

# Wohlbefinden von Kindern in Schulen – Einfluss der klimatischen Bedingungen & der Luftqualität



24. WaBoLu-Innenraumtage  
15.-17. Mai 2017, Berlin

Dr. Alexandra Schieweck  
Fraunhofer WKI  
Materialanalytik und Innenluftchemie (MAIC)

©Helmut Herreiner  
© Fraunhofer WKI



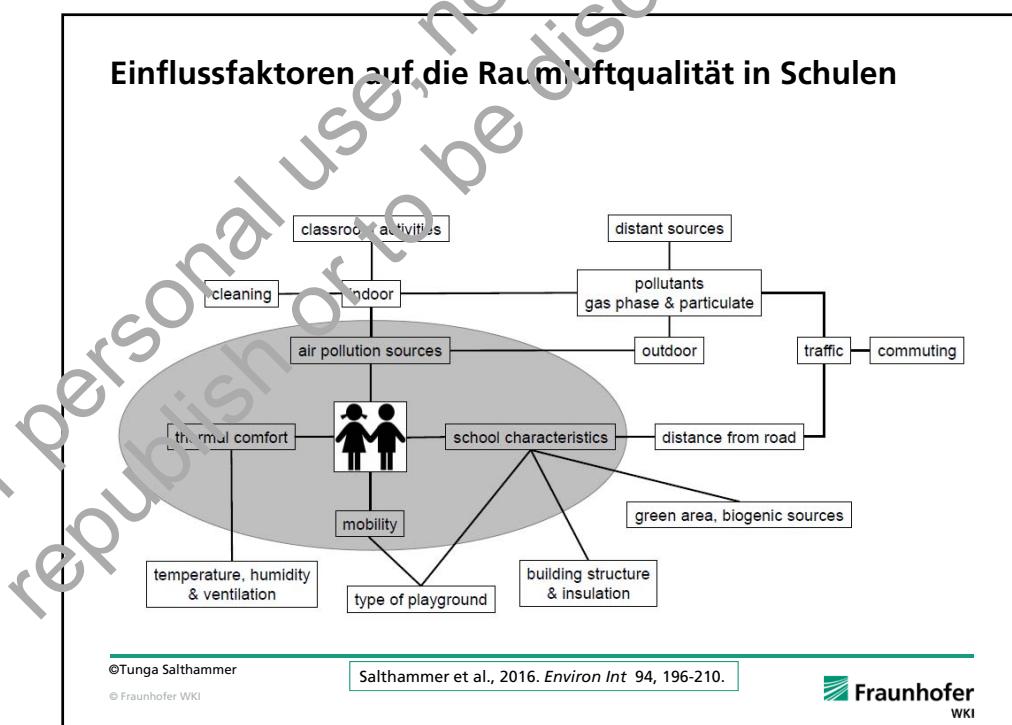
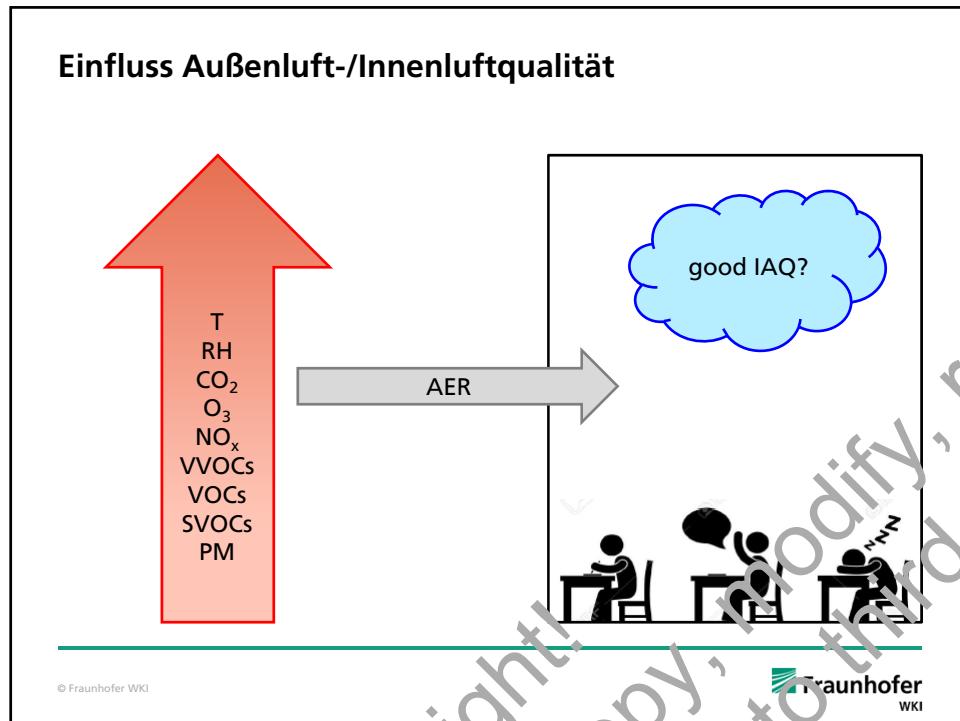
## Wohlbefinden von Kindern in Schulen

