

Luftqualität und Lüftung in Schulen

Heinz-Dieter Neumann

2. Sankt Augustiner Expertentreff „Gefahrstoffe“
Bad Neuenahr, 5. und 6.7.2011

Untersuchungsprogramm zur Ermittlung „normaler“ Umgebungsbedingungen in Klassenräumen



- VOC

- Aldehyde

- MVOC

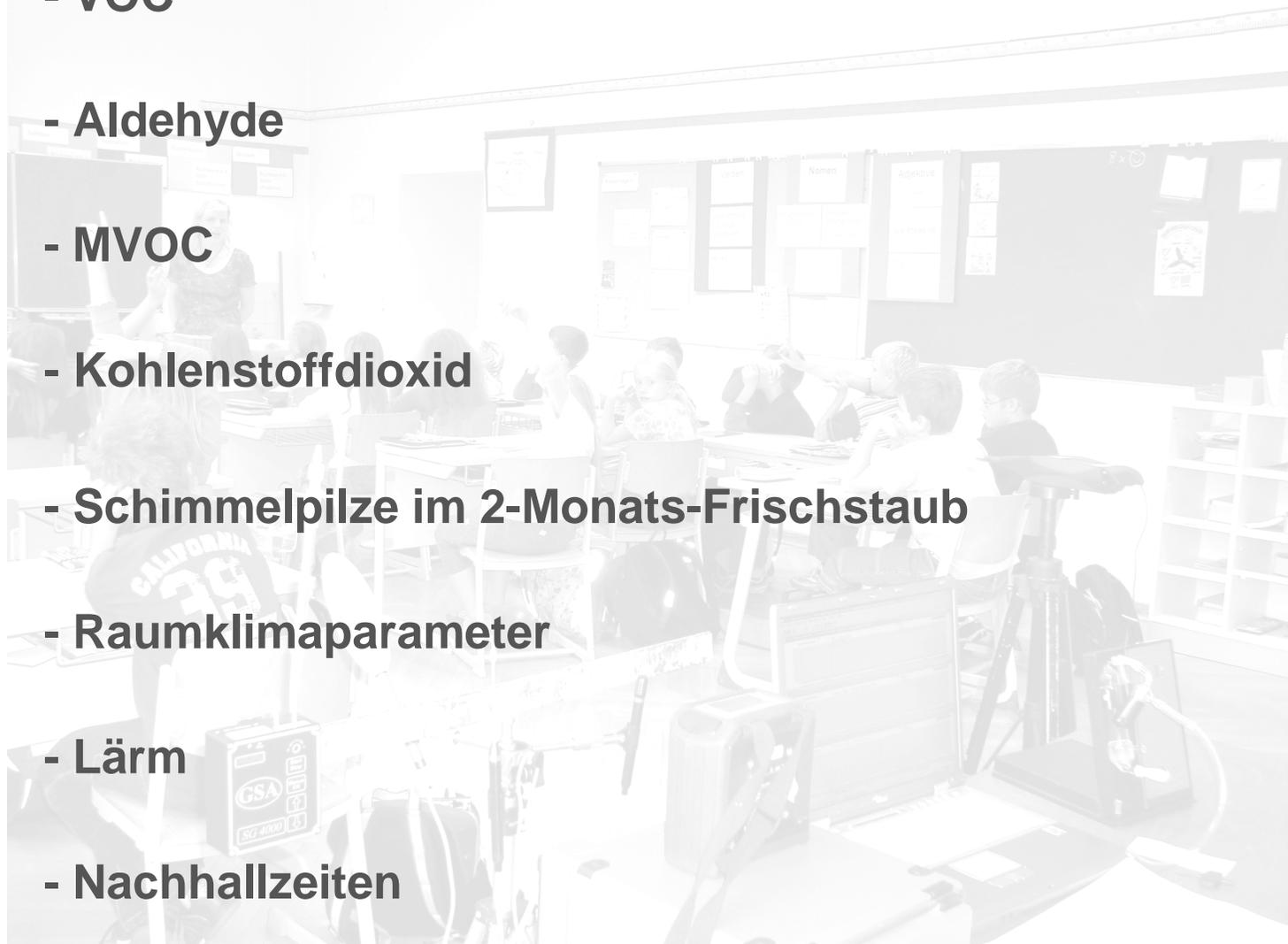
- Kohlenstoffdioxid

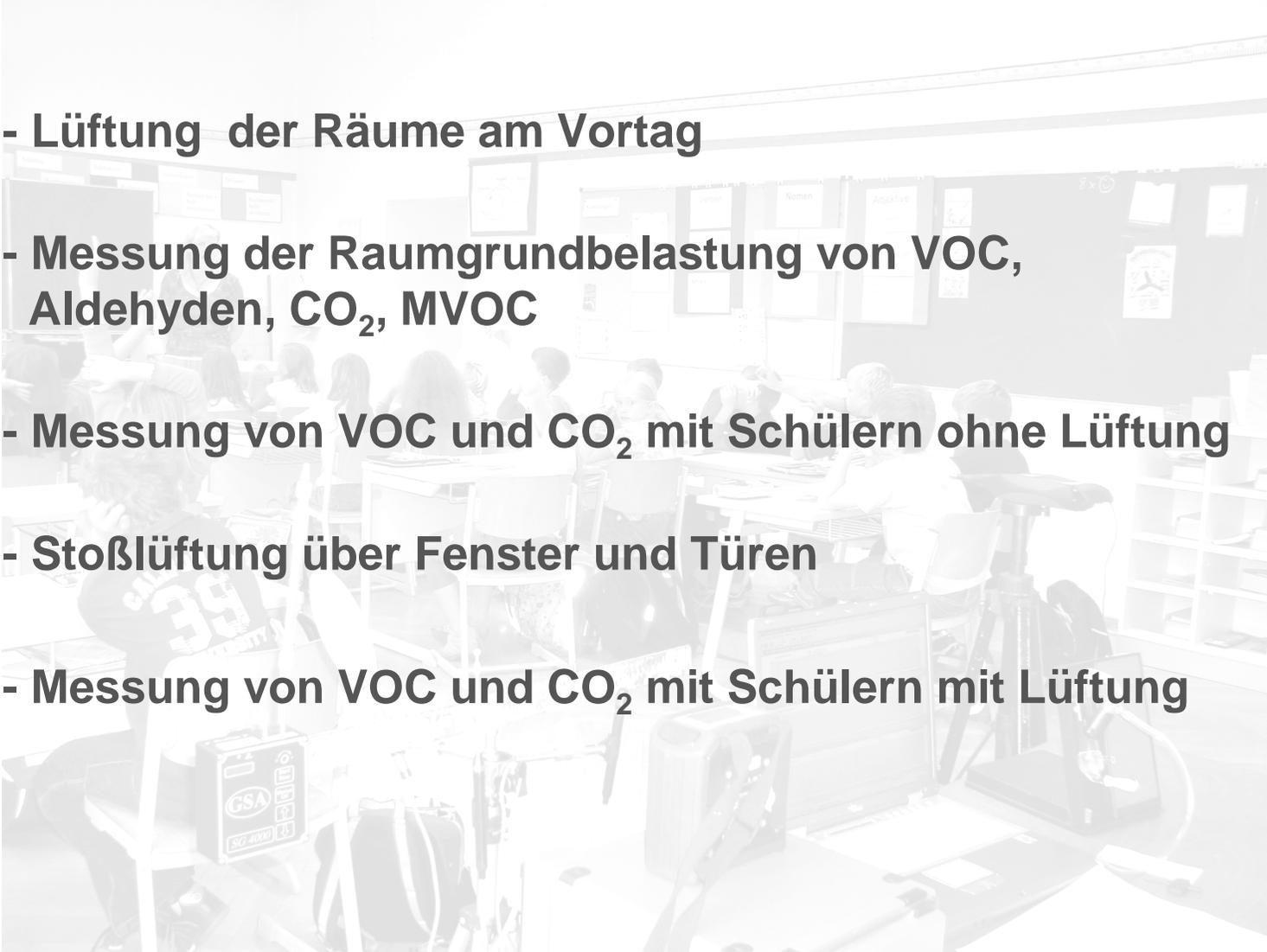
- Schimmelpilze im 2-Monats-Frischstaub

- Raumklimaparameter

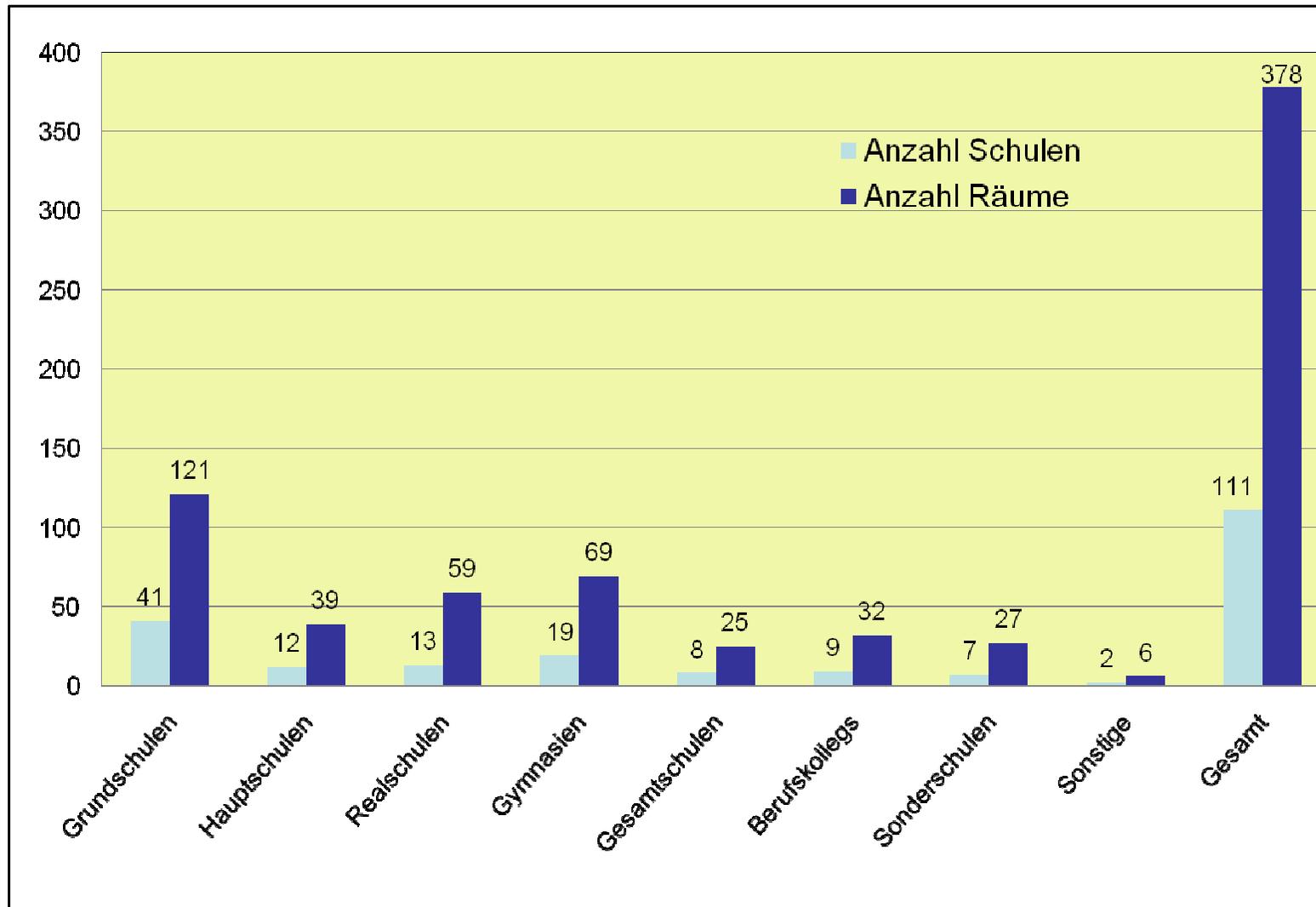
- Lärm

- Nachhallzeiten



- 
