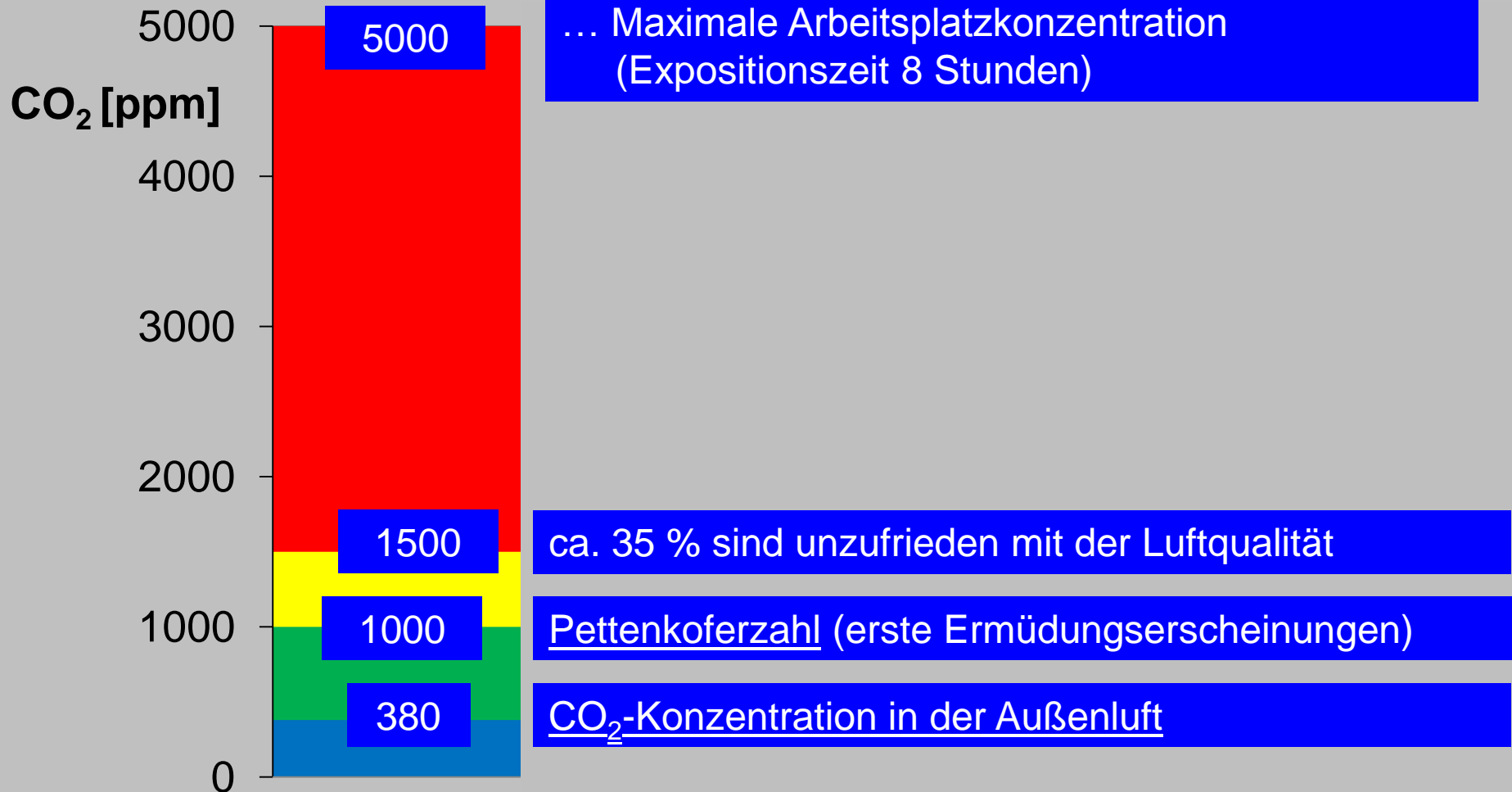
Fachbereich
Energie
Gebäude
Umwelt

Labor für Energietechnik
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Mundus

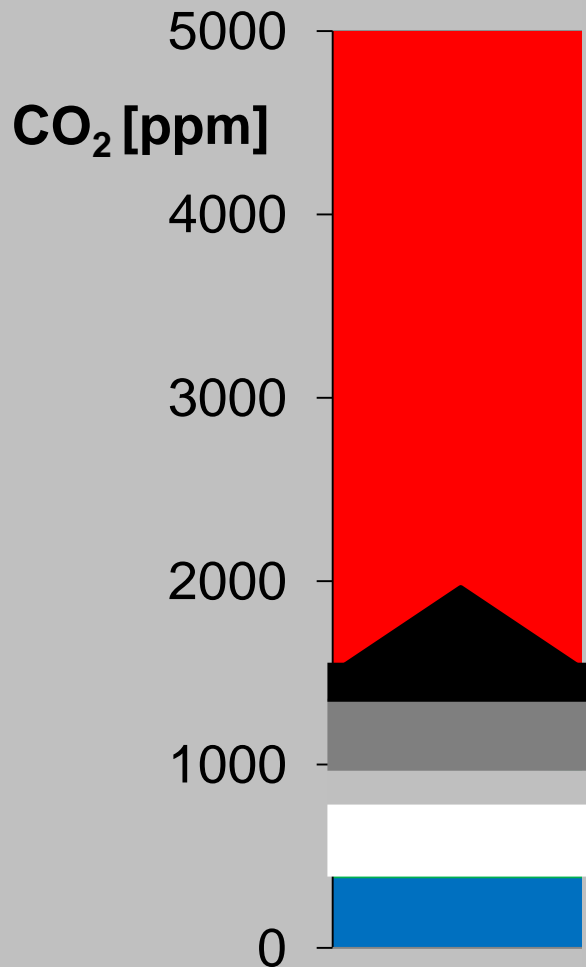
Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences



Bewertung von Kohlendioxidkonzentrationen



Bewertung von Kohlendioxidkonzentrationen

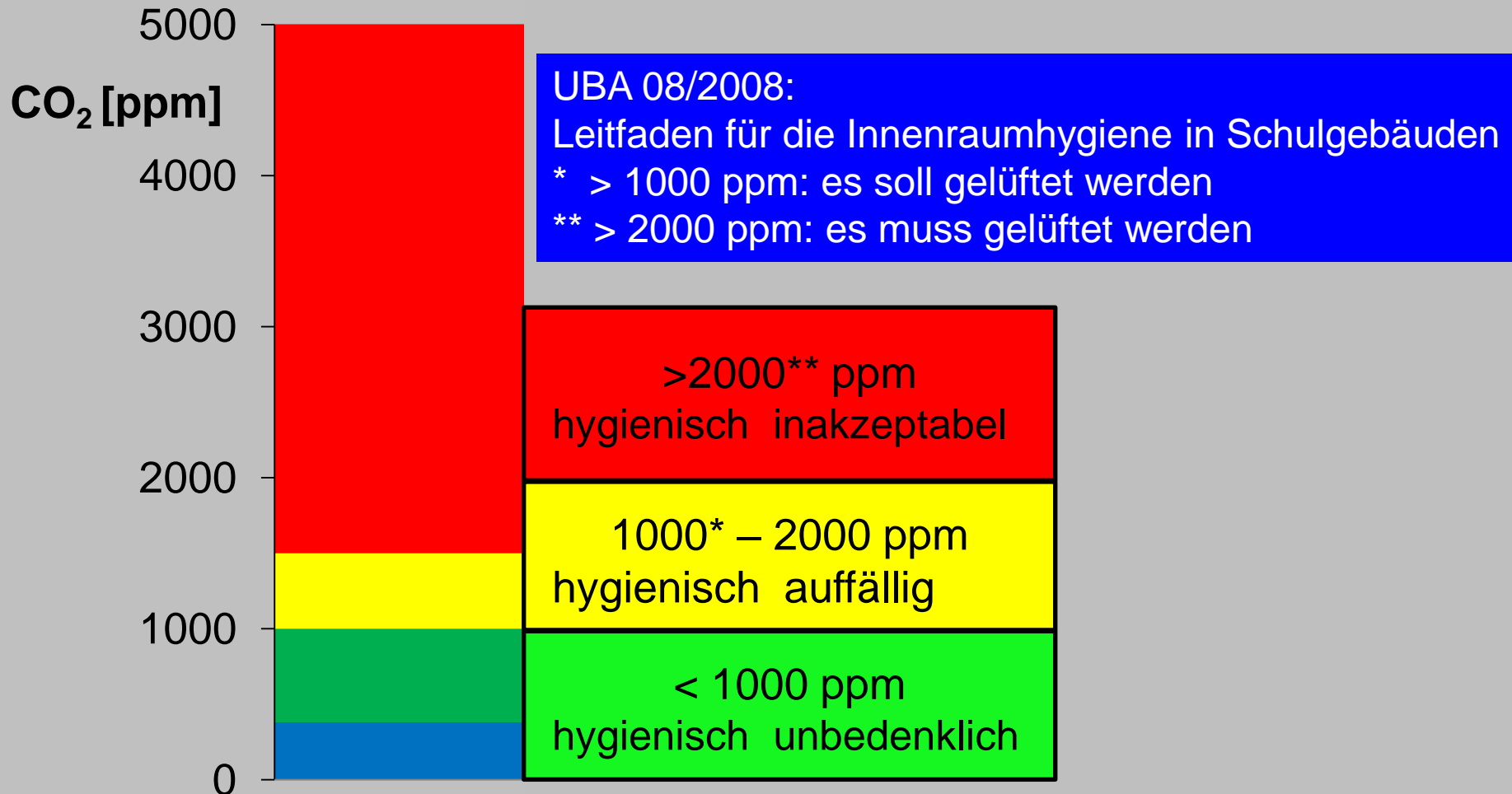


Nach DIN EN 13779 (09.2007) kann die Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Raumluft gegenüber der Außenluft zur Auslegung eines bedarfsgeregelten Lüftungssystems verwendet werden.

Klassifizierung der Raumluft anhand ΔCO_2 :	Lüftungsrate l/s/Pers.
> 1000 ppm: schlecht	< 6
600 – 1000 ppm: mäßig	> 6 – 10
400 – 600 ppm: mittel	> 10 – 15
≤ 400 ppm: hoch	> 15



Bewertung von Kohlendioxidkonzentrationen



CO₂-Abgaberaten

CO ₂ -Abgaberaten pro Person in Liter/Stunde*					
Alter [Jahre]	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 - 14	>14
Ruhe	2,3	4,8	14	20	22
Leichte Aktivität	4,8	9,7	28	38	43
Mäßige Aktivität	9,7	20	25	77	85
Intensive Aktivität	17	33	102	135	152

*Die ausgeatmete Luft enthält 4 Vol-% Kohlendioxid.

*Die Abgaberaten resultieren aus dem Atemvolumen.

