



# Raumlufthygienische Aspekte bei der Messung und Bewertung von Emissionen in der Praxis

Peter Tappler

Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter  
Sachverständiger

Arbeitskreis Innenraumluft am BMLFUW

IBO Innenraumanalytik OG

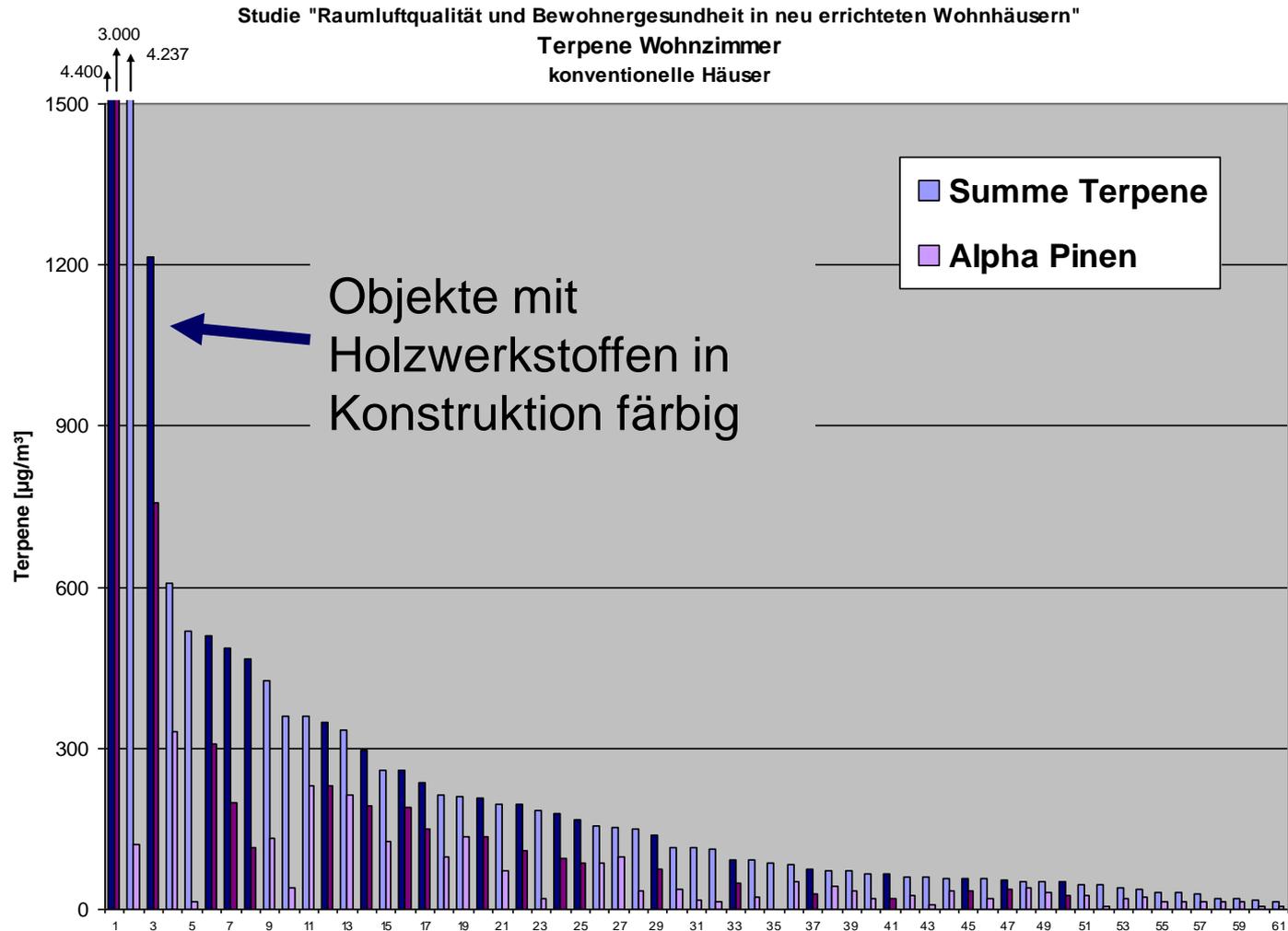


# Ziele einer Innenraummessung

- Bewertung, ob Substanzen in der Raumluft eine Belästigung bzw. eine gesundheitliche Gefährdung darstellen:  
**Vergleich mit Grenz- und Richtwerten**
- Screening der Qualität der Innenraumluft, bspw. auf VOC, Formaldehyd, Gerüche:  
**Abschätzung der Größenordnung**
- Bewertungen im Rahmen von Gebäude-Pässen:  
**Einordnung in Kategorien**

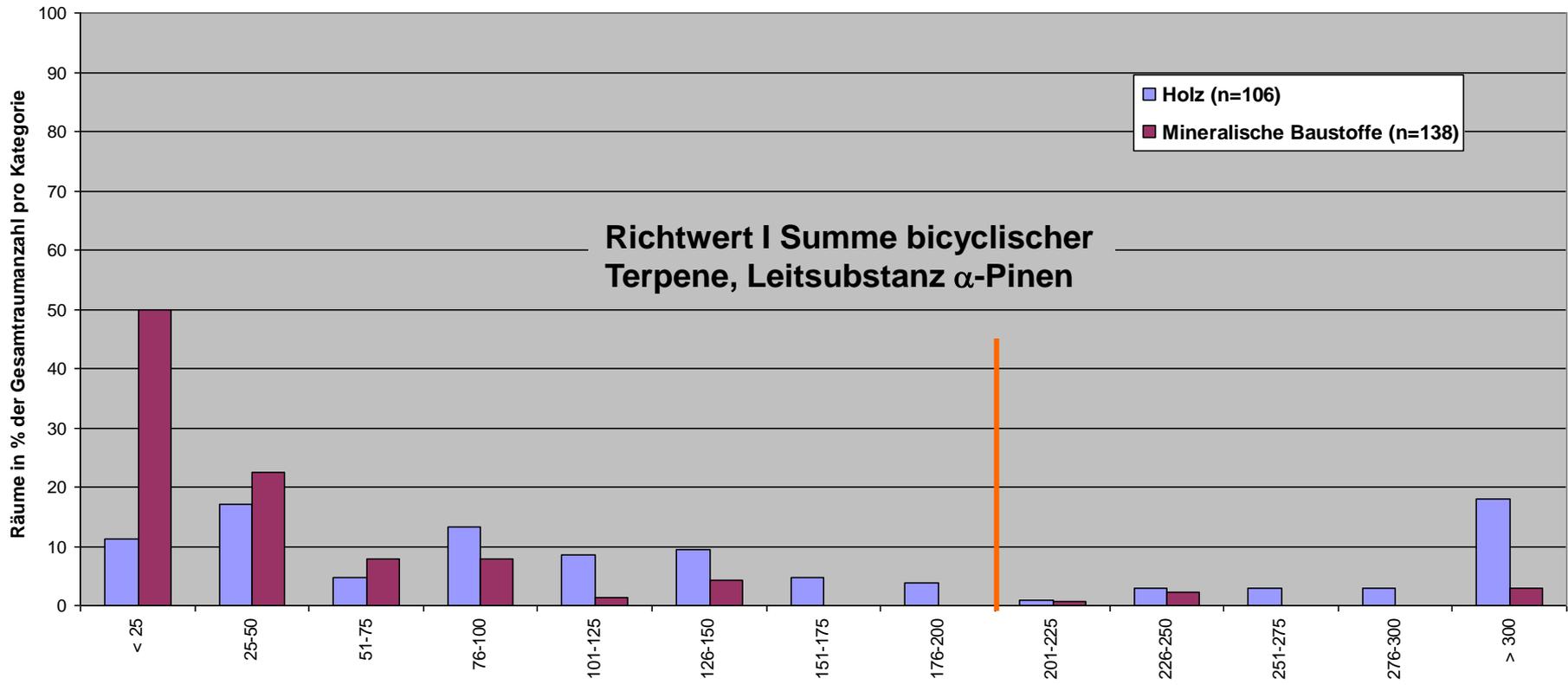


# Projekt Passivhaus 3.0 Ergebnisse Terpene



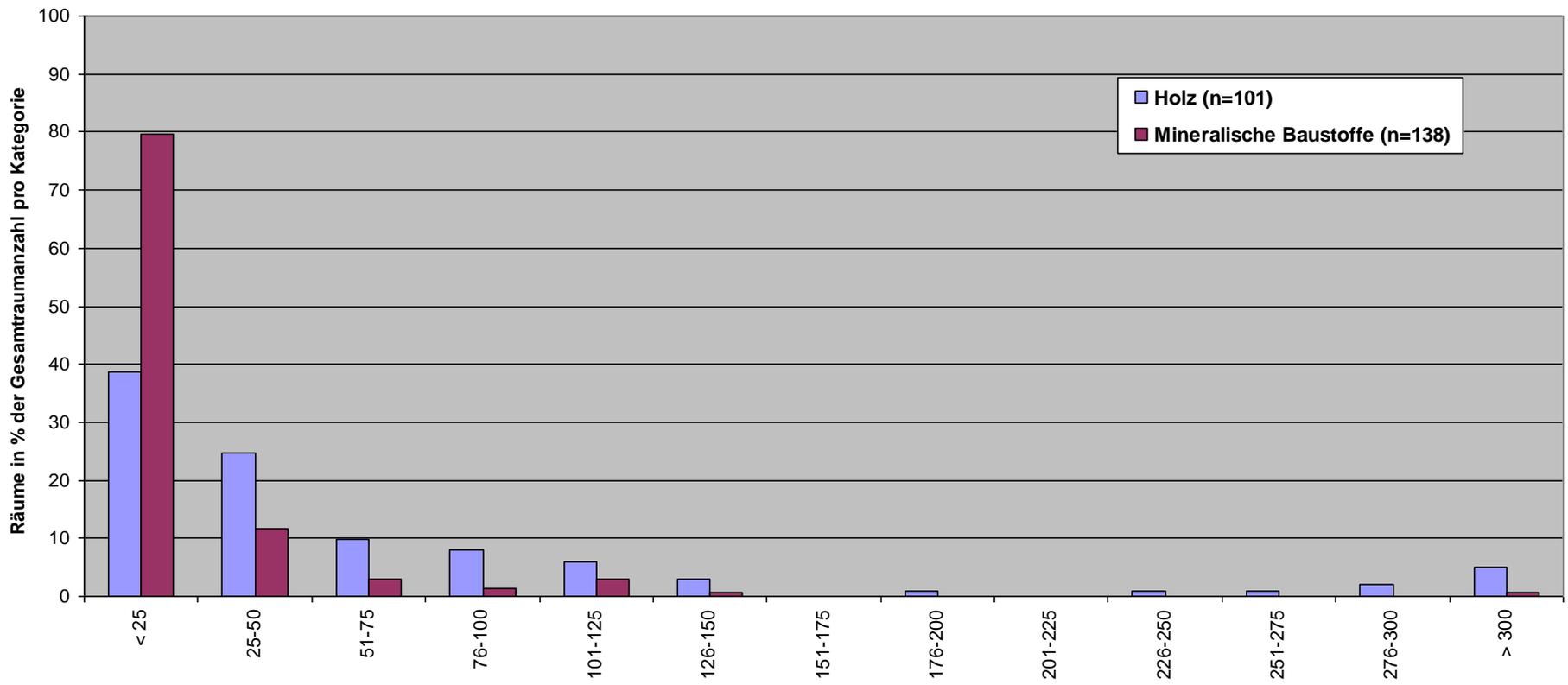
# Verteilung $\alpha$ -Pinen (3 Monate nach Bezug)

Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern  
**Alpha Pinen WZ/SZ - Ersttermin (3 Monate nach Bezug)**  
 Mechanisch und natürlich belüftete Wohnhäuser



# Verteilung $\alpha$ -Pinen (15 Monate nach Bezug)

Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern  
**Alpha Pinen WZ/SZ - Folgetermin (15 Monate nach Bezug)**  
 Mechanisch und natürlich belüftete Wohnhäuser