- Hohe Personenanzahl bei begrenztem Raumvolumen
- Lange Aufenthaltsdauer  
bis zu 8h/täglich  
~20% der gesamten Zeit/Jahr
- Körperliche Aktivität in Abhängigkeit vom Alter der Schüler
- CO<sub>2</sub>: Referenzwert für Innenluftqualität
- hohe CO<sub>2</sub>-Werte → schlechte Luftqualität, Anreicherung anderer Luftfremdstoffe
- Lehrer & Schüler: Lüftungstätigkeit primär gemäß thermischer Behaglichkeit

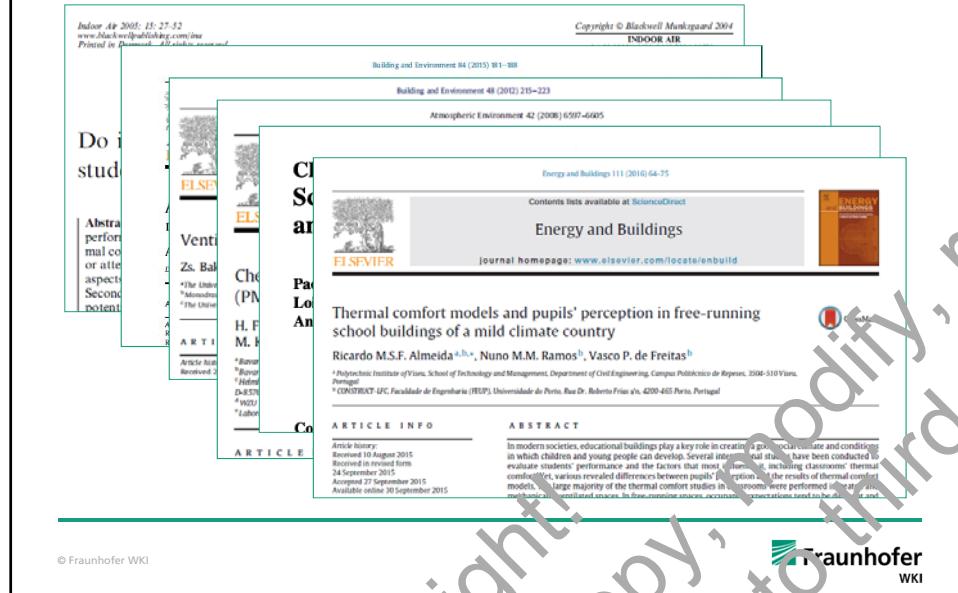


©picture-alliance/dpa/dpaweb  
© Fraunhofer WKI

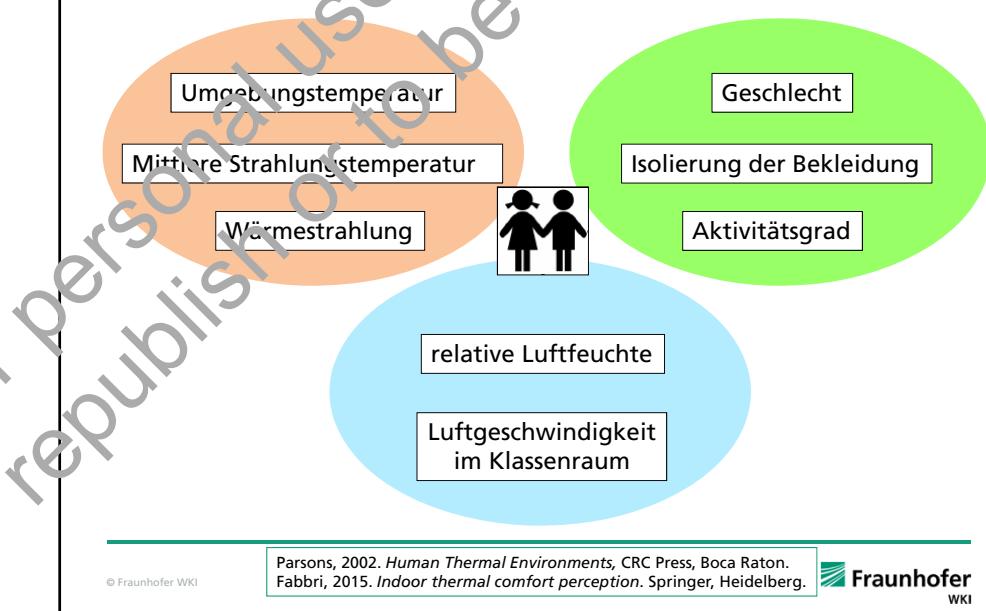




## Forschungsschwerpunkte



## Thermische Behaglichkeit - Einflussfaktoren

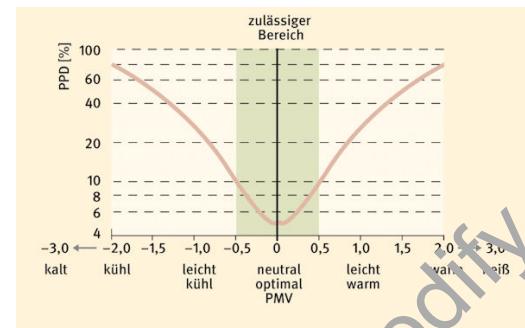


## Thermische Behaglichkeit - Bewertungsmodelle

Vorhergesagtes mittleres Votum  
(Predicted Mean Vote, PMV)

deutsch	english
heiß	hot
warm	warm
leicht warm	slightly warm
neutral	neutral
leicht kühl	slightly cool
kühl	cool
kalt	cold

PMV + Prozentsatz Unzufriedener  
(Predicted Percentage Dissatisfied, PPD)



### Fanger

- Unabhängigkeit von regionalen & saisonalen Unterschieden
- Gleichsetzung von thermischem Empfinden und thermischer Behaglichkeit

©BINE Informationsdienst

Fanger, 1970. *Thermal comfort*. McGraw-Hill, New York.