Quelle: Handbuch zum QUIRL/CO₂
Niedersächsisches Landesgesundheitsamt



Natürlicher Luftwechsel

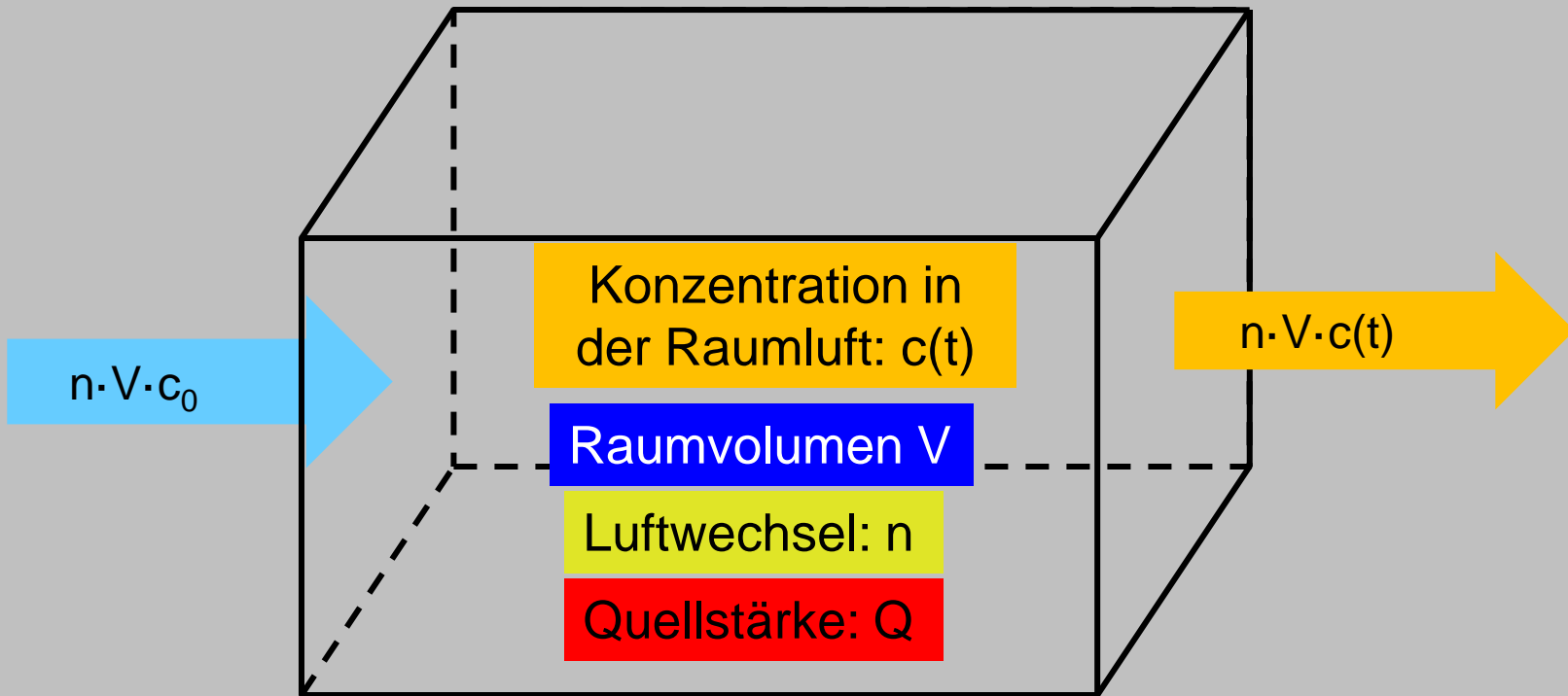
Antrieb: Winddruckdifferenz an der Gebäudehülle
thermischer Auftrieb im Gebäude

Lüftungsart	Luftwechselzahl [h ⁻¹]
Isolierfenster geschlossen	0,2 – 0,4
Einfache Fenster geschlossen	0,5 – 0,8
Oberlichter geöffnet	1,0 – 2,0
Kipplüftung	3 – 10
Fenster weit geöffnet	10 – 20

Quelle: Handbuch zum QUIRL/CO₂
Niedersächsisches Landesgesundheitsamt



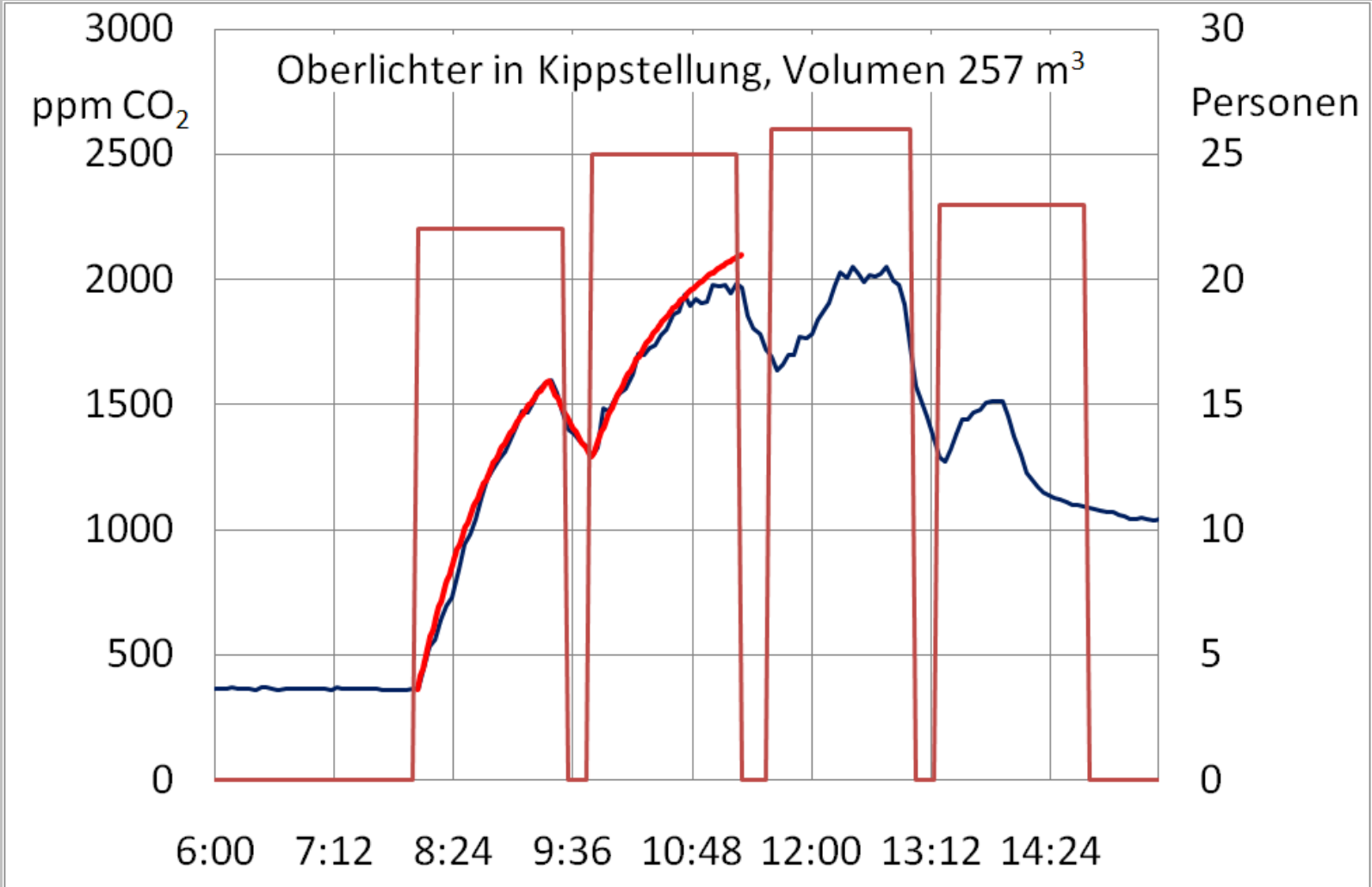
Berechnung der CO₂-Konzentration



$$c(t) = c(t=0) \cdot e^{-nt} + \left(c_0 + \frac{Q}{nV} \right) (1 - e^{-nt})$$



Vergleich Messung - Rechnung



Vergleich von Lüftungsmaßnahmen und -strategien

1. Lüftung ohne besondere Maßnahmen

3. Lüften nach UBA-Empfehlung

Wenn Sie in einer Schule lehren oder lernen...