# Vorstellung von Betroffenen

- Annahme permanent emittierende Quelle und konstante Lüftungssituation: Experte erscheint vor Ort und misst die Raumluft
- Die Konzentration wird mit Richtwert verglichen: größer oder kleiner
- Kleiner: alles in Ordnung
- Größer: Handlungsbedarf, Sanierungsbedarf, **Sperre der Räume, Schadenersatz.....**



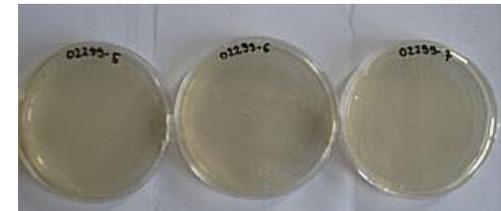
# Probleme aller Innenraummessungen

- Nicht alles ist messbar
- Intermittierende Quellen
- Zeitlich zum Teil extrem, sich verändernde Werte auf Grund schwankendem:
  - Winddruck, Luftwechsel
  - Temperatur und Luftfeuchte im Raum
  - Druckverhältnisse im Gebäude
  - Nicht konstanter Quellstärke (ab- oder zunehmend)
- Aussage „Überschreitung“ oder „Unterschreitung“ ist statistisch betrachtet nicht trivial, sondern ziemlich tricky



# Analytiker sind praktische Leute

- Praktiker wählen gerne die einfachsten Zugänge
- Besser eine Messung ohne fundierte Aussage als keine Messung infolge fehlender Ressourcen
- Der Kunde will schnelle und klare Ergebnisse, keine analytischen Spitzfindigkeiten
- Konkurrenz der Schnelltests: „Wenn es auch so einfach geht, warum geht das nicht auch bei Ihnen?“
  - Sedimentationsplatten in der Schimmelmanalytik
  - kolorimetrische Formaldehyd-Schnelltests
  - VOC-Passivsammler



# Anforderung Nr. 1: Nicht alles ist messbar

Zahlreiche, vermutlich reizende Substanzen  
in der Innenraumluft sind nicht messbar  
bzw. nur indirekt erkennbar

*Wolkoff P et al. (1997): Are we measuring the relevant indoor pollutants?  
Indoor Air 7, 92-106*

*Salthammer T (2000): Verunreinigung der Innenraumluft durch reaktive  
Substanzen – Nachweis und Bedeutung von Sekundärprodukten. Teil III-  
6.4.2 des Handbuch für Bioklimatologie und Lufthygiene, 4. Erg.Lfg.*

- Viele Geruchsstoffe sind in zu geringen  
Konzentrationen vorhanden, um sie zu messen:
  - Sensorische Beurteilung nach AGÖF-Leitfaden
  - VDI 4302-1, ISO 16000-30 (Konzept)
  - Ad-Hoc-AG Geruchspapier



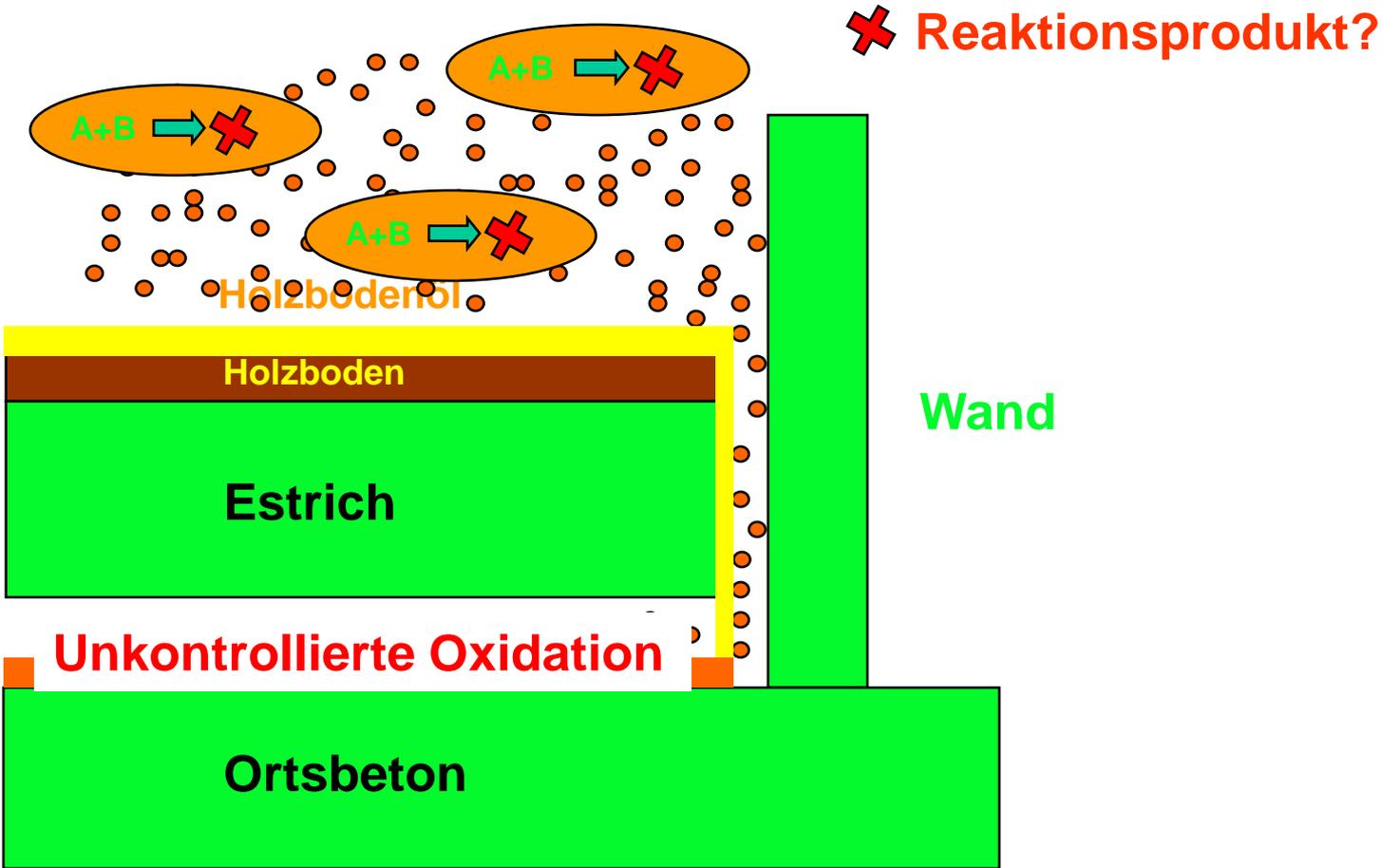
# Beispiele analysierbarer Gerüche

- Styrol (Dichtmassen): VC
- Aromaten (Lösungsmittel)
- Naphtaline (Teerbestandt
- Brandrückstände (Pheno
- 4-PC, Vinylcyclohexen (T
- Heizölgeruch: VOC-Analyse auch ohne charakteristische
- Nasse Glaswolle (Amine, über NH<sub>4</sub>-Röhrchen
- Fäkalien: Indol?
- Butylacetat (Möbellacke):

**Tab. 2** Geruchswahnehmungsschwellen ODT<sub>50</sub> und vorläufige Geruchsleitwerte I und II

Geruchsstoff	CAS-Nr.	ODT <sub>50</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Zitat	vGLW I (mg/m <sup>3</sup> )	vGLW II (mg/m <sup>3</sup> )
Ethanal	75-07-0	2,8	15	0,02	0,1
Butanal	123-72-8	1,4	14	0,008	0,07
Pentanal	110-62-3	1,5	15	0,009	0,07
Hexanal	66-25-1	1,4	14	0,008	0,07
Heptanal	111-71-7	0,9	15	0,005	0,04
Octanal	127-13-0	0,9	14	0,005	0,04
Nonanal	124-19-6	3,2	14	0,02	0,15
Decanal	112-31-2	2,6	15	0,02	0,1
Pentandial	111-30-8	1	9	0,006	0,05
1-Butanol	71-36-3	16	12	0,1	0,8
1-Hexanol	111-27-3	29	12	0,2	1,4
1-Octanol	111-87-5	23	12	0,1	1
Ethylacetat	141-78-6	897	11	5	43
n-Butylacetat	123-86-4	10	11	0,06	0,5
Phenol	108-95-2	22	15	0,1	1
o-Kresol	95-48-7	1,3	15	0,008	0,06
m-Kresol	108-39-4	0,45	15	0,003	0,02
p-Kresol	106-44-5	0,24	15	0,001	0,01
TXIB	6846-50-0	14	8	0,08	0,7
Toluol	108-88-3	300	13	2	14
Ethylbenzol	100-41-4	27	13	0,2	1
1,4-Diethylbenzol	105-05-5	2	15	0,01	0,1
n-Butylbenzol	104-51-8	14	13	0,1	0,7
α-Pinen	80-56-8	100	15	0,6	5
β-Pinen	127-91-3	190	15	1	9
...	...	...	...	...	...

# Naturharz-Holzbodenöl in Büro



# Gerüche durch Oxidation



Linolensäure



Linolsäure



Hexanal

GLW II in mg/m<sup>3</sup>

0,070



n-Caprinsäure



Nonanal

0,15

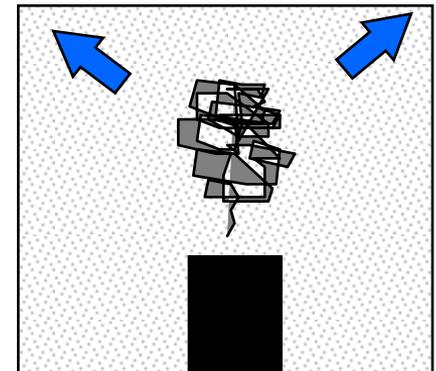
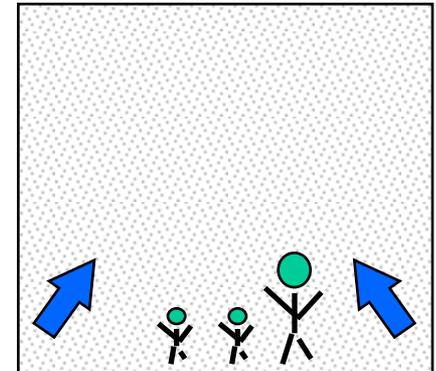
# Anforderung Nr. 2: Intermittierende Quellen

- Quellen im Innenraum oft diskontinuierlich:  
z.B. immer wenn in Wohnung unterhalb  
gekocht wird, gibt es Beschwerden:

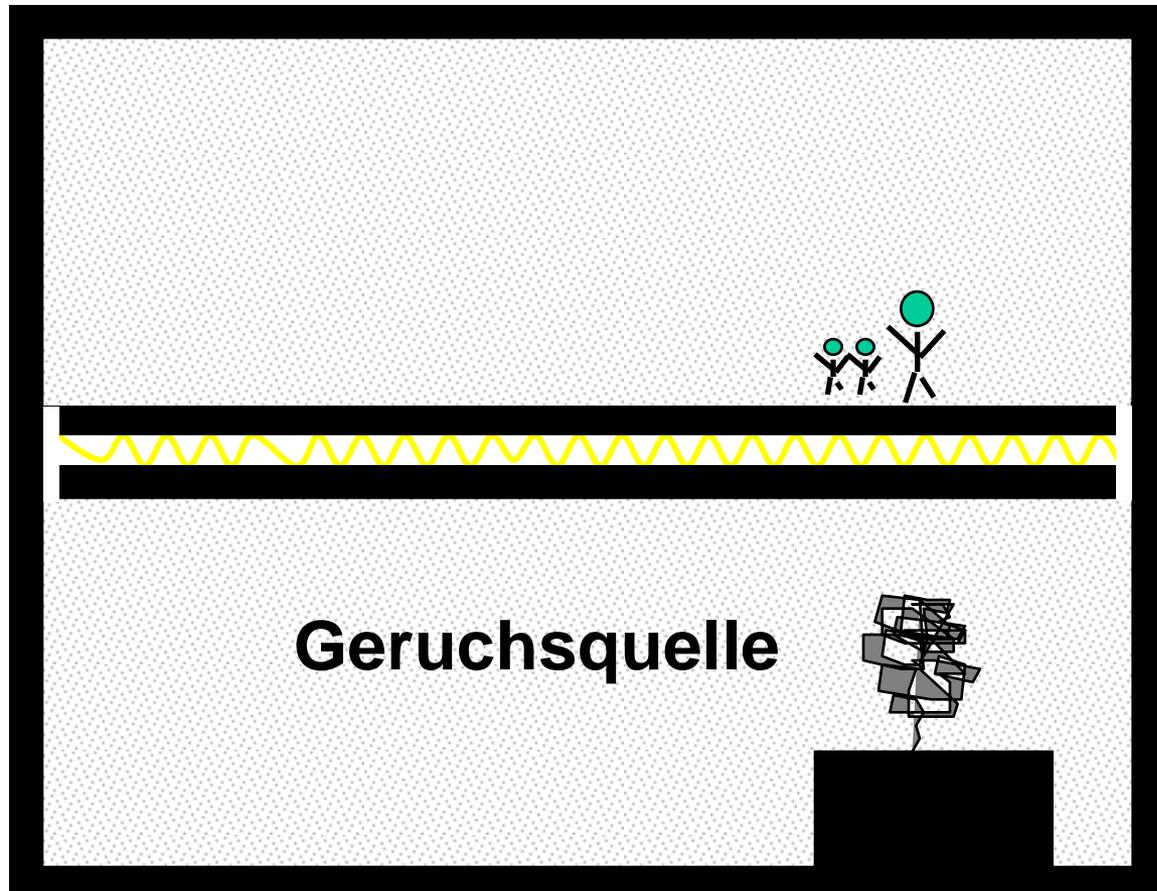
„Interzonaler Massentransfer“

*Luftströmungen in Innenräumen (2003): Positionspapier des  
Arbeitskreises Innenraumluft am Lebensministerium*

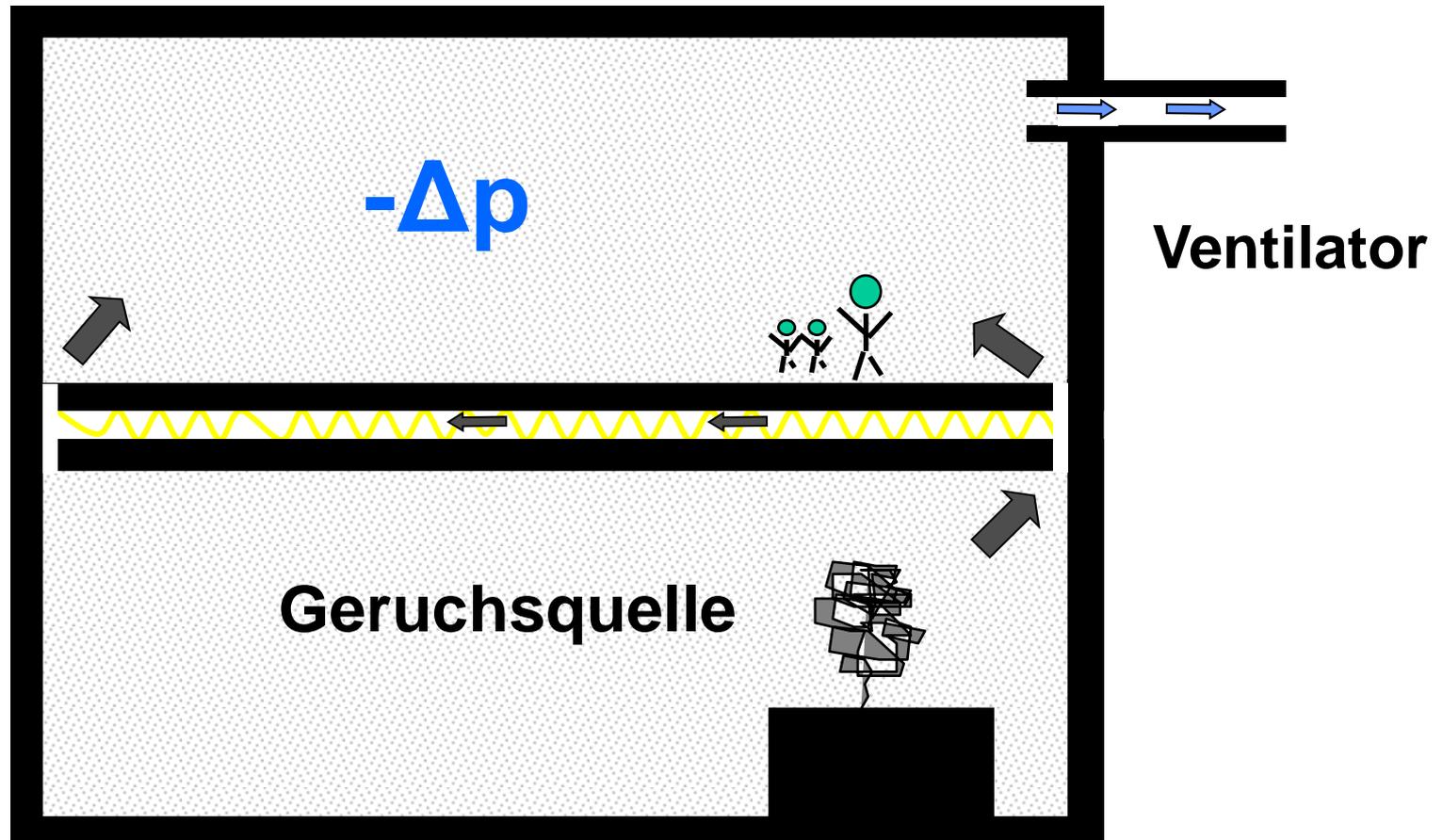
- Bei komplexen eintretenden  
Substanzgemischen: Eintrittswege durch  
Tracergasmessungen bestimmbar
- Bewertung schwer, da keine Richtwerte  
aussagen, was noch zumutbar ist (<~1%?)



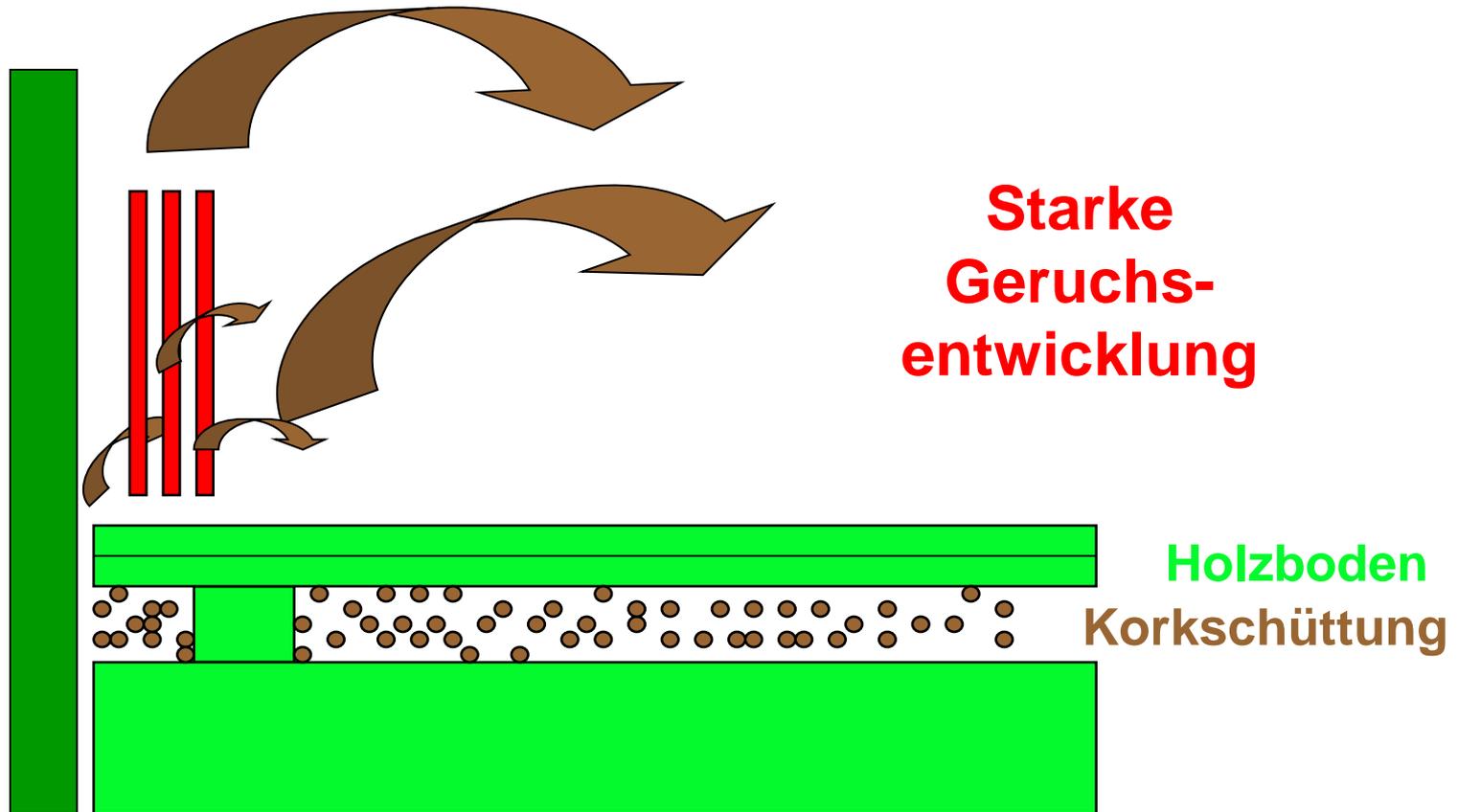
# Intermittierende Quellen



# Intermittierende Quellen



# Kork als Schüttmaterial



# Hilfsmittel $n_{10}$ -Methode



Anlegen eines  
Unterdrucks von 10 Pa  
mittels BlowerDoor-  
Apparatur zur  
Luftwechsel-  
Standardisierung

*Tappler P, Hutter HP, Jansson M, Twrdik F (2004): Der  $n_{10}$ -Wert zur Erfassung von Luftströmungen in Gebäuden und Geruchsquellen – Erfahrungen, Vorgangsweise, Ausblick. In Tagungsband des 7. Fachkongress der AGÖF, 04.-05. März, München: 272-277*

# Warum 10 Pa?

<b>Durchschnittswert bei mittlerem Winddruck bzw. aktiver Entlüftung</b>	<b>Unterdruck gegenüber Umgebung [Pa]</b>
<b>Ventilatoren in Bad und WC in Grundlast</b>	<b>4</b>
<b>Zusätzlich Ventilator in Bad in Vollast</b>	<b>6</b>
<b>Zusätzlich Dunstabzug Stufe 1</b>	<b>9</b>
<b>Zusätzlich Dunstabzug Stufe 2</b>	<b>11</b>
<b>Zusätzlich Dunstabzug Stufe 3</b>	<b>12</b>