© Fraunhofer WKI

Fraunhofer  
WKI

## Thermische Behaglichkeit - Einflussfaktoren

Umgebungstemperatur

Mittlere Strahlungstemperatur

Wärmestrahlung

relative Luftfeuchte

Luftgeschwindigkeit  
im Klassenraum

Geschlecht

Dämmung der Bekleidung

Aktivitätsgrad

Physikalische & physiologische  
Aspekte

Akzeptanzgrad

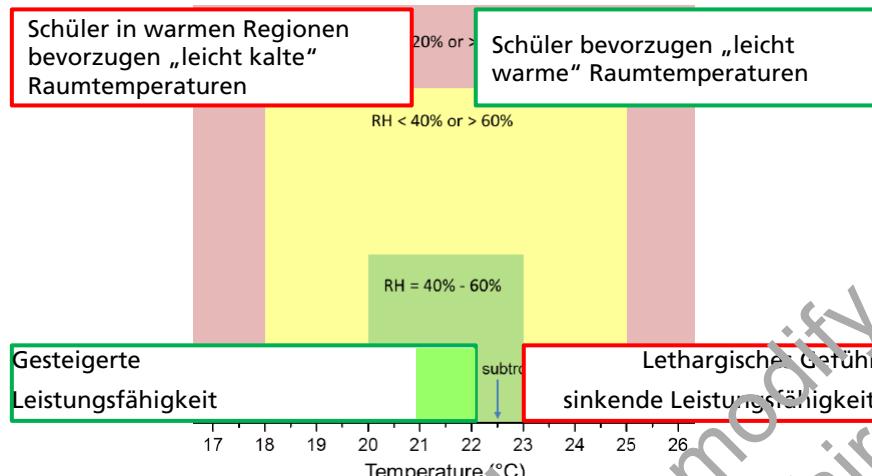
Erwartungshaltung

© Fraunhofer WKI

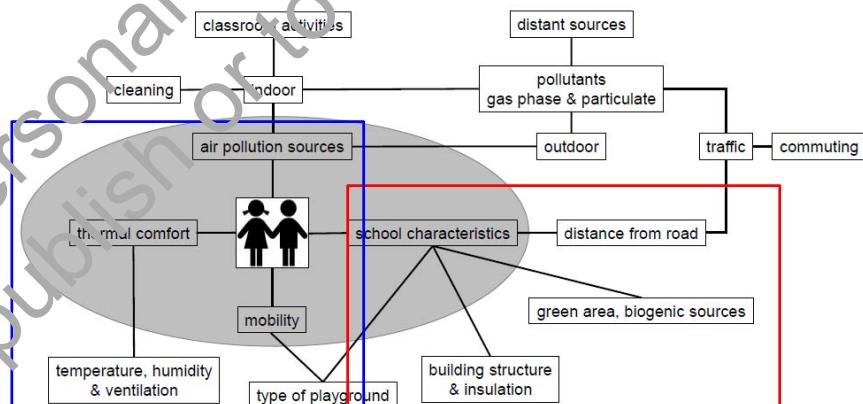
DIN EN 15251, 2012.