- Lüftung der Räume am Vortag
 - Messung der Raumgrundbelastung von VOC, Aldehyden, CO₂, MVOC
 - Messung von VOC und CO₂ mit Schülern ohne Lüftung
 - Stoßlüftung über Fenster und Türen
 - Messung von VOC und CO₂ mit Schülern mit Lüftung

Anzahl Schulen und Klassenräume





Aldehyd- und VOC-Belastungen

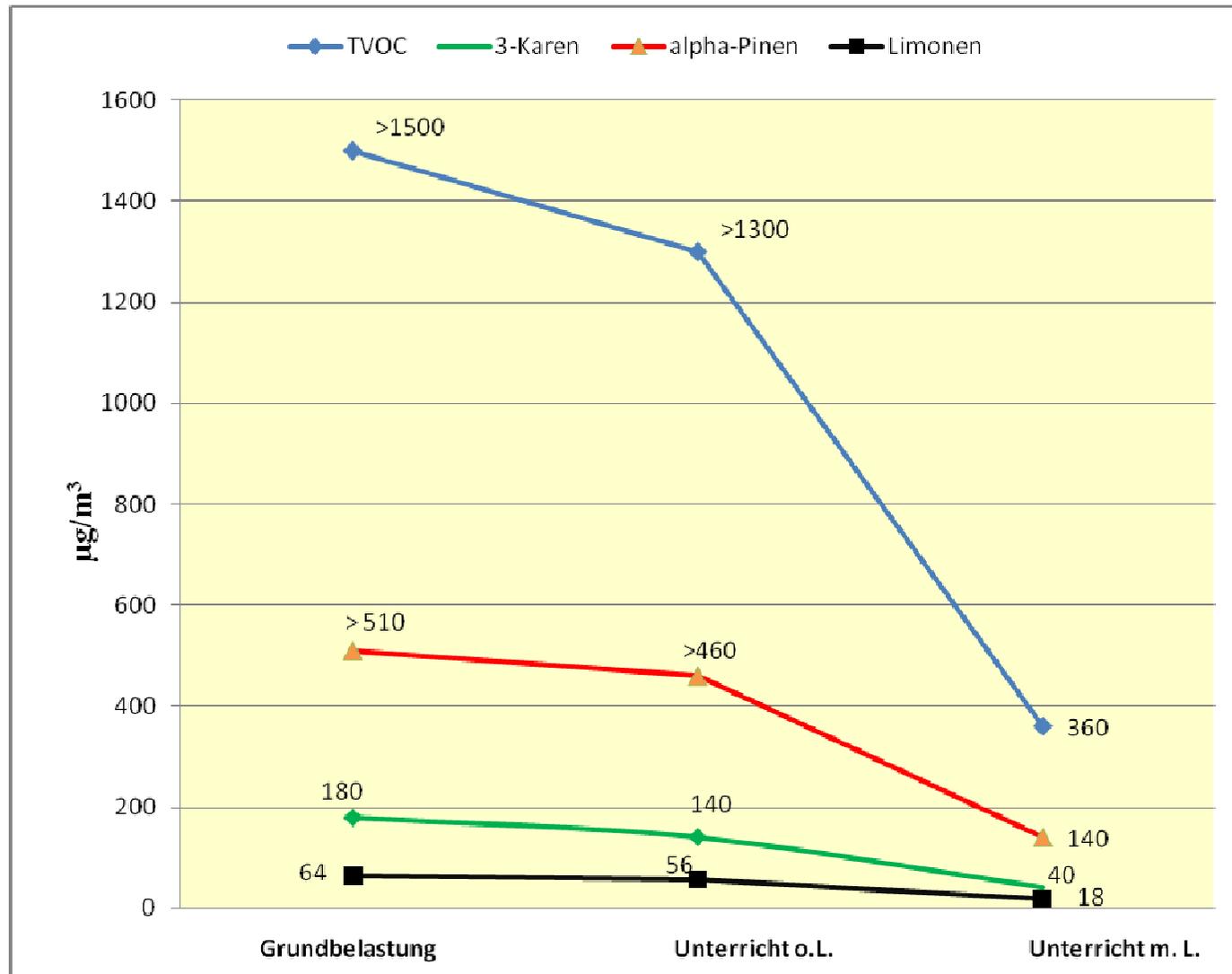
TOP 10: Zahl und Höhe der Messwerte (ohne Siloxane)

| Name | n | n > a.B. | 50 %-Wert µg/m ³ | 90 %-Wert µg/m ³ | 95 %-Wert µg/m ³ |
|-------------------------------|-----|-------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| TVOC | 349 | 307 | 19 | 631 | 841 |
| Formaldehyd | 371 | 247 | 25 | 57 | 70 |
| 2-(2-Butoxyethoxy) ethanol | 270 | 94 | ! a. B. | 29 | 40 |
| Toluol | 353 | 255 | 8 | 26 | 37 |
| Butan-1-ol | 319 | 179 | 7 | 25 | 36 |
| 2-Ethylhexan-1-ol | 321 | 235 | 9 | 22 | 35 |
| Hexanal | 342 | 182 | 6 | 22 | 37 |
| Limonen | 352 | 152 | ! a. B. | 20 | 34 |
| 2-Butoxyethanol | 321 | 118 | ! a. B. | 20 | 37 |
| 2-Phenoxyethanol | 269 | 77 | ! a. B. | 20 | 33 |