# Geruchsproblem bei Pelletsofen

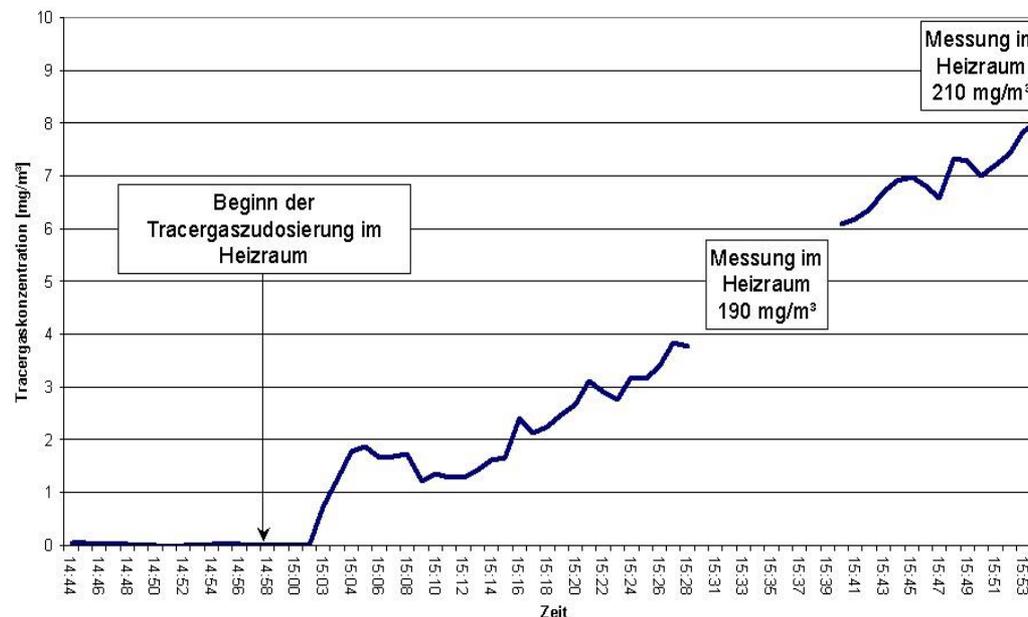
## Beobachtungen

- Nach der Inbetriebnahme des Pelletsofens war im Heizraum ein typischer Geruch nach verbranntem Holz feststellbar
- Etwa 10 Minuten später war Verbrennungsgeruch in unmittelbarer Nähe des Zuluftdurchlasses der Lüftungsanlage im Wohnzimmer wahrnehmbar
- Nach weiteren 20 Minuten war der typische Geruch im gesamten Wohnbereich wahrnehmbar

# Belastung eines Wohnraums mit Feinstaub

## Ergebnisse

- 20 ml/min SF<sub>6</sub>-Zudosierung im Heizraum
- schon nach einigen Minuten war Tracergas in der durch die Lüftungsanlage aufbereiteten Zuluft

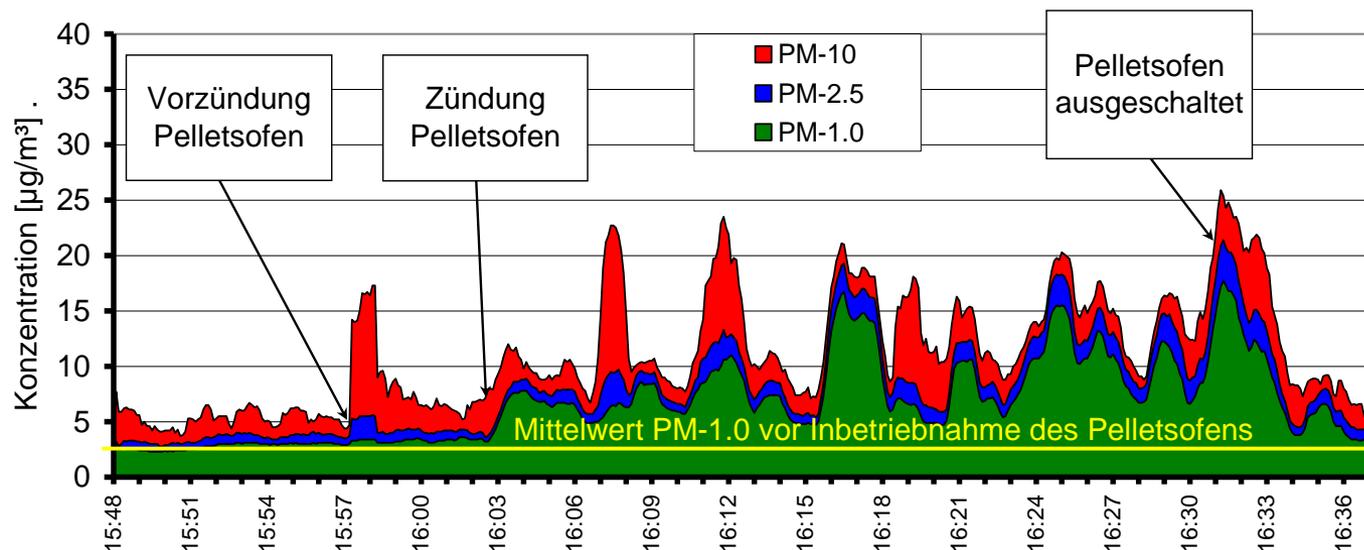


# Ursache Heizungsabgas

## Ergebnisse

- Die Inbetriebnahme des Pelletsofens führte zu einem signifikanten Anstieg der Konzentration an Feinstaub (PM1.0!) im Zuluftstrom des Luftdurchlasses

Feinstaubkonzentration Wohnzimmer in der Zuluft vor Zuluftdurchlass



# Übertritt in Lüftungszentrale

## Diskussion der Ergebnisse

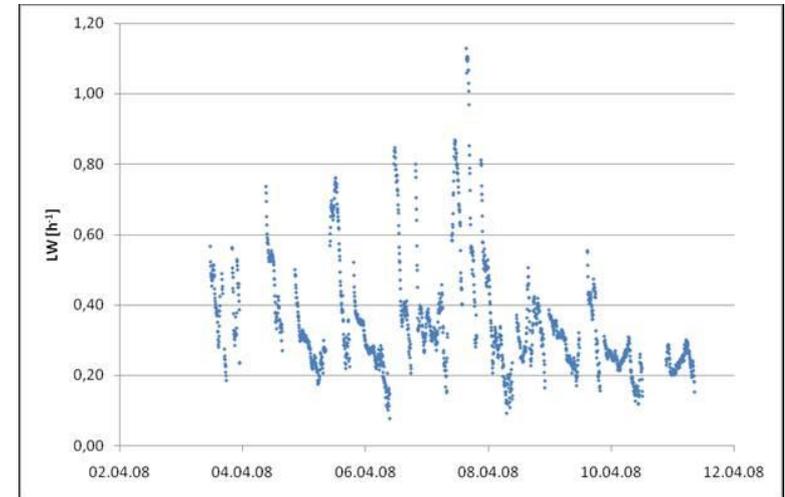
- Übertritt von Feinstaub und Geruchsstoffen (unvollständige Verbrennung!) über die Lüftungsanlage in das Wohnzimmer
- Übertritt der Schadstoffe im Bereich des Kondensatablaufs des Lüftungsgerätes im Heizraum
- Mängel sowohl bei der Heiz- als auch bei der Lüftungsanlage



# Problem Nr. 3: Zeitliche Schwankungen

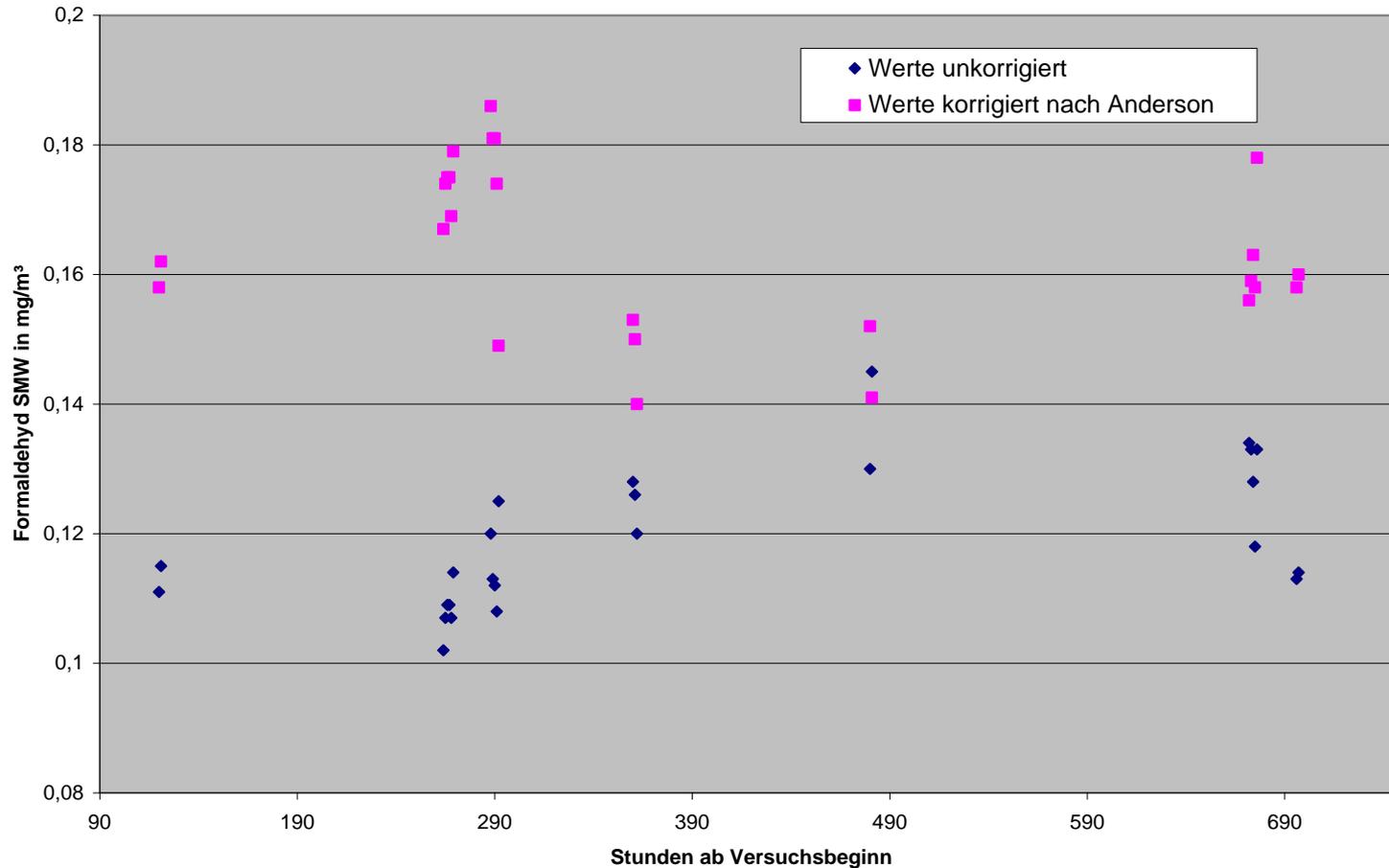
- Zeitliche Schwankungen sind Normalzustand, nicht die Ausnahme:

*Tappler et al. (2008): Pilotstudie zur Untersuchung des Luftwechsels in Innenräumen. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 68 Nr. 3. S 87-91*



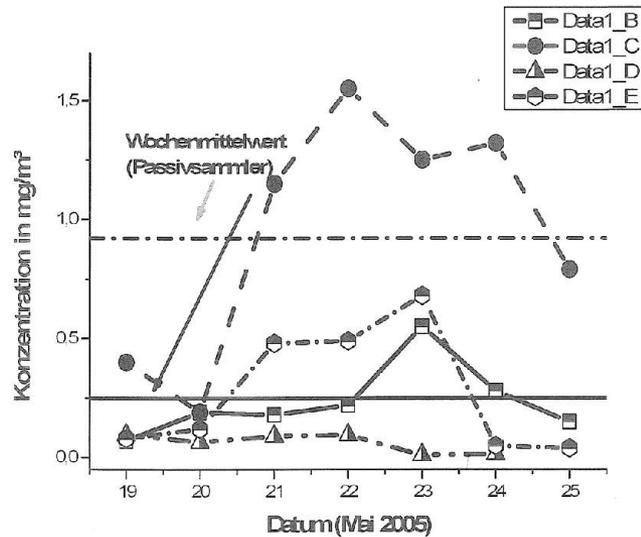
- Integrierende Messung spiegelt Spitzenwerte nicht wieder (die stark schwanken können)
- Wie oft muss gemessen werden, um zu einer belastbaren Aussage über die Konzentration zu kommen?

# Zeitliche Schwankungen Formaldehyd



*Tappler et al. (2008): Quelle Spanplatten in ungestörtem Raum*

# Zeitliche Schwankungen Toluol, PCB



PCB-Leitkongenere ( $\Sigma$  LAGA) in Innenräumen in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Probenahme (jeweils gleiche Räume in den Gebäuden) [9].