Fraunhofer  
WKI

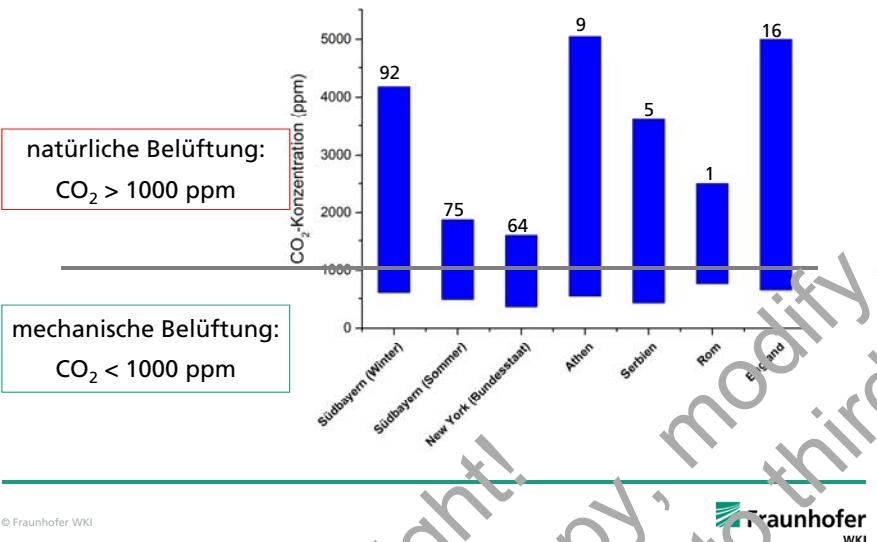
## Thermische Behaglichkeit in Schulen



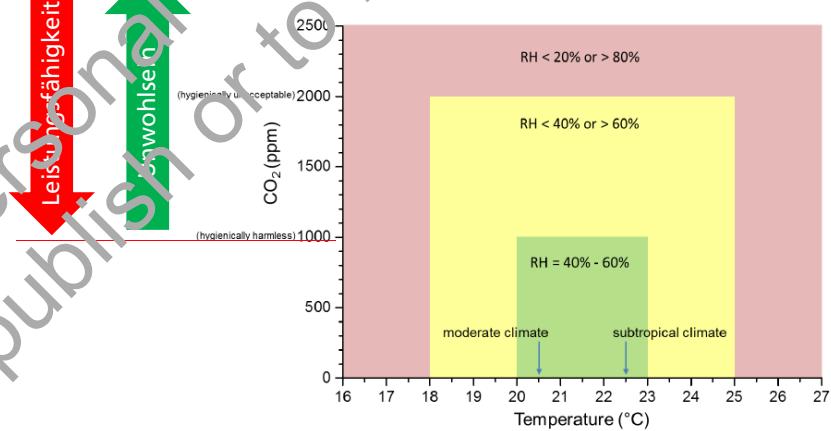
## Einflussfaktoren auf die Raumluftqualität in Schulen

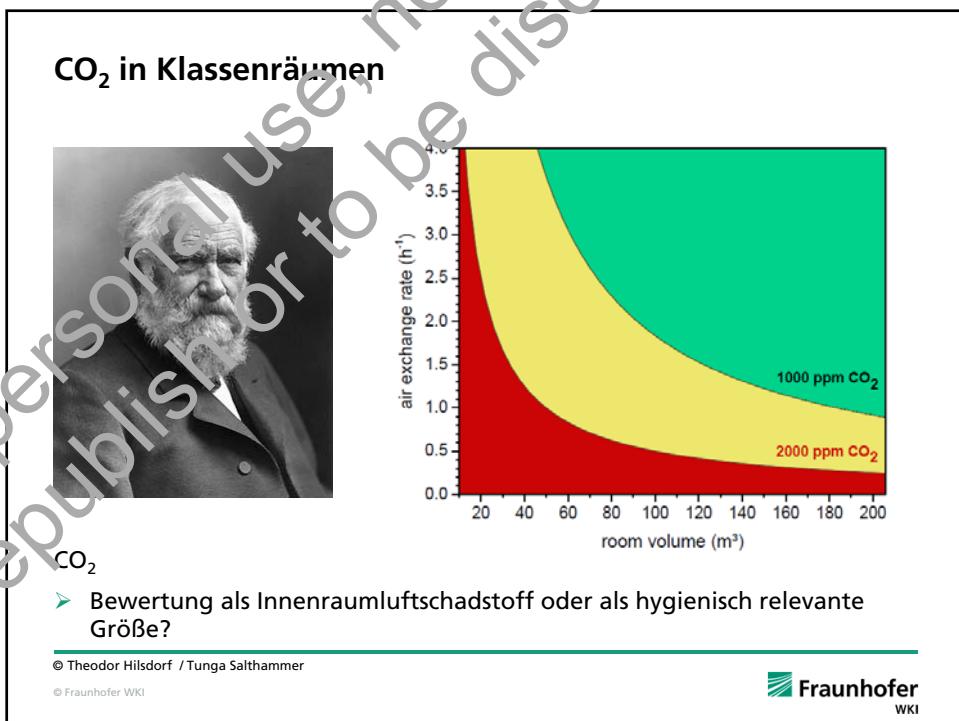
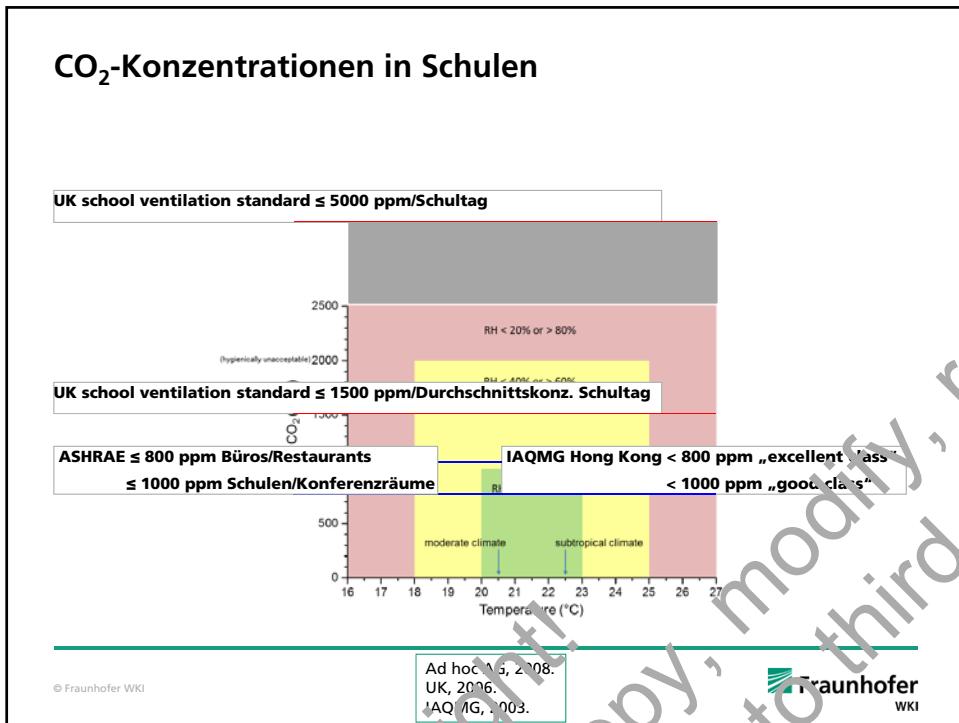


## CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Schulen – regionale Aspekte & Einflüsse der Lüftungsart

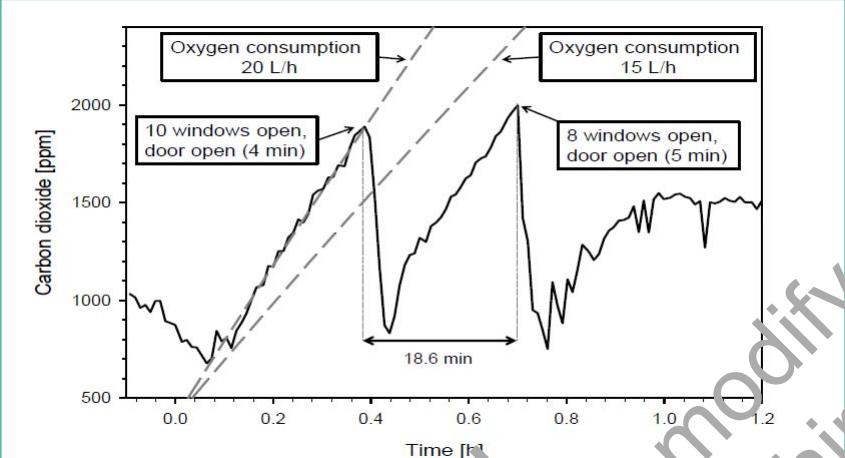


## CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Schulen





## CO<sub>2</sub> in Klassenräumen



©Tobias Schripp

© Fraunhofer WKI

Fraunhofer  
WKI

## CO<sub>2</sub> in Klassenräumen



11:00 h



11:08 h



11:15 h



11:35 h

© Fraunhofer WKI

Fraunhofer  
WKI

## CO<sub>2</sub> in Klassenräumen – saisonale Abhängigkeit

Distribution of classroom-specific median temperature, relative humidity and carbon dioxide in indoor and outdoor air							
	N	Minimum	10th Percentile	Median	90th Percentile	Maximum	Mean
<i>Winter indoor</i>							
Temperature (°C)	91	18	20	22	23	25	22
Relative humidity (%)	91	22	28	38	49	60	38
CO <sub>2</sub> (ppm)	90	598	1009	1608	2724	4172	1759
<i>Winter outdoor</i>							
Temperature (°C)	40	-8	-6	-0.6	5	12	-0.3
Relative humidity (%)	40	42	46	66	81	82	65
CO <sub>2</sub> (ppm)	40	381	385	405	467	490	414
<i>Summer indoor</i>							
Temperature (°C)	75	21	22	24	27	29	25
Relative humidity (%)	75	32	41	51	62	70	51
CO <sub>2</sub> (ppm)	75	480	570	785	1459	1875	890
<i>Summer outdoor</i>							
Temperature (°C)	76	10	12	18	24	26	19
Relative humidity (%)	76	49	52	65	85	91	66
CO <sub>2</sub> (ppm)	38	338	355	383	448	509	391

Fromme et al., 2007. *Atmos Environ* 41, 854-866.

© Fraunhofer WKI



## PM in Klassenräumen – saisonale Abhängigkeit

- Klassenräume mit natürlicher Belüftung
- Hohe saisonale Abhängigkeit mit besonders schlechter IAQ im Winter
- Erhöhte PM-Konzentrationen korrelieren mit kleinen Raumgrößen, hoher Belegungsrate, seltener Reinigung, hoher CO<sub>2</sub>-Konzentration
- Schlechte Luftqualität auch alters-/aktivitätsabhängig (Grundschule)

Distribution of classroom-specific particulate matter concentrations in indoor air of schools using daily medians

	N	Minimum	10th Percentile	Median	90th Percentile	Maximum	Mean
<i>Winter</i>							
PM <sub>2,5</sub> (gravimetrically)	42	4.3	21.5	36.7	62.9	73.1	38.9
PM <sub>2,5</sub> (LAS) <sup>a</sup>	79	2.7	8.8	19.8	44.9	80.8	23.0
PM <sub>10</sub> (LAS)	79	12.3	27.2	63.4	120.0	243.8	71.9
PM <sub>10</sub> (LAS) <sup>a</sup>	79	16.3	43.2	91.5	168.8	313.2	105.0
<i>Summer</i>							
PM <sub>2,5</sub> (gravimetrically)	49	9.8	14.6	20.2	30.9	55.1	22.1
PM <sub>2,5</sub> (LAS) <sup>a</sup>	74	4.6	34.8	12.7	20.9	34.8	13.5
PM <sub>10</sub> (LAS) <sup>a</sup>	74	15.5	20.0	42.9	76.6	121.5	44.8
PM <sub>10</sub> (LAS) <sup>a</sup>	74	18.3	31.8	64.9	124.1	178.4	71.7
Particle number concentration (N cm <sup>-3</sup> ) <sup>a</sup>	36	2,622	3,873	5,660	10,566	12,145	6,509

<sup>a</sup>Computed using median daily values; LAS: laser aerosol spectrometer (real-time monitoring).Fromme et al., 2007. *Atmos Environ* 41, 854-866.

© Fraunhofer WKI



## PM in Klassenräumen

- Weiter Bereich von PM-Konzentrationen
  - Ansätze zur Reduktion und Identifizierung von verantwortlichen Faktoren dringend notwendig
- Bislang keine Studien über:
  - Ultrafeinpartikel (UFP)
  - persönliche Exposition gegenüber Partikeln, auch in Bezug auf Umgebungskonzentration
  - Beitrag der Schul-exposition gegenüber der täglichen Gesamtexposition von Schulkindern

	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		N (# cm <sup>-2</sup> )	
	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor
Min	8.0	6.1	3.0	1.7	9 $\times 10^3$	2.0 $\times 10^3$
1 <sup>st</sup> quart.	20	45	15	12	5 $\times 10^3$	5.0 $\times 10^3$
Median	37	105	23	24	5 $\times 10^3$	9.8 $\times 10^3$
3 <sup>rd</sup> quart.	70	186	46	57	23 $\times 10^3$	20 $\times 10^3$
Max	828	1759	435	54	47 $\times 10^3$	8.0 $\times 10^3$

Salthammer et al., 2016. Environ Int 94, 196-210

© Fraunhofer WKI

Fraunhofer  
WKI

## PM in Klassenräumen

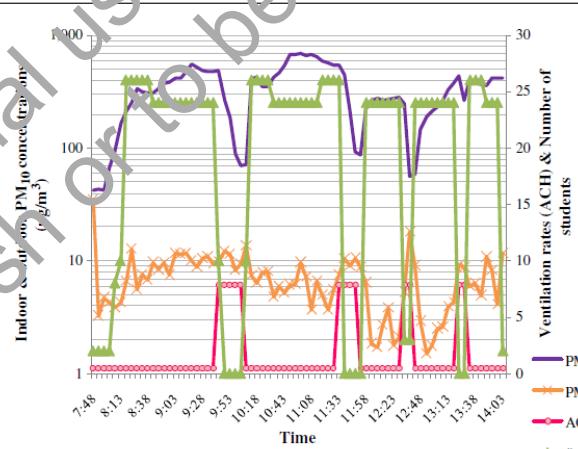


Fig. 14. Diurnal variation of indoor and outdoor PM<sub>10</sub> concentrations as a function of the number of students and the ventilation rates (8/4/13, School 1).

Dorizas et al., 2015. Sci Total Environ 502, 557-570.

© Fraunhofer WKI

Fraunhofer  
WKI

## Innenraumquellen für Luftfremdstoffe in Schulen

- Innenraumtypische Quellen
  - Baumaterialien
  - Mobiliar
- VOC/SVOC
  - Flammschutzmittel
  - Polychlorierte Biphenyle (PCBs)



© Fraunhofer WKI



## Innenraumquellen für Luftfremdstoffe in Schulen

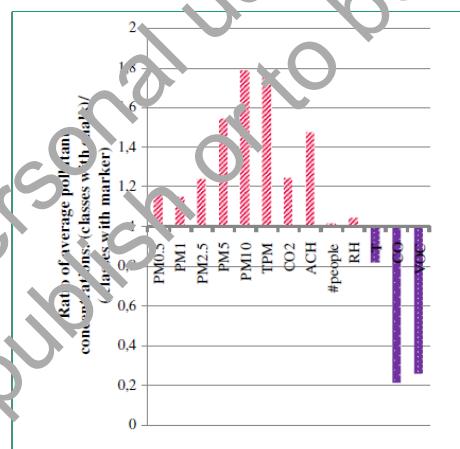
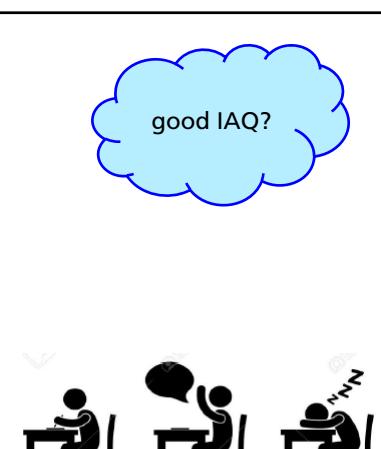


Fig. 17. Ratio of averaged values in classrooms using chalk to the ones using marker.



© Fraunhofer WKI

Dorizas et al., 2015. *Sci Total Environ* 502, 557-570.



## Gesundheitliche Auswirkungen

- Kinder: stärkere Exposition als Erwachsene durch höhere Inhalationsrate und höheres Aktivitätslevel
- Auswirkungen auf Atem-/Herz-Kreislauf-System nicht immer eindeutig identifizierbar
- Bronchitis-Symptome, Atemwegsentzündungen und verringerte Lungenfunktion → frühkindliche Exposition gegenüber PM<sub>2,5</sub>
- Verkehrsbezogene Schadstoffe → Astma, verlangsamte Lernentwicklung
- Verbesserung des Atemsystems bei 11-15 Jahren alten Schulkindern durch Verbesserung der Luftqualität (NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>) über 4 Jahre

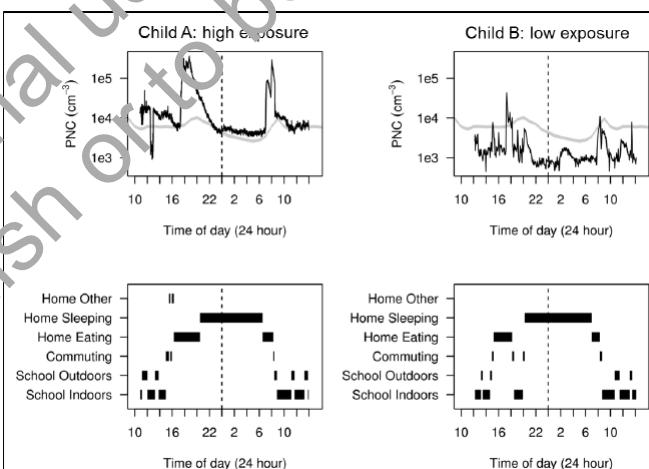


© Fraunhofer WKI

McConnell et al. 2003. *Environ. Health Perspect* 118, 1021-1026.  
 Morgenstern et al. 2008. *Am. J. Respir. Crit. Care* 177, 1331-1337.  
 Gauderman et al., 2015. *N. Engl. J. Med.* 372, 905-913.

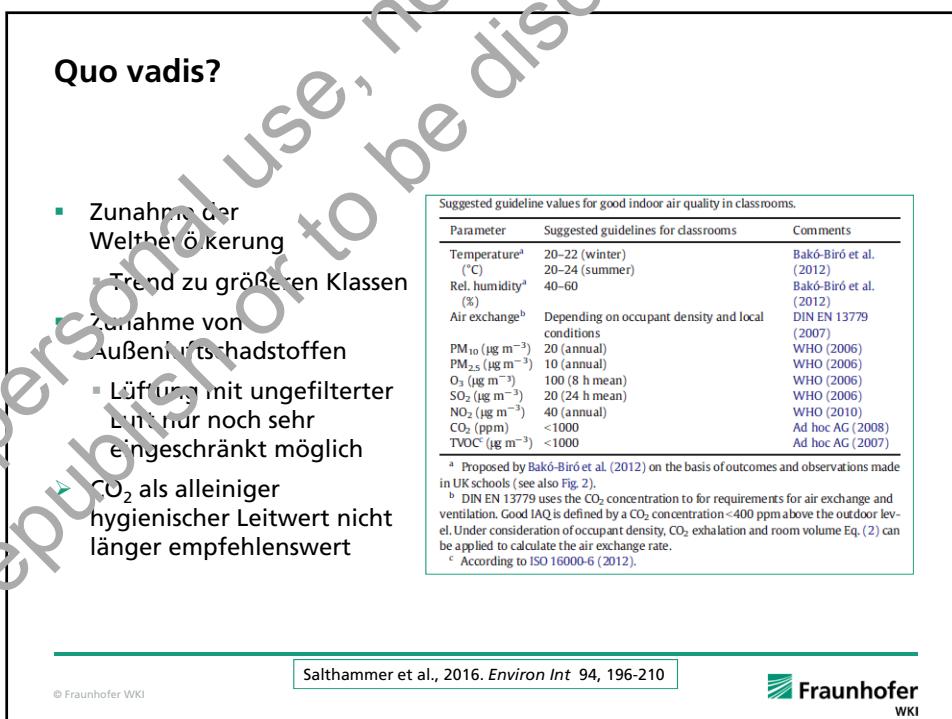
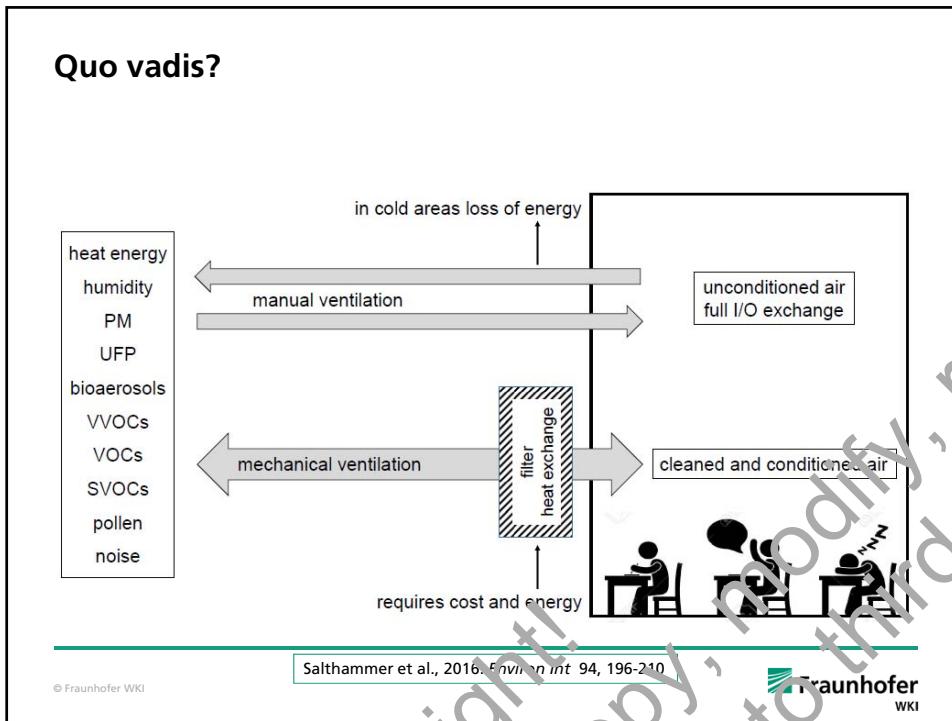
 **Fraunhofer**  
WKI