TOP 10: Vergleich Klassenraumluft mit Büroraumluft

| Name | 90 %-Wert Klassenraum | | 90 %-Wert Büroraum | | IRW BGIA $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|---|
| | n | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | n | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| TVOC | 349 | 631 | 471 | 1000 | 1000 |
| Formaldehyd | 371 | 57 | 419 | 60 | 60 |
| 2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol | 270 | 29 | 554 | 5 | 5 |
| Toluol | 353 | 26 | 607 | 64 | 64 |
| Butan-1-ol | 319 | 25 | 600 | 31 | 31 |
| 2-Ethylhexan-1-ol | 321 | 22 | 401 | 18 | 18 |
| Hexanal | 342 | 22 | 173 | 63 | 63 |
| Limonen | 352 | 20 | 608 | 27 | 27 |
| 2-Butoxyethanol | 321 | 20 | 563 | 15 | 15 |
| 2-Phenoxyethanol | 269 | 20 | 564 | 5 | 5 |

Reduzierung von Schadstoffbelastungen durch Stoßlüftung und Fenster auf Kippe



Messung in natürlich belüfteten Räumen:

→ Nach vorangegangener intensiver 15-minütiger Lüftung Fenster und Türen des Raumes 8 h (am besten über Nacht) geschlossen halten.

Messung in Räumen mit Klimaanlage:

Messung unter üblichen Betriebsbedingungen. Die Anlage muss wenigstens 3 h vor der Probenahme in Betrieb genommen werden.

→ Analogieschluss:

In Räumen, **für die Lüftungsanweisungen vorliegen (z. B. in Schulen und Kindergärten)**, ist vor der Messung ein vollständiger und typischer Nutzungszyklus abzuwarten.



MVOC-Belastungen

→ In mindestens 50 % der untersuchten Räume wäre mikrobieller Befall sehr wahrscheinlich gewesen.



CO₂-Belastungen

„Ich bin auf das Lebendigste überzeugt, dass wir die Gesundheit unserer Jugend wesentlich stärken würden, wenn wir in den Schulhäusern, in denen sie durchschnittlich fast den fünften Teil des Tages verbringt, die Luft stets so gut und rein erhalten würden, dass ihr Kohlensäuregehalt nie über 1 pro Mille anwachsen könnte.“