Gebäude	Mess- bzw. Probenahmezeitpunkt	
	Sommer	Winter
Gehalte in ng/m <sup>3</sup> (Mittelwerte $n = 3$ )		
A	2 190	1 730
B	3 827	2 240
C	4 514	990
D	2 166	1 303

Aus Bruno et al. (2008): *Monitoring of volatile organic compounds in non-residential environments. Indoor Air 18 Nr. 3. S 250-256*

zit. in Volland et al. (2014): *Untersuchungen von Gebäuden, deren Nutzer einen Zusammenhang von gesundheitlichen Beschwerden mit Innenraumluftverunreinigungen vermuten. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 74 Nr. 3*

Aus Volland, Neuwirth (2005): *Abschlussbericht - Programm Zukunftsoffensive III Forschungsbereich „Umwelt und Wohnen“*

zit. in Volland et al. (2014): *Untersuchungen von Gebäuden, deren Nutzer einen Zusammenhang von gesundheitlichen Beschwerden mit Innenraumluftverunreinigungen vermuten. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 74 Nr. 3*

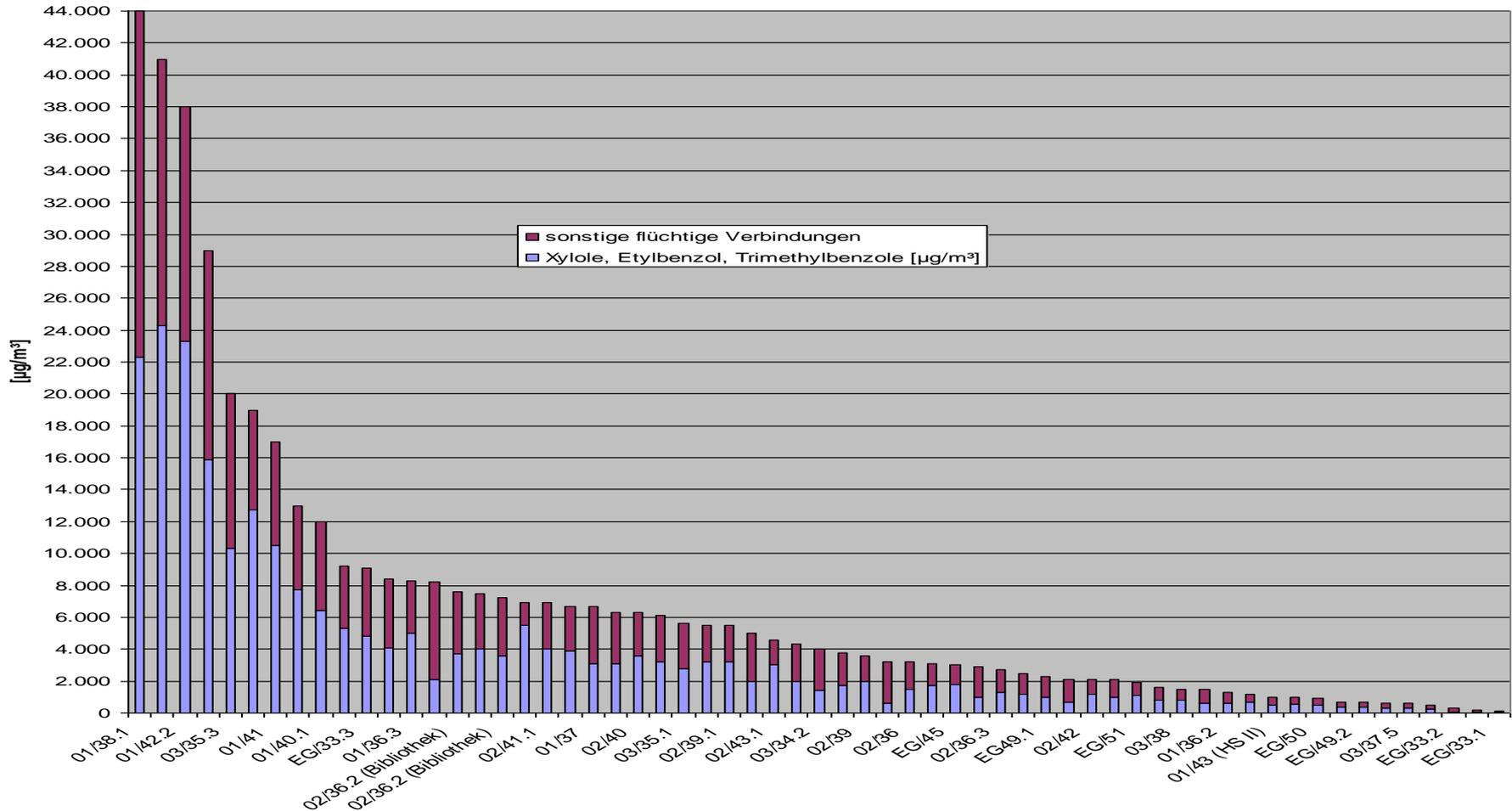
# Messungen Universität für Bodenkultur



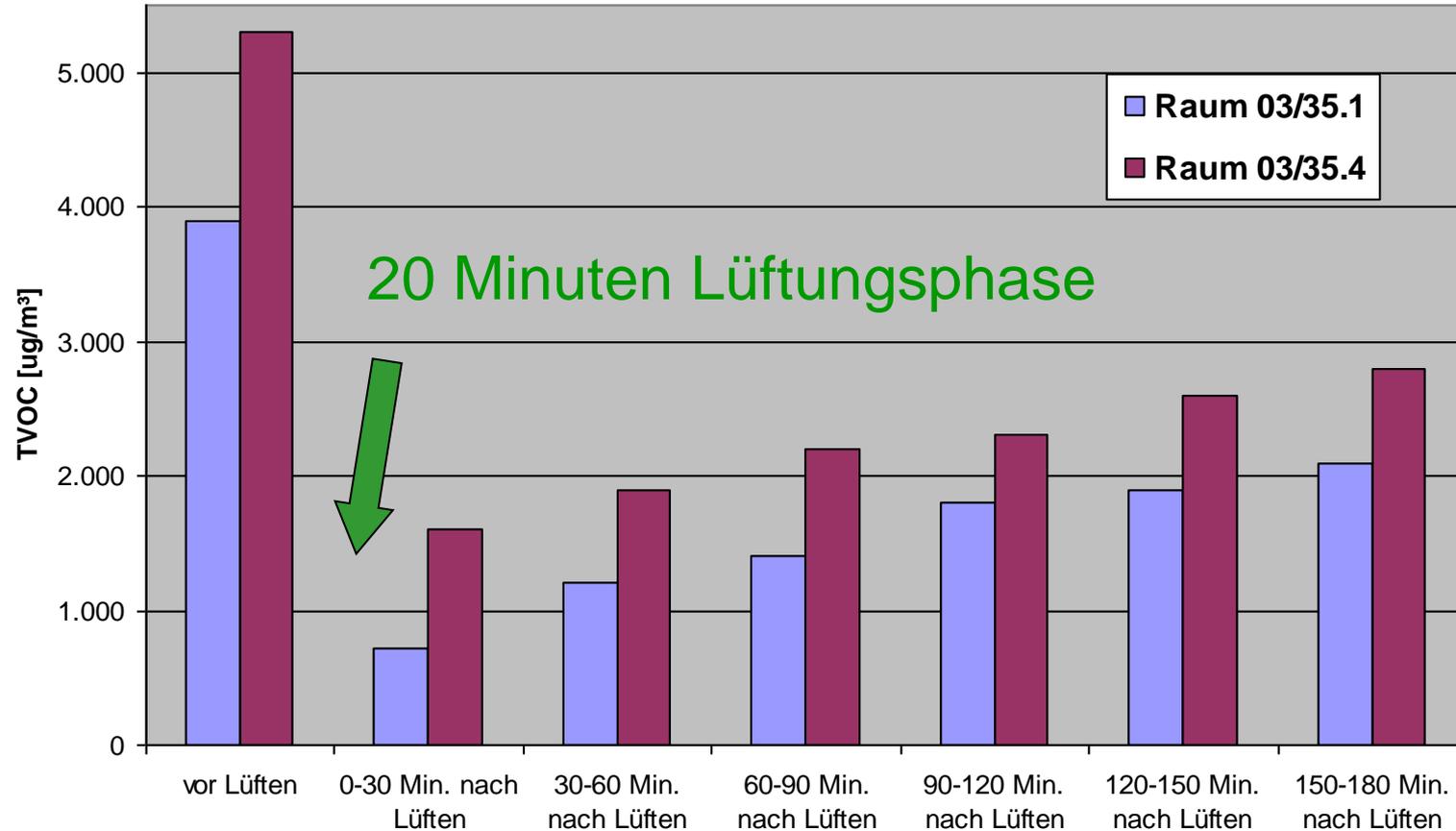
*Aus Messungen Universität für Bodenkultur, aromatenhaltiges LM-Gemisch Quelle Baukleber*

# Anforderung: Gesundheitliche Bewertung

Übersicht der Messungen Summe der flüchtigen organischen Verbindungen und Aromaten



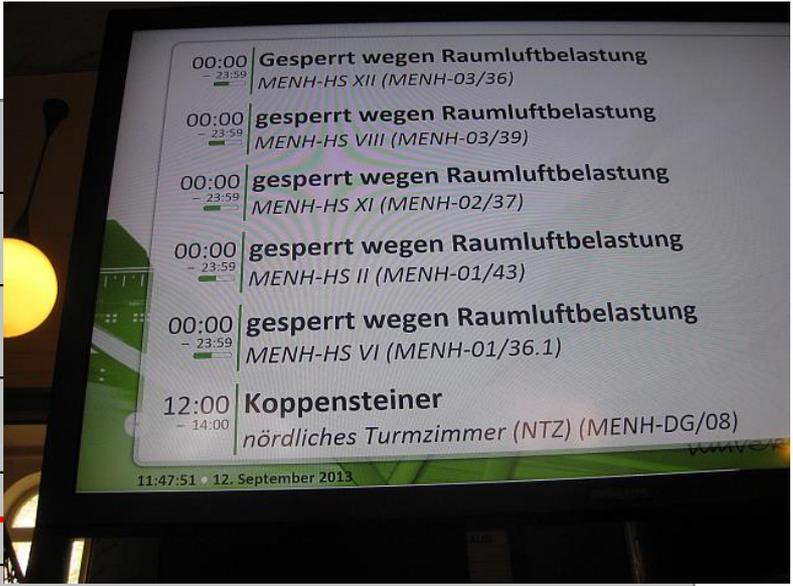
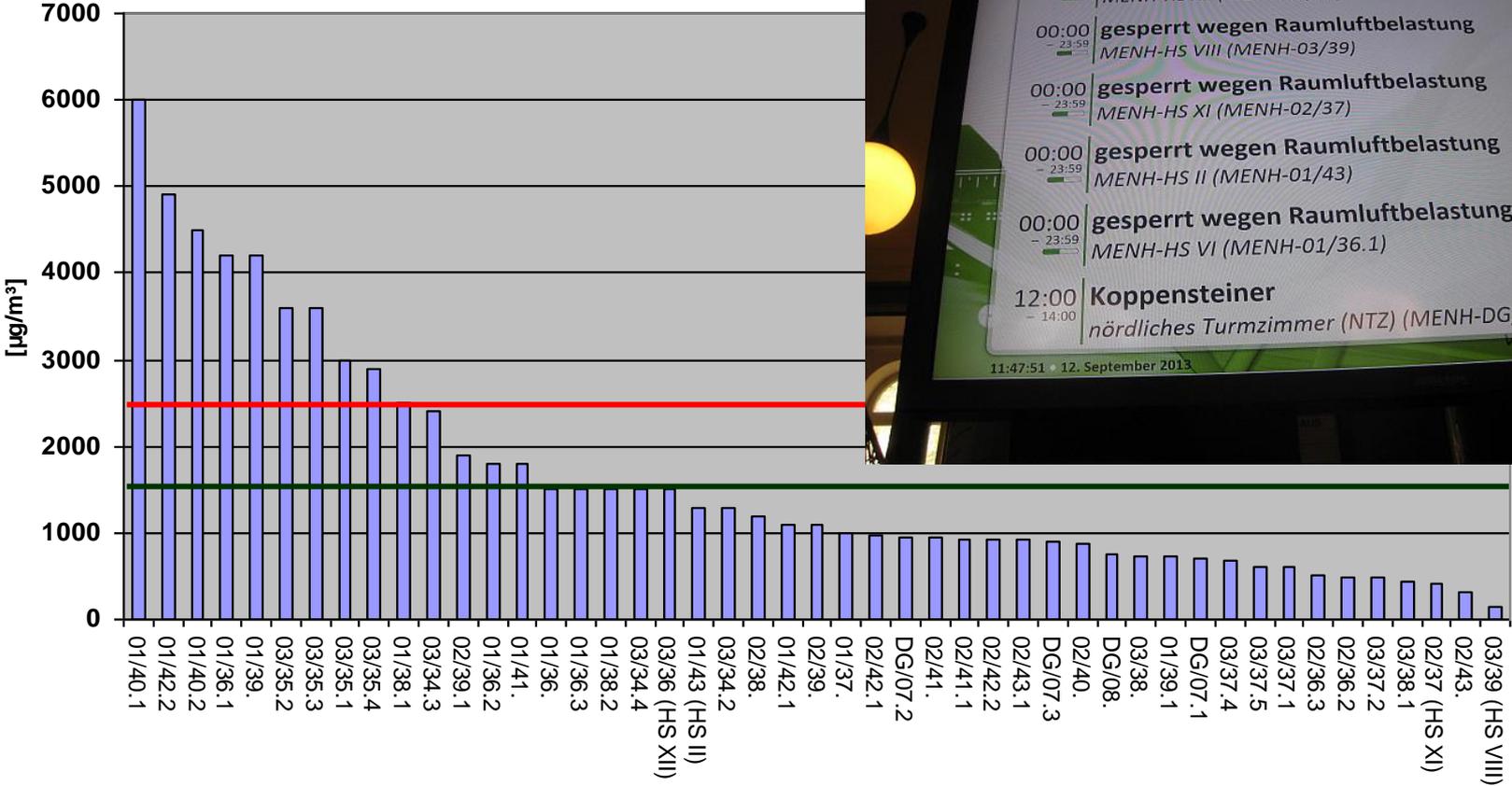
# Einfluss Lüften des Raumes