## Gesundheitliche Auswirkungen - Expositionsrouten

Mazaheri et al. 2016. *Environ. Int.* 88, 142-149.

© Fraunhofer WKI

 **Fraunhofer**  
WKI



## Zusammenfassung

- Kinder verbringen viel Zeit in Schulen
- Auswirkungen dieser Exposition können weit über das normale Maß hinausgehen, ggf. zu lebenslanger Krankheitsbelastung führen
- Gesundes und komfortables Umfeld für physisches und mentales Wachstum
- Gesundheitliche Auswirkungen: inkonsistente und limitierte Aussagen
- Forschungsbedarf hinsichtlich der Übertragung gesundheitlicher Modelle und Richtwerte von Erwachsenen auf Kinder
- Filterung von zugeführter Außenluft → Energieverbrauch von Schulen
- Erzielen einer gesunden Innenluft vor dem Hintergrund des Klimawandels
- Notwendigkeit, komplexes Schulumfeld zu verstehen, um thermisches Wohlbefinden und Lüftungsstrategien optimieren zu können

© Fraunhofer WKI



Environment International 94 (2016) 196–210  
 Content lists available at ScienceDirect  
**Environment International**  
 journal homepage: [www.elsevier.com/locate/envint](http://www.elsevier.com/locate/envint)

**Review article**

Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution

T. U. G. Salzhamer <sup>a,b,\*</sup>, Erik Uhde <sup>a</sup>, Tobias Schripp <sup>a</sup>, Alexandra Schiweck <sup>a</sup>, Lidia Morawska <sup>b,c</sup>,  
 Marcellina Mazzolini <sup>b,c</sup>, Sam Clifford <sup>b,c</sup>, Congrong He <sup>b,c</sup>, Giorgio Buonanno <sup>b,d</sup>, Xavier Querol <sup>e</sup>,  
 Mai Viana <sup>e</sup>, Prashant Kumar <sup>f,g</sup>

<sup>a</sup> Institute WKI, University of Applied Sciences and Federal Institute, Bochum, Germany  
<sup>b</sup> Institute for Health and Quality of Health, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia  
<sup>c</sup> Institute for Health and Biomedical Innovation, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia  
<sup>d</sup> Department of Civil and Mechanical Engineering, University of Cassata and Southern Lazio, Italy  
<sup>e</sup> Spanish Council for Scientific Research, Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA-CSIC), Spain  
<sup>f</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Physical Sciences (FEPS), University of Surrey, Guildford, GU2 7XH Surrey, UK  
<sup>g</sup> Environmental Health (EnvHealth) Research Group, MRC Environmental Epidemiology Unit, University of Southampton, Southampton SO16 7QH, UK  
<sup>h</sup> School of Mathematical Sciences, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia

**ARTICLE INFO**

Article history:  
 Received 4 February 2016  
 Received in revised form 8 May 2016  
 Accepted 8 May 2016  
 Available online 1 June 2016

**Keywords:**  
 Thermal comfort  
 Ventilation  
 Carbon dioxide

**ABSTRACT**

Human civilization is currently facing two particular challenges: population growth with a strong trend towards urbanization and climate change. The latter is now no longer seriously questioned. The primary concern is to limit anthropogenic climate change and to adapt our societies to its effects. Schools are a key part of the structure of our societies. If future generations are to take control of the manifold global problems, we have to offer our children the best possible infrastructure for their education; not only in terms of the didactic concepts, but also with regard to the climatic conditions in the school environment. Between the ages of 6 and 19, children spend up to 8 h a day in classrooms. The conditions are, however, often unacceptable and regardless of the geographic situation, all the current studies report similar problems: classrooms being too small for the high number of school children, poor ventilation concepts, considerable outdoor air pollution and strong sources of indoor air pollution.

© Fraunhofer WKI



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

© Fraunhofer WKI