Zielwerte UBA-Empfehlungen



< 1000 ppm

Hygienisch unbedenklich → Keine weiteren Maßnahmen

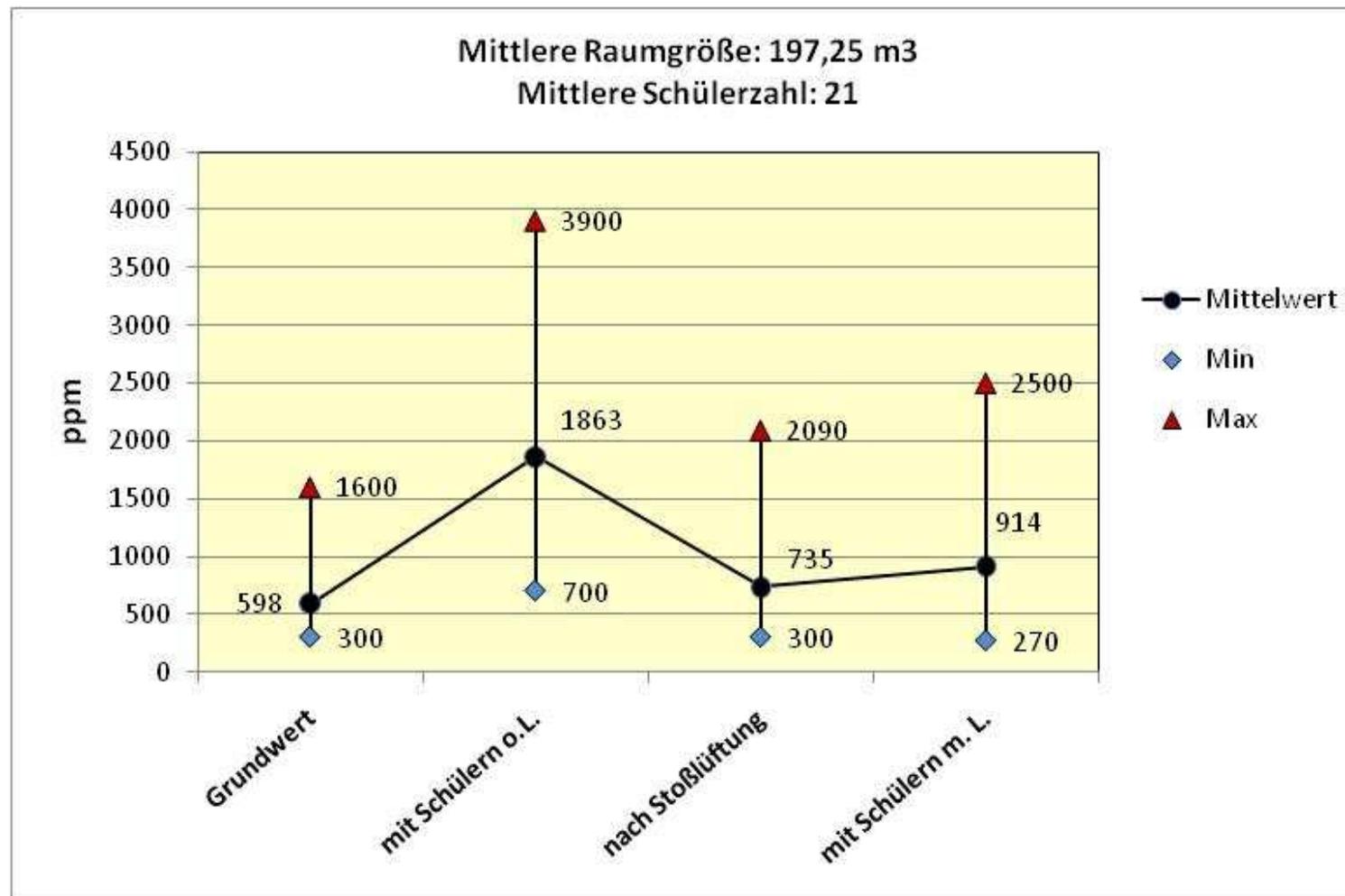
1000–2000 ppm

**Hygienisch auffällig → Lüftungsmaßnahmen,
Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern**