*Aus Messungen Universität für Bodenkultur, aromatenhaltiges LM-Gemisch Quelle Baukleber*

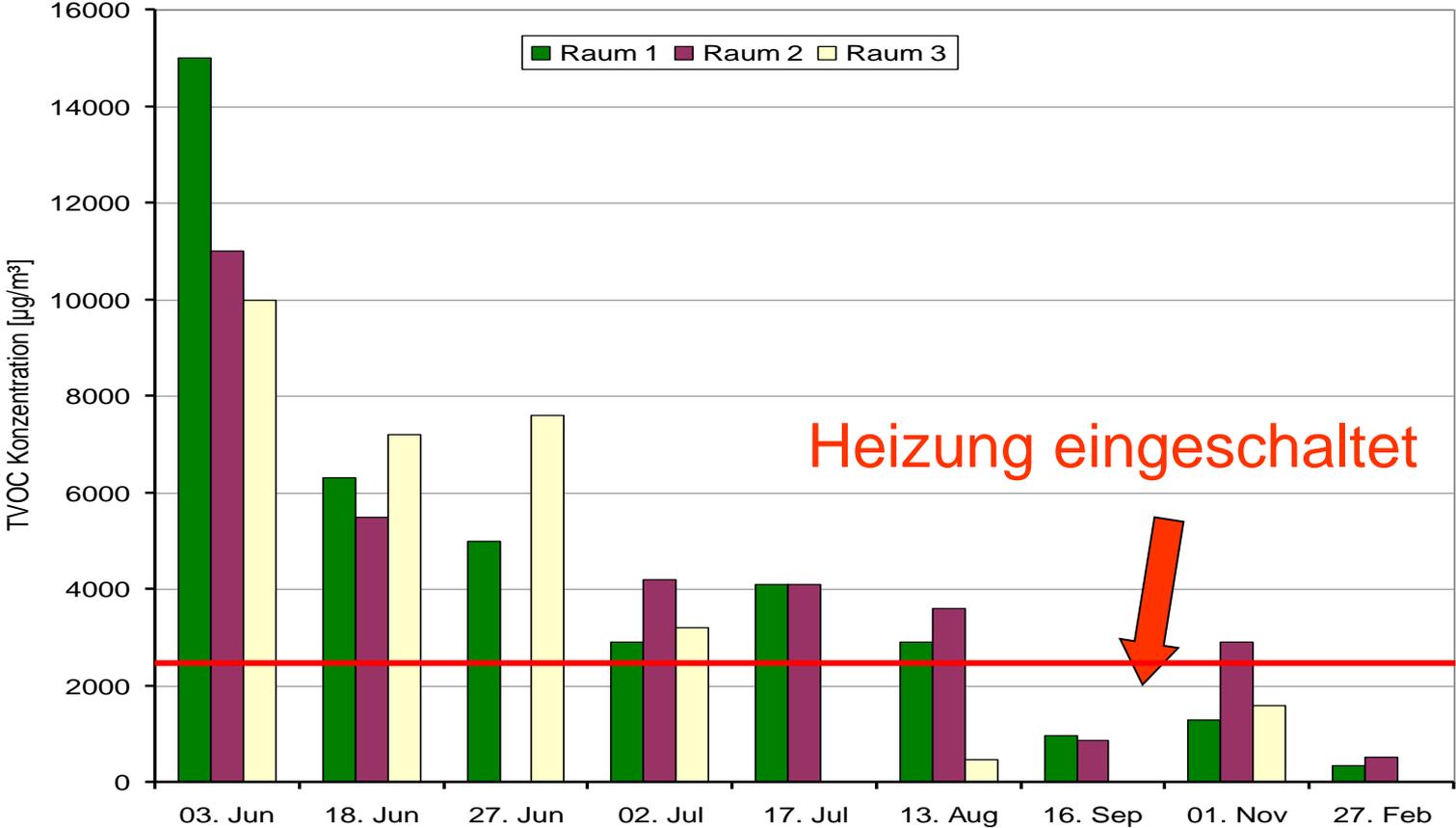
# Festlegung von Grenzen für Sperre

**Konzentration Gesamt-VOC  
(aromatenhaltiges Lösungsmittelgemisch)**



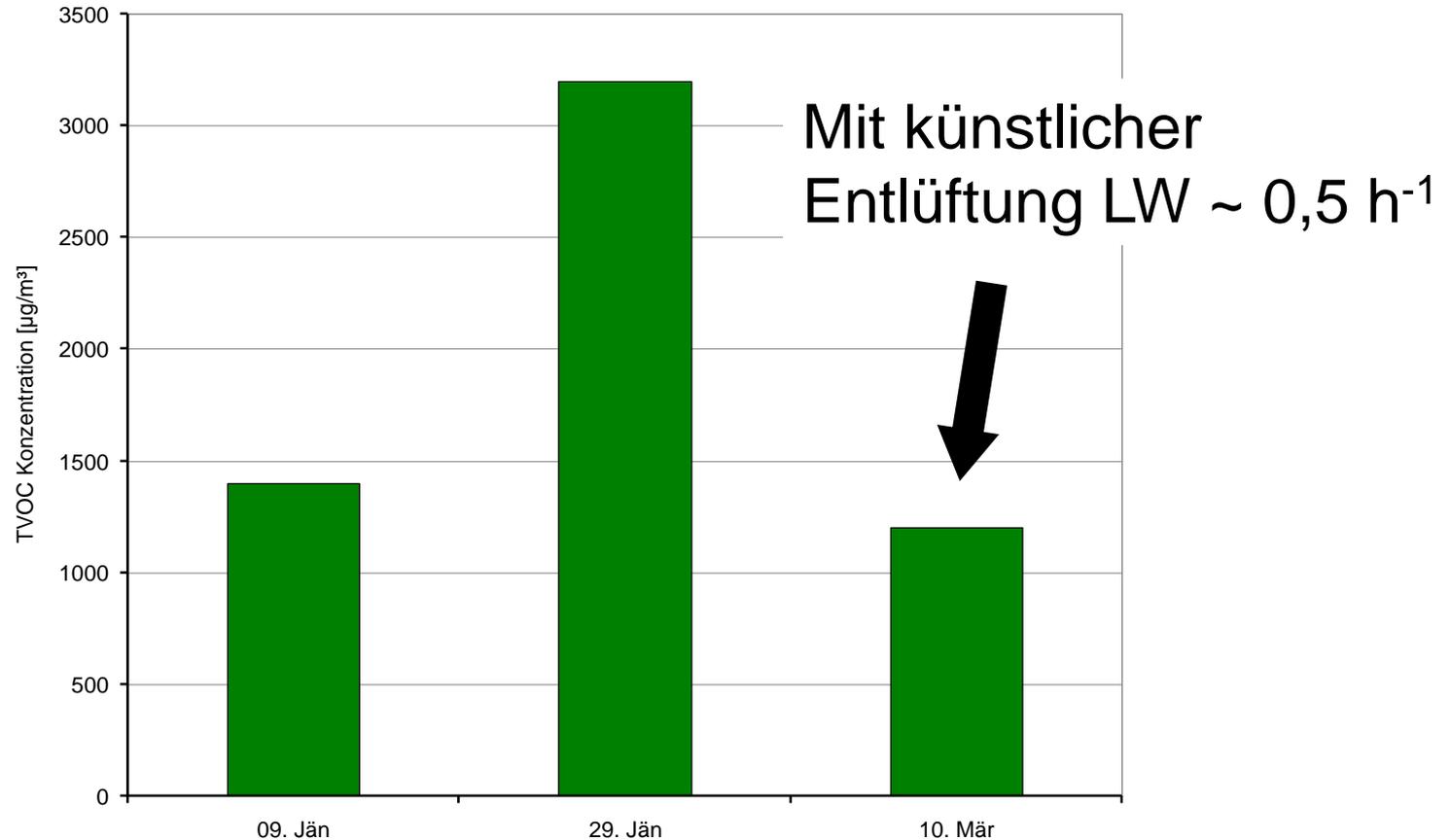
Aus Messungen Universität für Bodenkultur, aromatenhaltiges LM-Gemisch Quelle Baukleber