- **Im Unterricht:** Öffnen Sie die Fenster 1-2x in der Stunde zum sogenannten „Stoßlüften“, das heißt, die Fenster weit öffnen für mindestens 5, besser bis 10 Minuten. Noch effektiver ist das „Querlüften“ über gegenüberliegende Fenster, sodass ein Zug entsteht.
- **In jeder Unterrichtspause (alle 45 Minuten):** Öffnen Sie alle Fenster über die gesamte Pausenzeit und vermeiden Sie übermäßiges Aufheizen und Auskühlen der Räume.

2. Einsatz einer CO₂-Ampel



www.sentinelhaus.eu/produkte/die-co2-ampel/

4. Dezentrales Lüftungsgerät



Fachbereich
Energie
Gebäude
Umwelt

Labor für Energietechnik
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Mundus

Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences



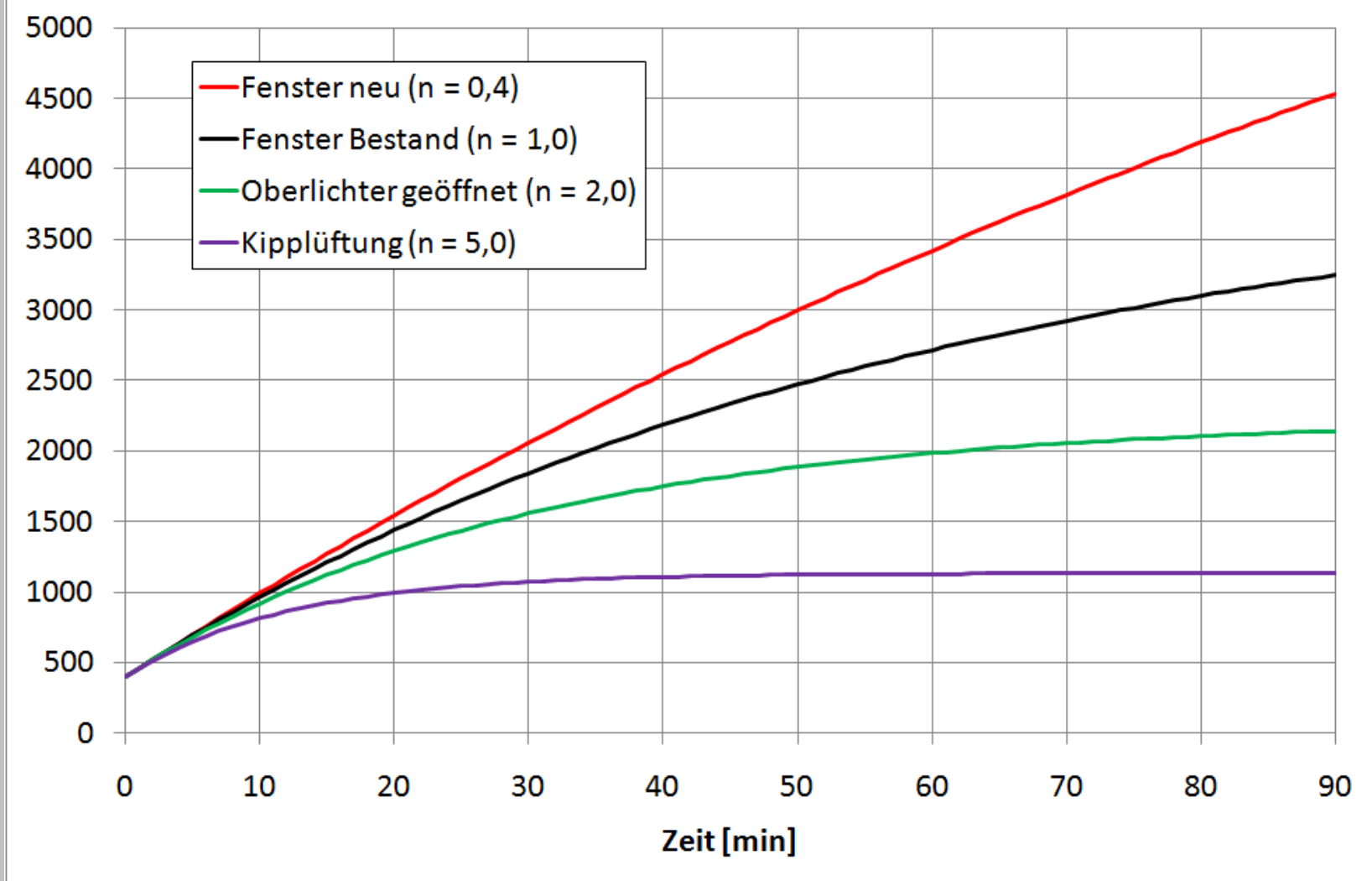
Vergleich von Lüftungsmaßnahmen und -strategien

Parameter:

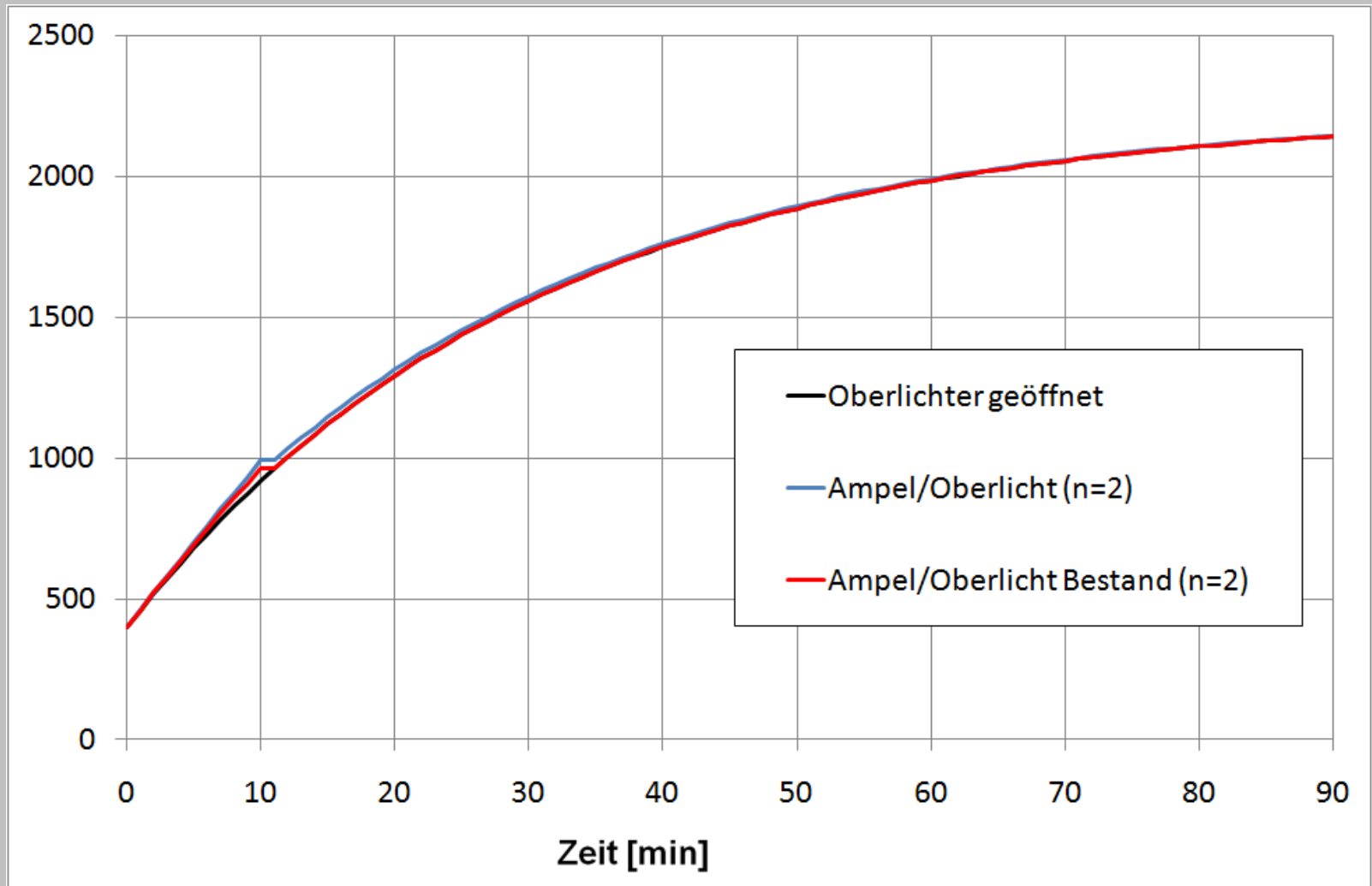
Raumvolumen pro Schüler:	6 m ³
CO ₂ -Umgebungskonzentration:	400 ppm
CO ₂ -Raumkonz. am Anfang:	400 ppm
CO ₂ -Emission pro Schüler:	22 l/h



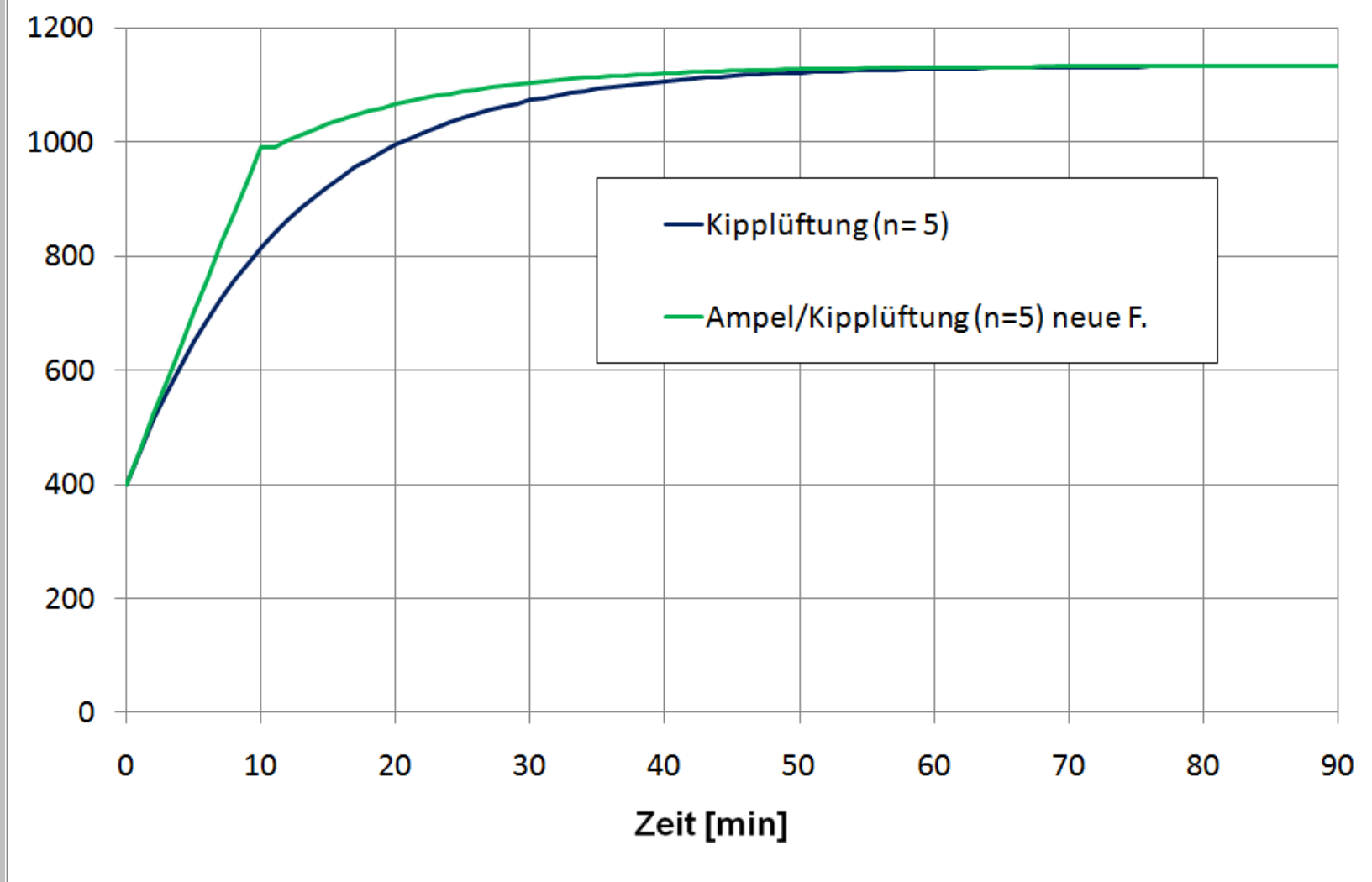
Lüftung ohne besondere Maßnahmen



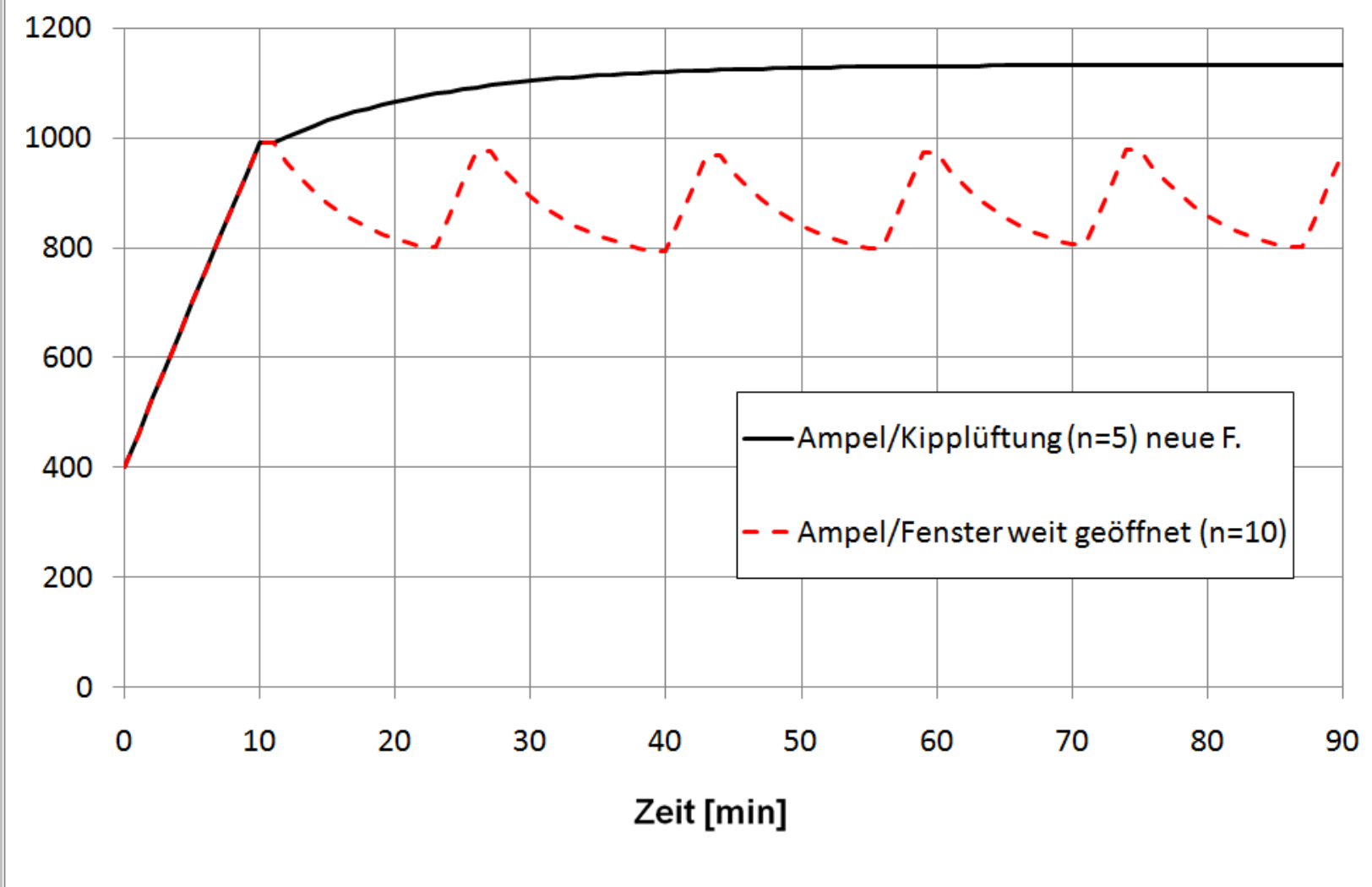
2. Ampel – Lüften durch Oberlicht



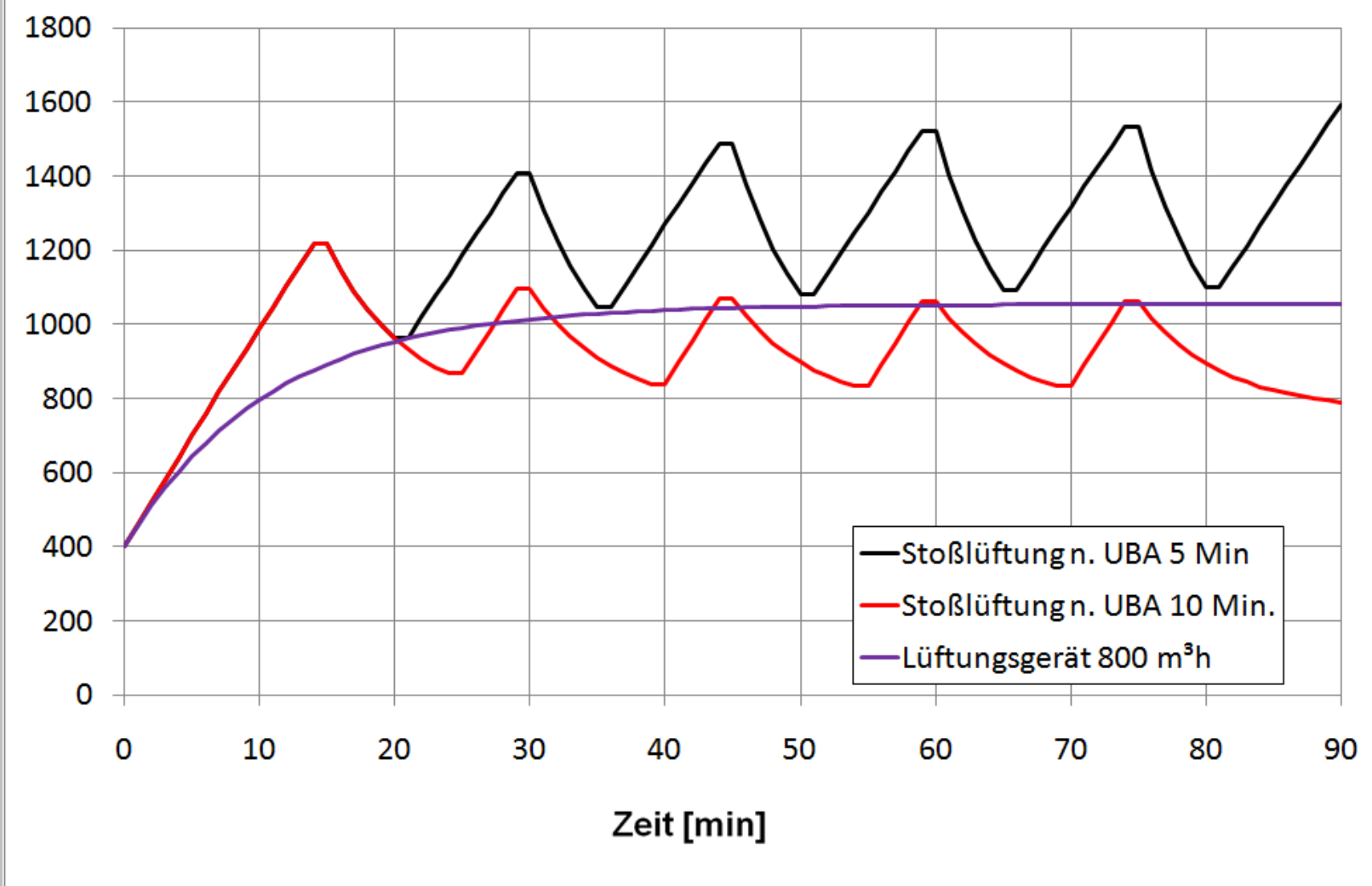
2. Ampel – Lüften durch gekippte Fenster



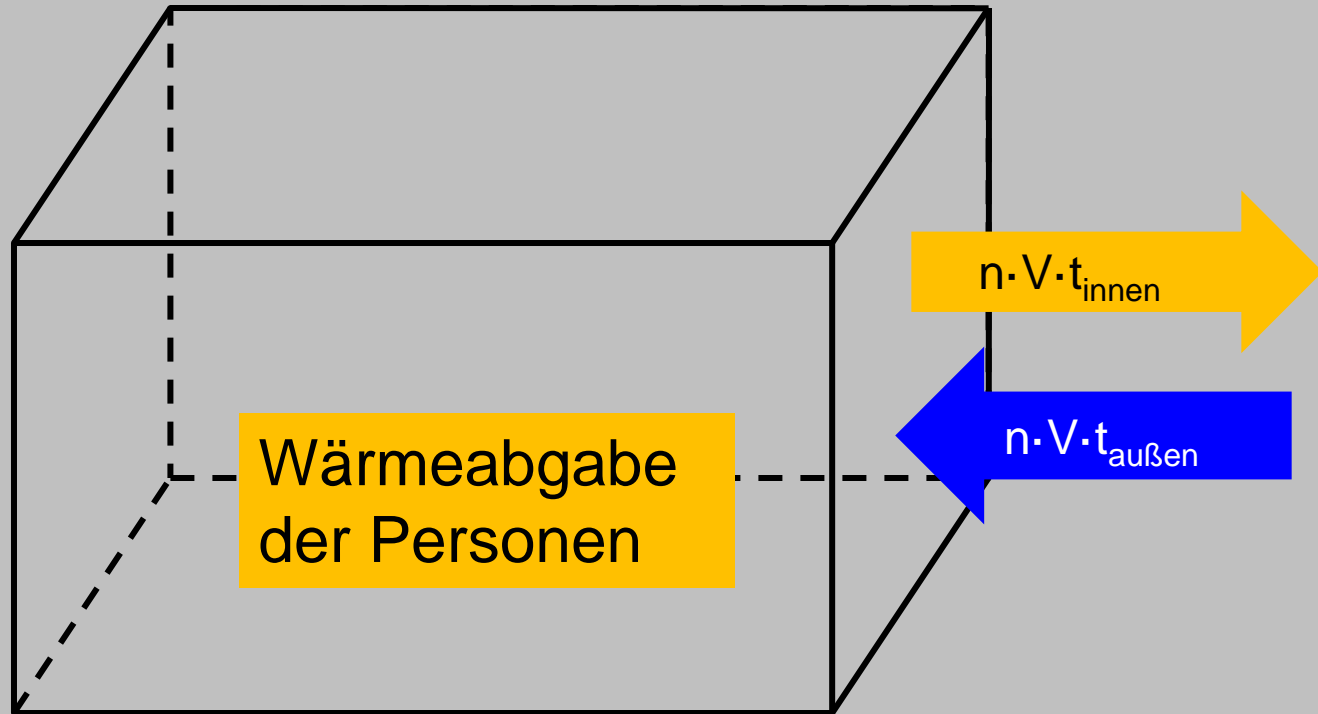
2. Ampel – Lüften durch weit geöffnete Fenster



2. Ampel – Lüften durch weit geöffnete Fenster



Lüftungswärmeverlust



⇒ Deckung des Lüftungswärmeverlustes durch Wärmeabgabe der Personen und Wärmerückgewinnung



Vergleich von Lüftungsmaßnahmen und -strategien

Strategie	Maßnahme	n [1/h]	max. CO ₂ -Konzentration [ppm]	Lüftungswärmeverlust [kW/Schüler]*	Lüftungswärmeverlust abzgl. Wärmeabgabe Schüler [W/Schüler]**
-	Fenster Bestand	1,0	3250	0,040	-35
-	Fenster neu	0,4	4535	0,016	-59
gekippt	Oberlicht	2,0	2150	0,080	5
gekippt	Fenster	5,0	1130	0,201	126
Ampel	Oberlicht öffnen (neue Fenster)	0,4/2,0	2150	0,073	-2
Ampel	Oberlicht öffnen (Fenster Bestand)	1,0/2,0	2150	0,076	1
Ampel	Fenster kippen (neue Fenster)	0,4/5,0	1135	0,180	105
Ampel	Fenster kippen (Fenster Bestand)	1,0/5,0	1135	0,181	106
Ampel	Fenster öffnen (neue Fenster)	0,4/10,0	1000	0,273	198
UBA	5 Minuten Stoßlüften (neue Fenster)	0,4/10,1	1593	0,145	70
UBA	10 Min. Stoßlüften (neue Fenster)	0,4/10,2	1200	0,256	181
Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung (75 %)		5,6	1054	0,056	-19

* Temperaturdifferenz $t_{\text{innen}} - t_{\text{außen}} = 20 \text{ K}$

** Wärmeabgabe pro Schüler 75 W



Vergleich von Lüftungsmaßnahmen und -strategien

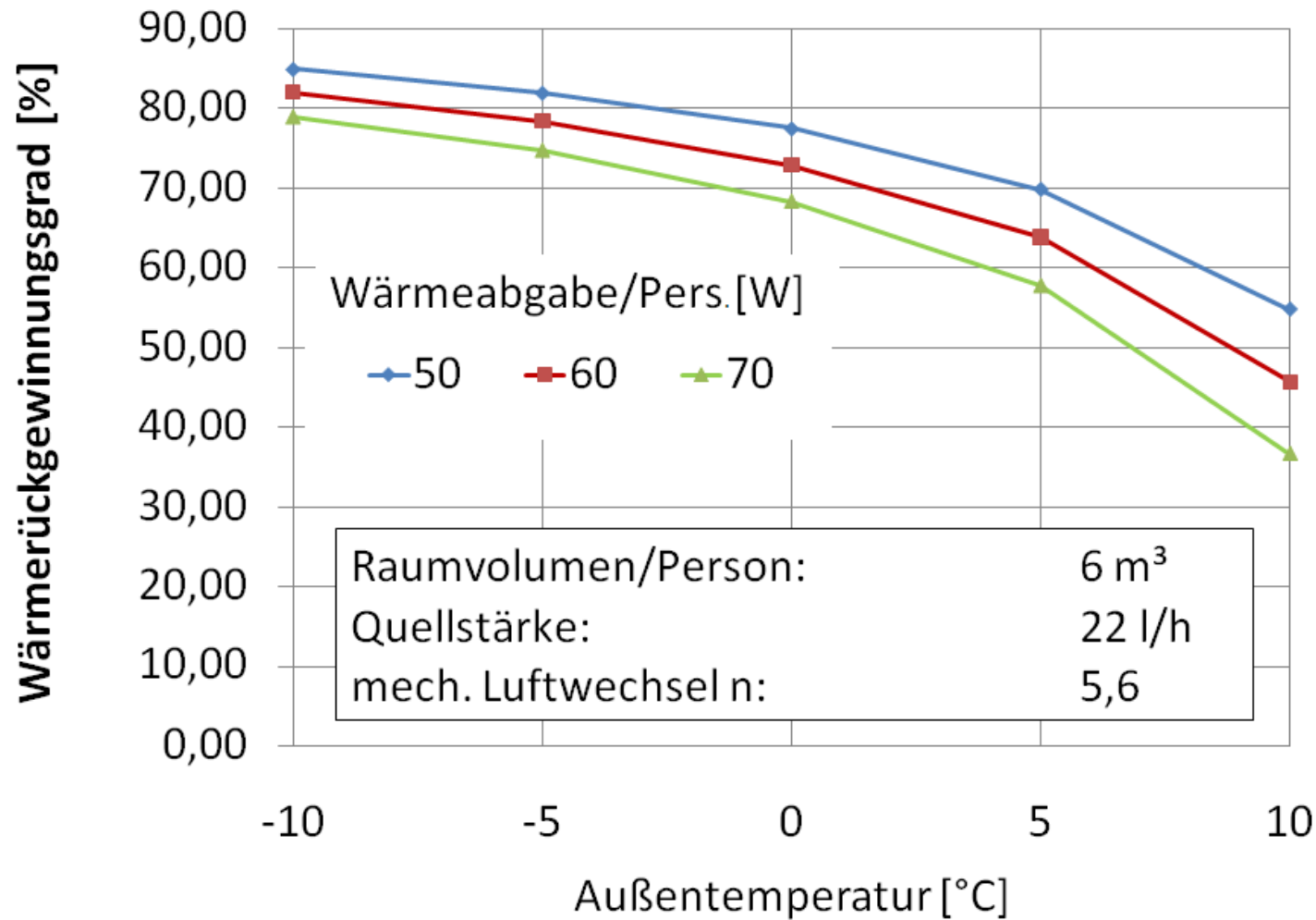
Strategie	Maßnahme	n [1/h]	Ranking Luftqualität	Ranking Energie	Summe Ranking L+E
-	Fenster Bestand	1,0	11	2	13
-	Fenster neu	0,4	12	1	13
gekippt	Oberlicht	2,0	8	6	14
gekippt	Fenster	5,0	3	10	13
Ampel	Oberlicht öffnen (neue Fenster)	0,4/2,0	8	4	12
Ampel	Oberlicht öffnen (Fenster Bestand)	1,0/2,0	8	5	13
Ampel	Fenster kippen (neue Fenster)	0,4/5,0	4	8	12
Ampel	Fenster kippen (Fenster Bestand)	1,0/5,0	4	9	13
Ampel	Fenster öffnen (neue Fenster)	0,4/10,0	1	12	13
UBA	5 Minuten Stoßlüften (neue Fenster)	0,4/10,1	7	7	14
UBA	10 Min. Stoßlüften (neue Fenster)	0,4/10,2	6	11	17
Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung (75 %)		5,6	2	3	5

* Temperaturdifferenz $t_{\text{innen}} - t_{\text{außen}} = 20 \text{ K}$

** Wärmeabgabe pro Schüler 75 W



Berechnung Wärmerückgewinnung



Fazit

Viele Untersuchungen belegen die Sicht unzureichende Raumluftqualität in Schulen.

Die Lüftung über gekippte Fenster reicht nicht aus!

Die Lüftung über weit geöffnete Fenster ist nicht praktikabel!

Maßnahmen zur Verringerung des natürlichen Luftwechsels (z. B. dichtere Fenster) verstärken das Lüftungsproblem.

Mechanische Lüftungssysteme erlauben eine ausreichende Luftversorgung bei gleichzeitig günstiger Energiebilanz durch Wärmerückgewinnung.