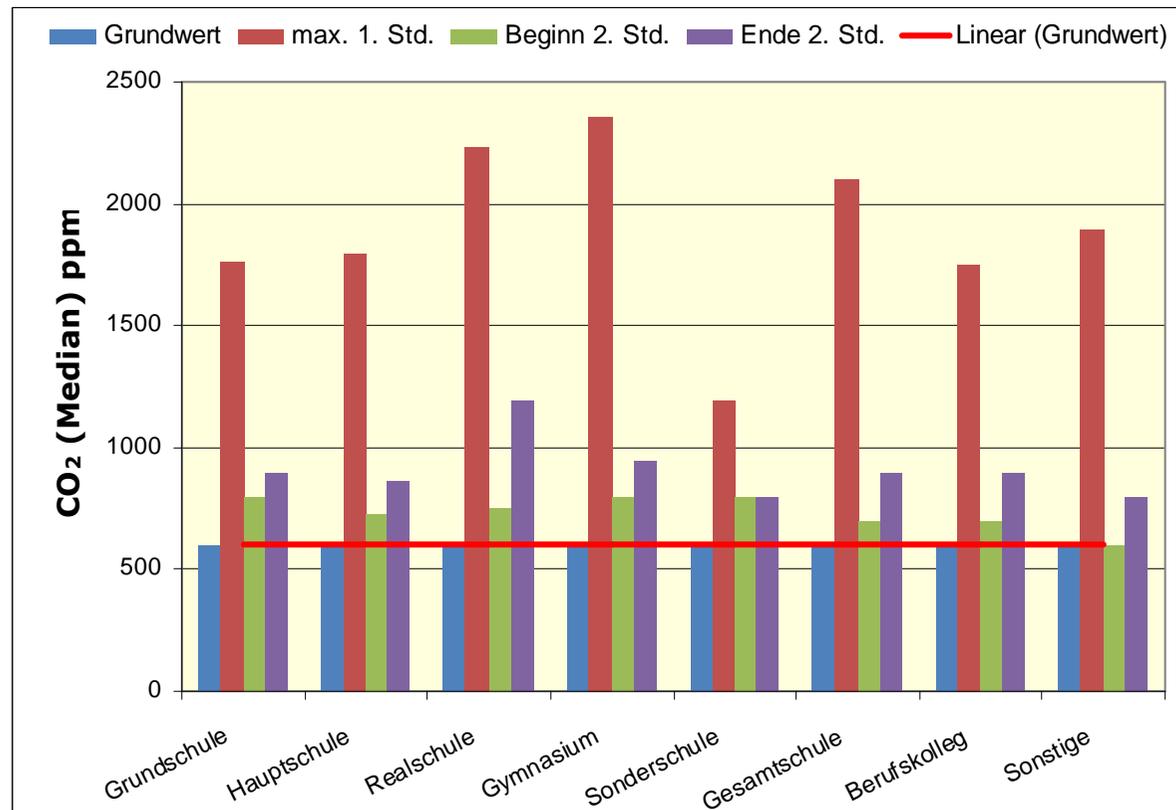
> 2000 ppm

**Hygienisch inakzeptabel → Belüftbarkeit des Raums prüfen,
ggf. weitergehende Maßnahmen prüfen**

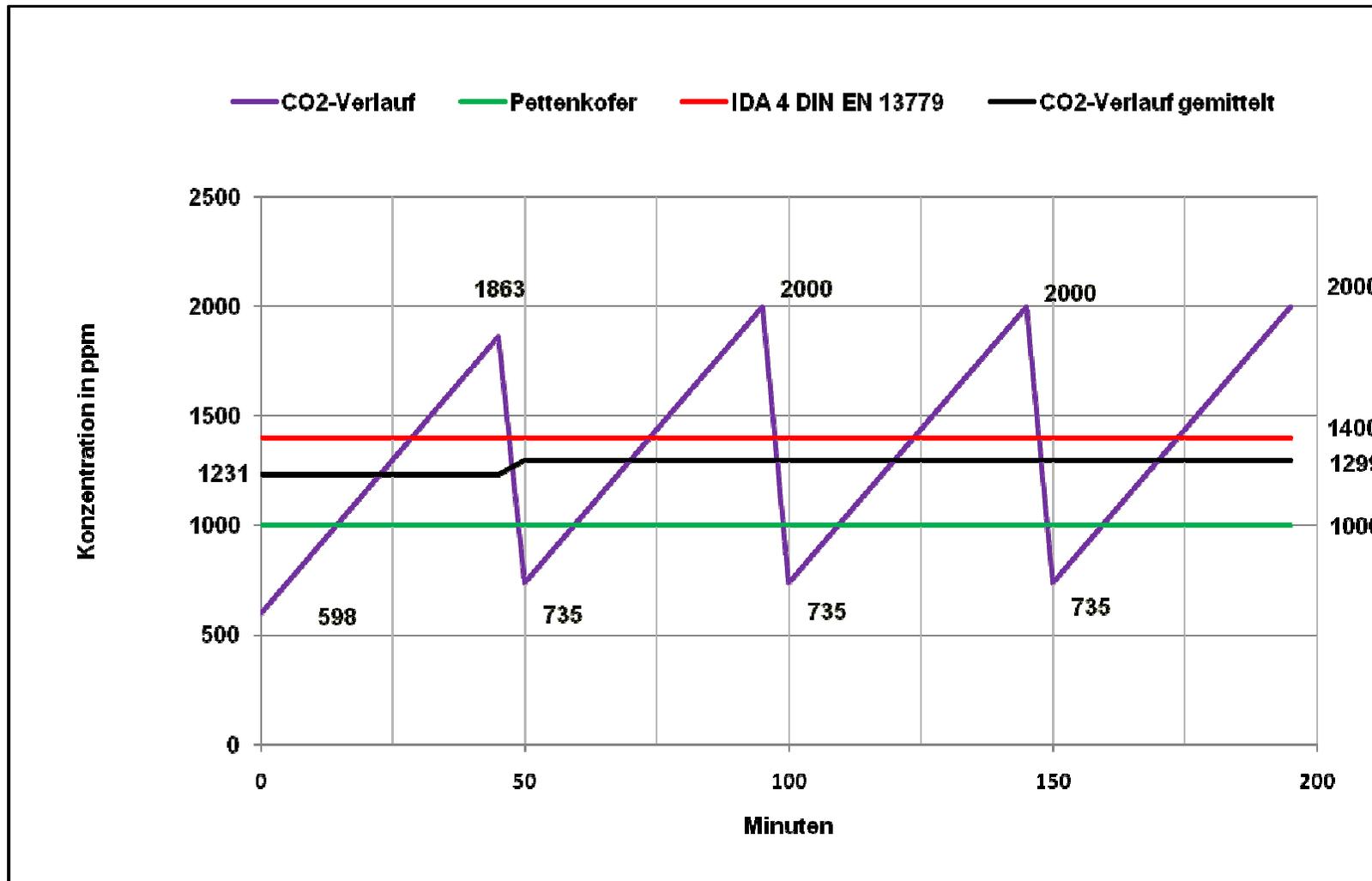
Alle Schulen (111 Schulen / 378 Räume)