# Stark schwankende Werte



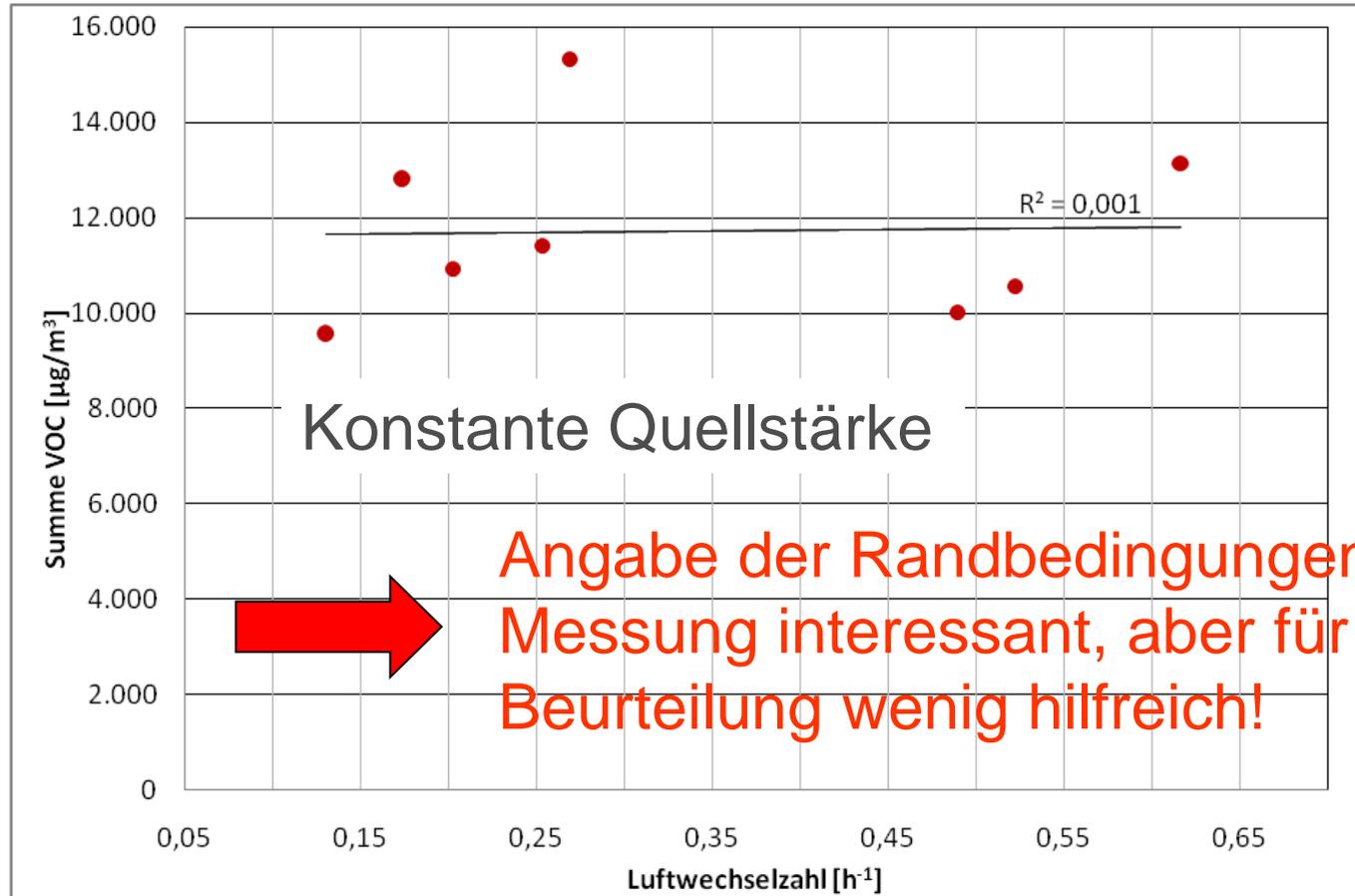
*Aus Messungen Universität für Bodenkultur, aromatenhaltiges LM-Gemisch Quelle Baukleber*

# Terpenemissionen KLH



Aus Messungen Büro: 90% Terpene, Quelle Konstruktionslagenholz (KLH)

# Zeitliche Schwankungen VOC-Mischung



Aus Kram B (2009): Masterarbeit Department für Bauen und Umwelt/ Krems

# Thesen zum Messen I

Die Messunsicherheit des Messsystems ist in der Regel vernachlässigbar gegenüber den zeitlichen Schwankungen der Werte vor Ort

Empfehlung weitgehender (Sanierungs)Maßnahmen auf Grund einer Messung ist fahrlässig!

Entwarnung auf Grund einer Messung bei niedrigen Messwerten möglich – Innenraum-Richtwerte haben an sich großen Sicherheitsabstand zu Wirkschwellen

# Thesen zum Messen II

Es geht nicht nur um Rechte des Verbrauchers (die durch große Sicherheitsfaktoren zwischen Wirkschwelle und Richtwert gewährleistet sind), sondern auch um Rechtssicherheit für den Errichter/Produzenten

Die statistisch saubere Zuordnung von ermittelten Schadstoff-Konzentrationen in die Kategorien „Überschreitung“ – „Unterschreitung“ – „Keine Aussage möglich“ ist mitunter rechtlich von entscheidender Bedeutung

Eine Entscheidung, ob Richtwerte unterschritten sind oder nicht, ist in der Regel nicht trivial

# Gedanken zum Messen

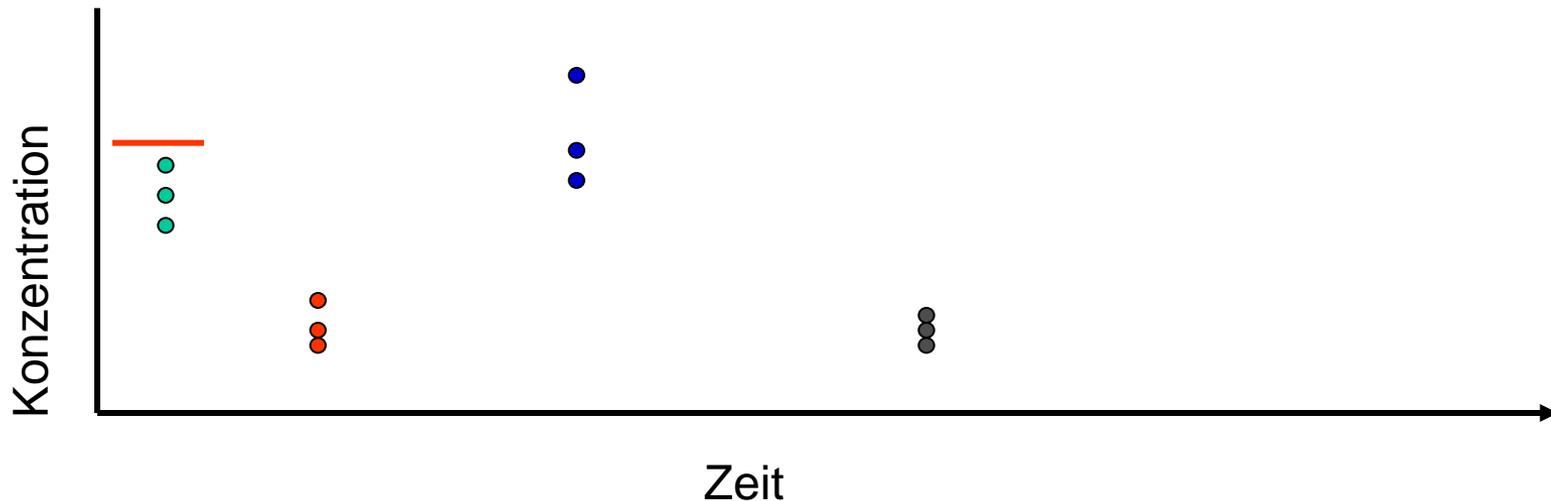
Aussagen über Konzentrationen in Innenräumen sind nur für bestimmte Zeiträume möglich, in denen sollten möglichst viele Werte erfasst werden

Möglicherweise gibt es – besonders bei zusätzlich zeitlich ab- oder zunehmenden Werten – keine richtige, saubere Zugangsweise

Möglicherweise muss man akzeptieren, dass eine Einordnung in Kategorien vom Zufall abhängt

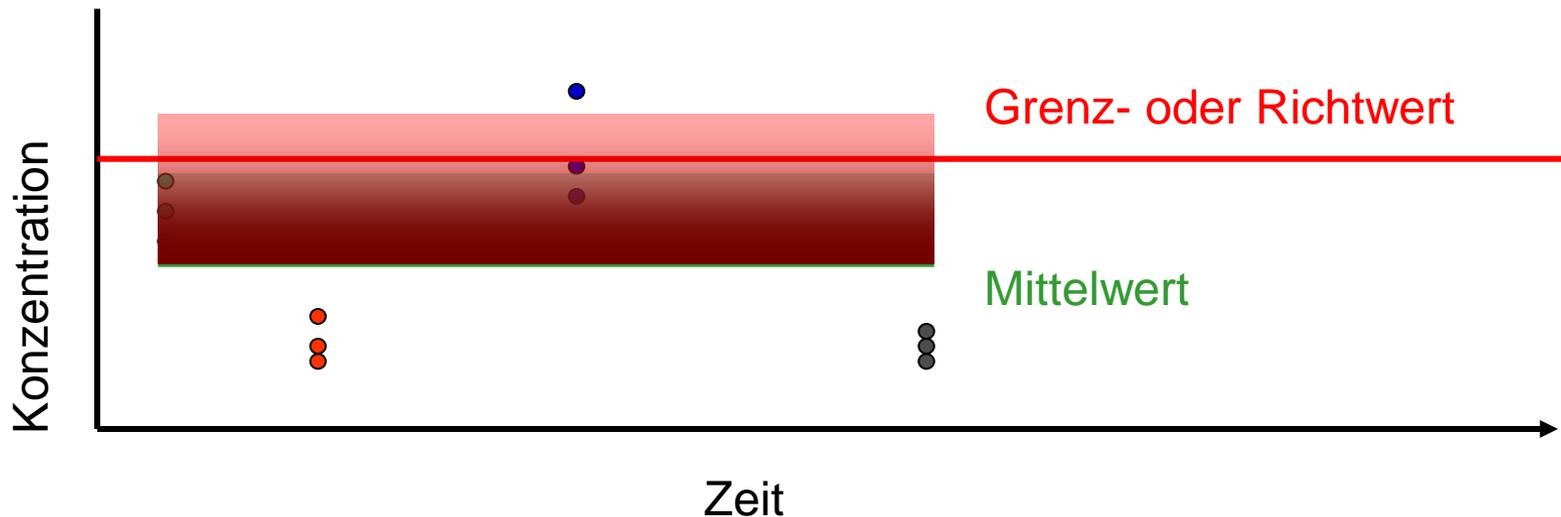
# Thesen zum Messen III

Mehrfachbestimmungen an einem Messtag erniedrigen signifikant die Messunsicherheit der ermittelten Konzentration und machen das Ergebnis an diesem Tag "richtiger", haben jedoch nahezu keinen Einfluss auf die Lösung der Problematik zeitlich schwankender Werte



# Mögliche Lösung für Werteserien

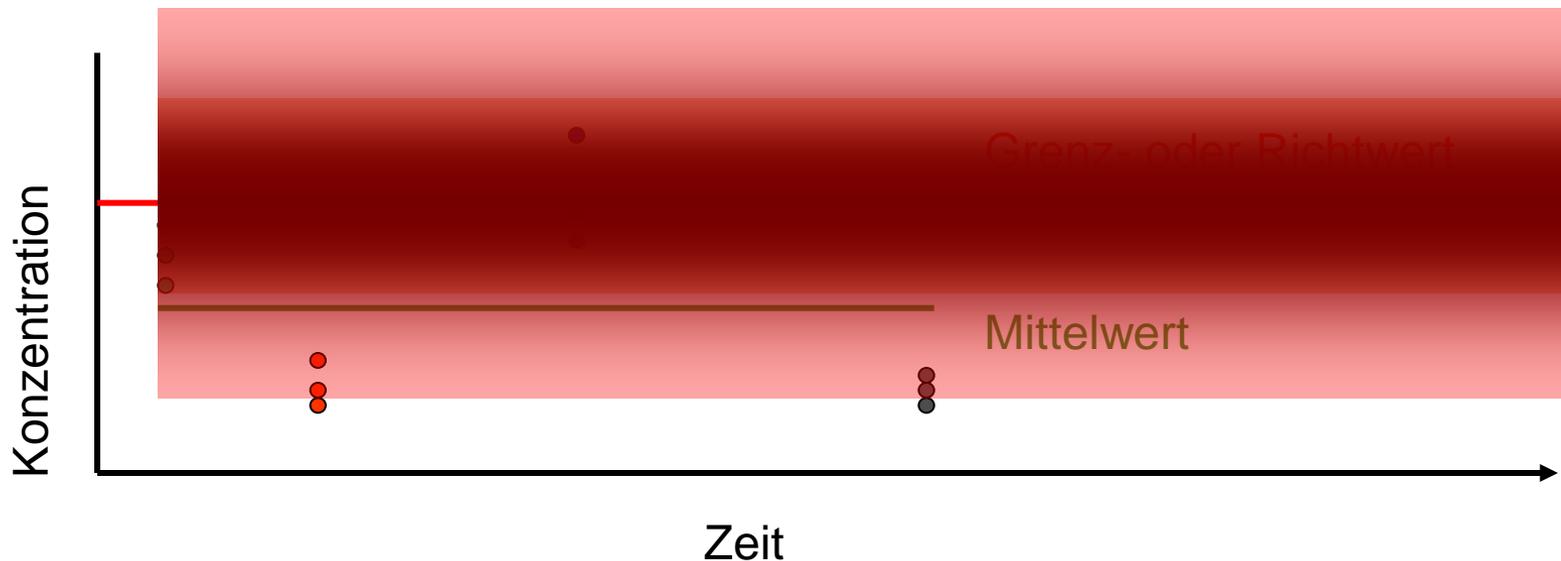
Auswertung mehrerer Proben in Hinblick auf Grenzen erforderlich: t-Test und Nicht-Über (bzw. Unter) schreitungskriterium (siehe AGÖF-Richtlinie Gerüche) unter Voraussetzung einer Irrtumswahrscheinlichkeit