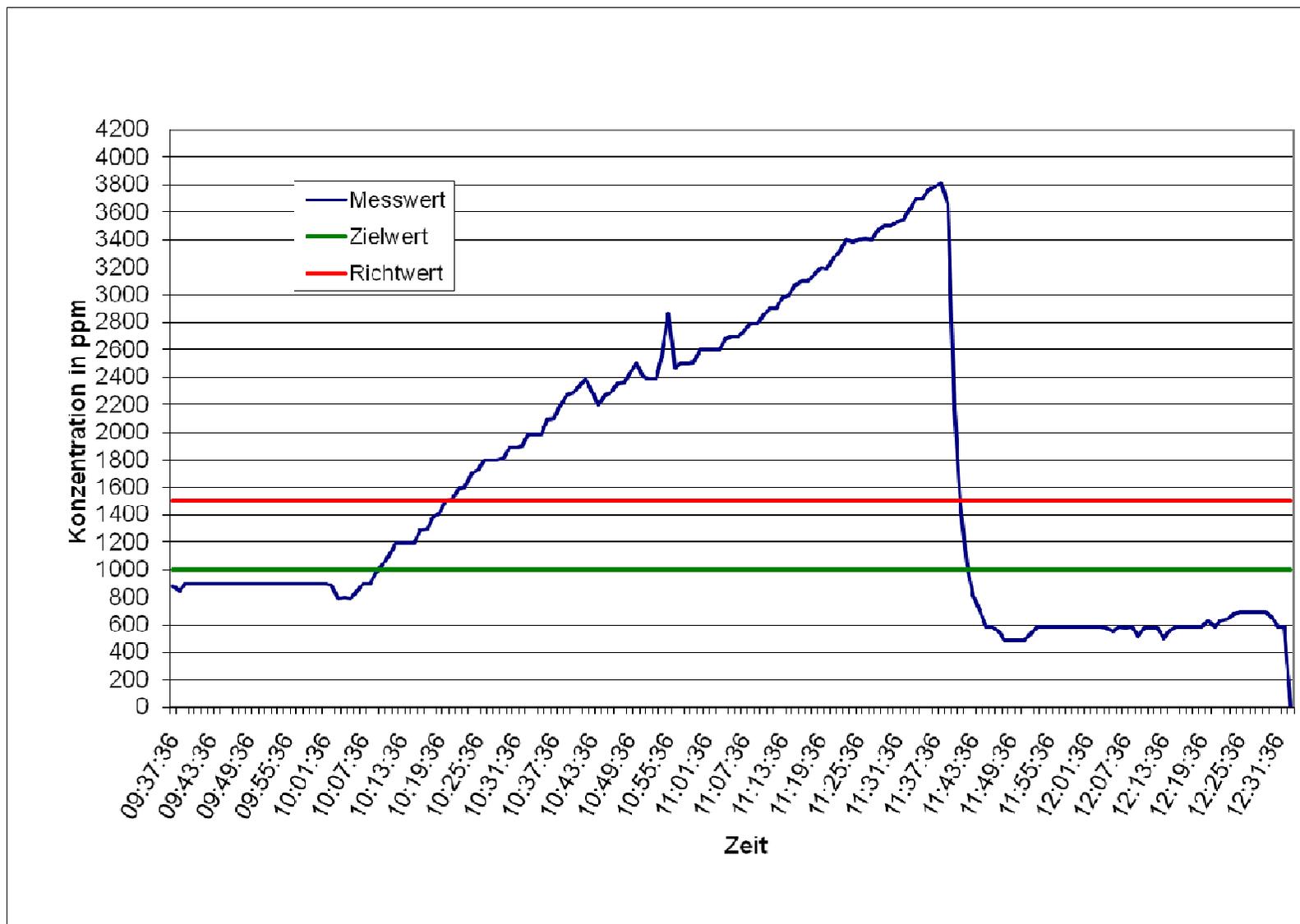
Alle Schulformen im Vergleich



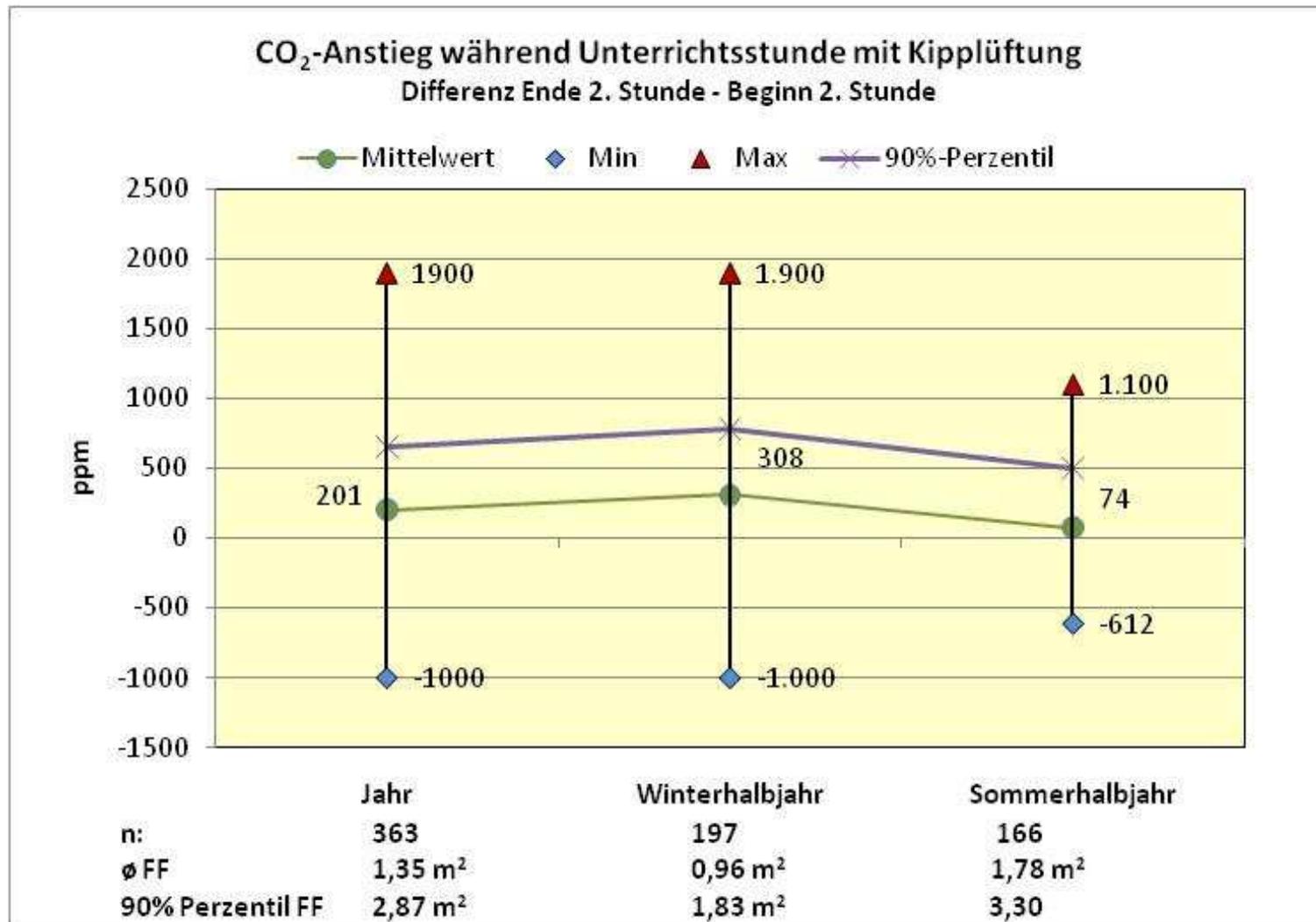
Abschätzung der mittleren CO₂-Belastung in Klassenzimmern mit Stoßlüftung nach jeder Schulstunde



CO₂-Belastungen in einer Grundschulklasse bei unterlassener Stoßlüftung



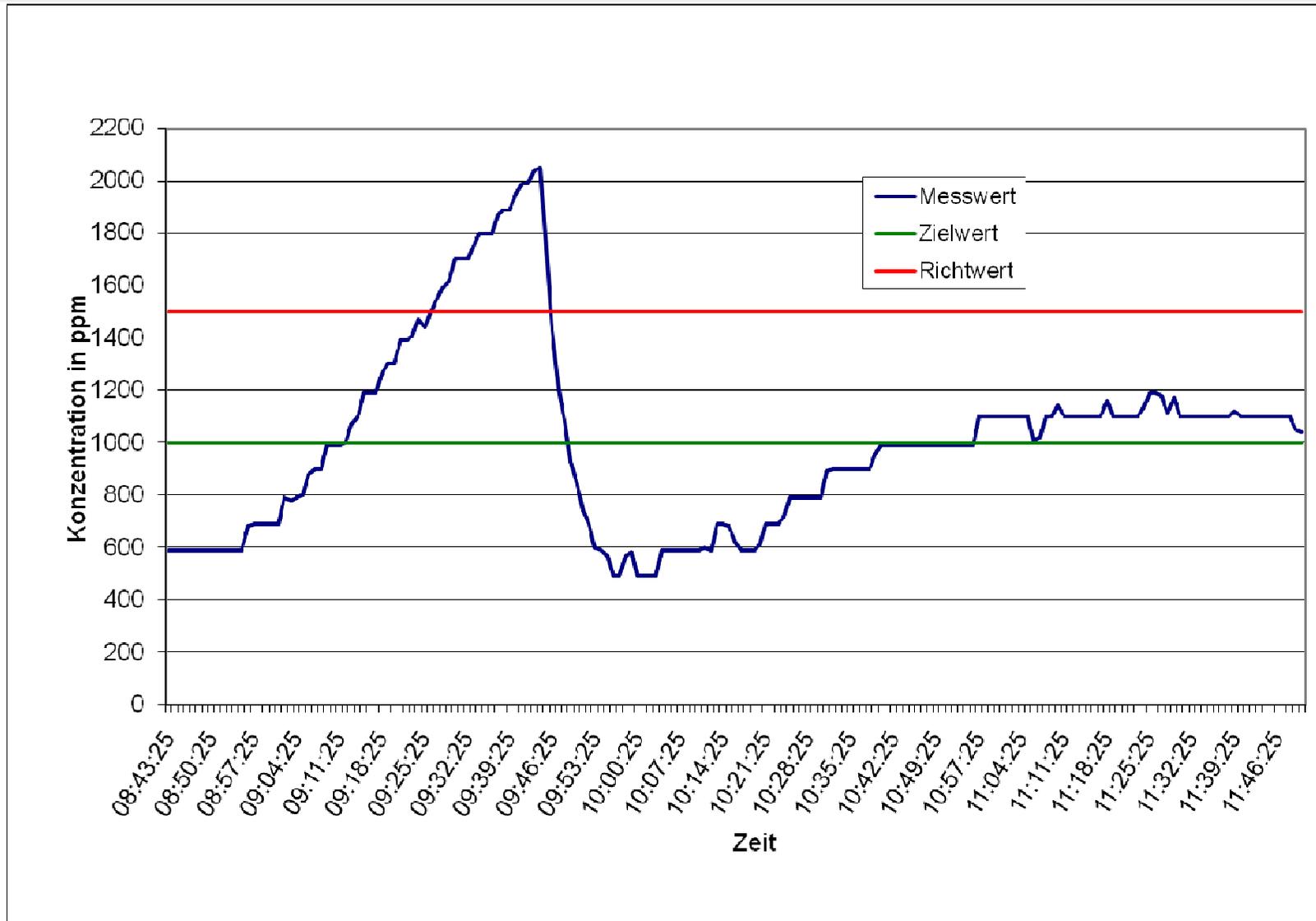
CO₂-Anstiege halbjahresbezogen



- **Freie Lüftungsöffnung: 0,35 m²/Person**
- **Auslegung: 30 Personen pro Klassenraum**
- **Mittlere freie Lüftungsöffnung: 10,5 m²**

- **Abweichung sind möglich, wenn Zielwerte bei geringeren Lüftungsquerschnitten erreicht werden**
- **Dokumentation in Gefährdungsbeurteilung**

CO₂-Belastungen in einer Grundschulklasse mit mechanischer Lüftung in Passivhausbauart



Einfluss der CO₂-Konzentration auf den Unterricht

- **Myhrvold et al. (1996)**
 - 548 Schüler aus 22 Klassen im Alter zwischen 15 und 20 Jahren
 - CO₂ > 1500ppm verursacht deutliche Zunahme von Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel und Konzentrationsschwäche
- **Wargocki und Wyon (2006)**
 - 10 - 12 Jahre alte Schülern in 2 dänischen Parallelklassen
 - CO₂ <1000ppm erhöht die Leistungsfähigkeit hinsichtlich Schnelligkeit und Fehlerfreiheit
- **Tiesler et al. (2008)**
 - Aufmerksamkeitstest vor und nach 225 Unterrichtsstunden in 2 Grund- und einer Gesamtschule
 - CO₂ <1000ppm senkt die Herzfrequenz, erhöht die Aufmerksamkeitsleistung, intensiviert die Kommunikation, verringert die Störungsaktivität und reduziert den Schallpegel

Schallbelastungen im Unterricht gemittelt über alle Schulformen

| | n | Ø LAeq | Ø LAeq | LAeq min | LAeq max |
|------------------|-----|--------|--------|-------------|-------------|
| Gesamt | 555 | 64,3 | 70,6 | 49,4 | 92,1 |
| 1. Stunde | 280 | 63,3 | 69,7 | 54,7 | 81,5 |
| 2. Stunde | 275 | 65,3 | 71,6 | 49,4 | 92,1 |

Luftqualität in Klassenräumen

- Zusammenfassung -

1. Die VOC- und Aldehydkonzentrationen in Klassenräumen sind im Regelfall niedriger als in Büroräumen.
2. Problematisch ist die CO₂-Belastung bei mangelnder Lüftung.
3. Durch natürliche Lüftung mittels Stoßlüftung in den Pausen und Fenster in Kippstellung während des Unterrichts lässt sich jedoch eine gute Luftqualität in Klassenräumen einstellen.
4. Auch VOC-Belastungen lassen sich durch gute Lüftung deutlich reduzieren.
5. Dauerlüftung über Fenster in Kippstellung entsprechen jedoch nicht dem Energiespargebot.
6. Entscheidung für eine verbotswidrige Handlung ist erforderlich
→ Entweder gute Luft nach Arbeitsstättenrecht
oder Energiesparen nach Energieeinsparanforderungen.
7. Alternativen in Form von mechanischer Lüftung sind möglich.