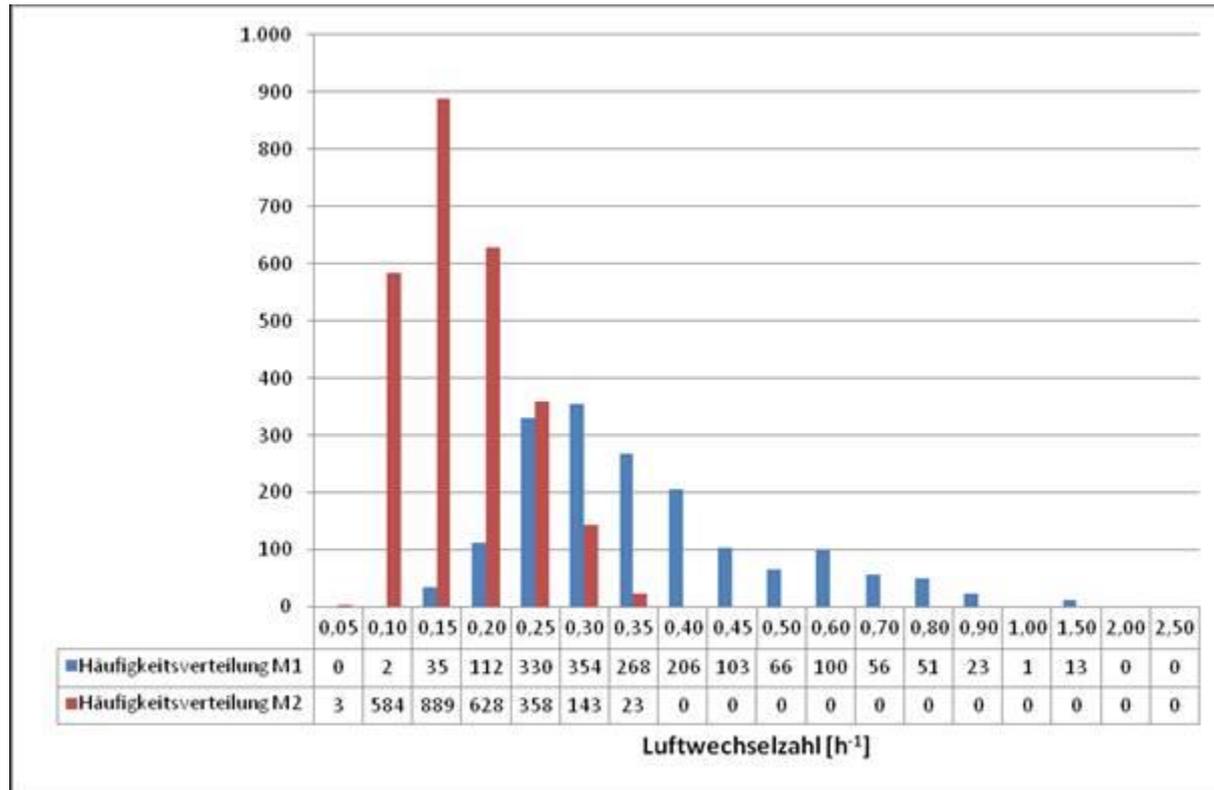
# Pragmatischer Korridor um Richtwert?

Wären „Korridore“ für sicheres Nichteinhalten hilfreich?

Es ist nicht bekannt, wie stark Schwankungen „wirklich“ sind. Zu große Korridore sind nicht anwendbar.



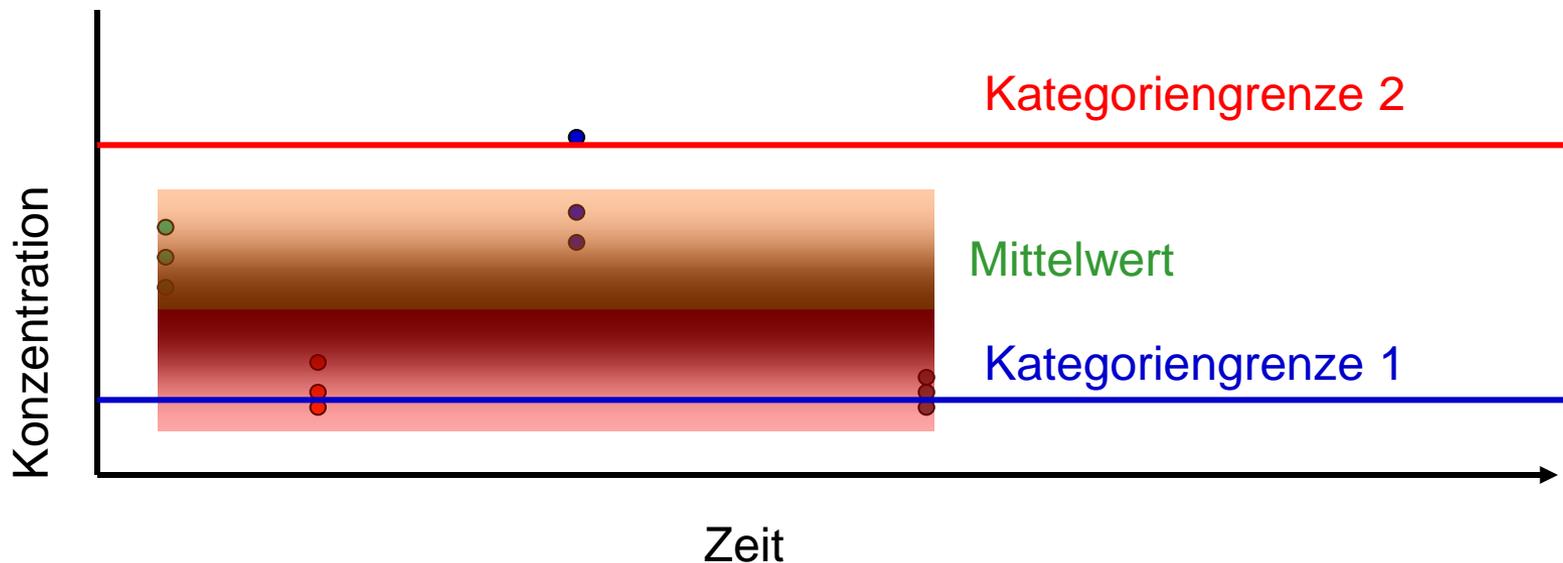
# Luftwechsel – alte und neue Fenster



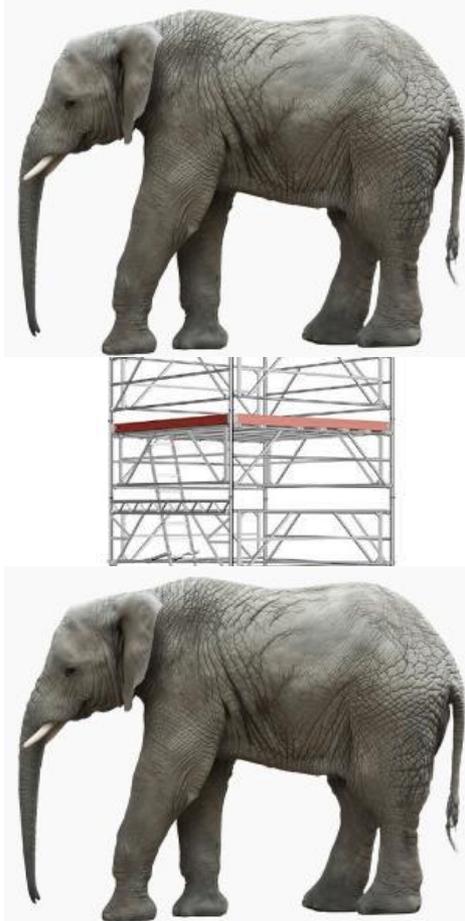
*Aus Kram B (2009): Masterarbeit Department für Bauen und Umwelt/ Krems*

# Einordnung in Kategorien

Einordnung in Kategorie müsste immer in Hinblick auf obere und untere Kategoriengrenze geprüft werden. Messung zu einem Zeitraum für Einordnung grundsätzlich zu wenig (außer bei extremen Werten).



# Missing link



Nachvollziehbar ermittelte und gut dokumentierte, toxikologisch begründete Richtwerte

Beurteilung von Messwerten in Hinblick auf Richtwerte

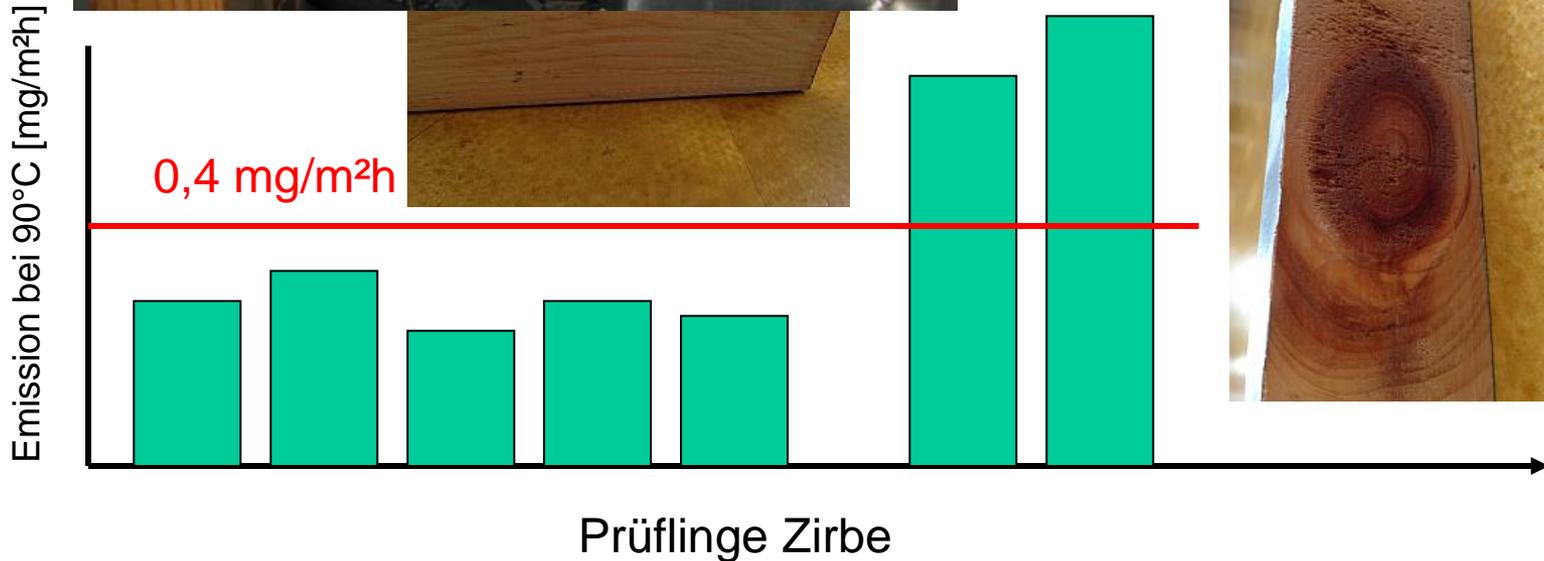
Aufwändige Messverfahren mit geringen Messunsicherheiten, Ringversuche, Qualitätssicherung

Ge

prüfungen



EN 717-2 (90°C)



# Gedanken zu Produktprüfungen

Eine Emissionsprüfung von Holzwerkstoffen auf VOC ist auf Grund der Inhomogenität des Werkstoffes primär eine Einnahmequelle für die florierende Prüfindustrie

Eine Emissionsprüfung von Holz und Holzwerkstoffen auf Formaldehyd für Saunazwecke ist sinnvoll, allerdings vor allem in Hinblick auf die eingesetzten Kleber



Lasst uns schwitzen  
über den noch  
ausstehenden Fragen

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit