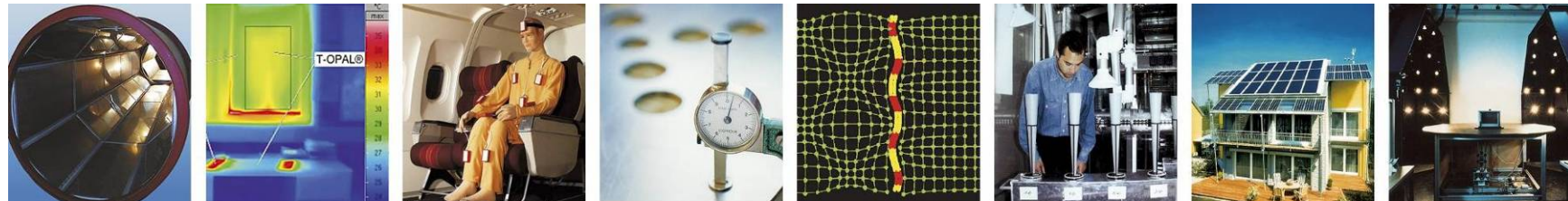

Innenraum- und Umwelthygiene – Emissionen aus Baustoffen

Dr. Florian Mayer

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP),
Abteilung Bauchemie, Baubiologie und Hygiene

City Dialogue: Moderne Bauphysik – Made in Germany

Auf Wissen bauen



Innenräume



Innenraumhygiene vs. Energieeffizientes Bauen ?

Energieeffizientes Bauen, Isolierverglasung, verstärktes Dämmen

- ➔ geringe Lüftungswärmeverluste durch zunehmende Luftdichtheit
- ➔ geringer natürlicher Infiltrations-Luftwechsel ($< 0,1$ 1/h)
- ➔ geringe Luftqualität durch mangelnden Luftaustausch
 - + bei ungenügender manueller Lüftung
- ➔ ungenügender Feuchteaustrag
- ➔ schlechte Innenraumhygiene

Konflikt: Zur Erhaltung der Innenraumhygiene sollte viel gelüftet werden, aber aus energetischer Sicht nur wenig!?

Hygiene

Definition der WHO: Hygiene refers to conditions and practices that help to

- maintain health and
- prevent the spread of diseases.

Mögliche Folgen bei zu geringem Luftwechsel:



Schimmel

Schadstoff-
anreicherung
durch Material-
ausdünstungen



Innenraumhygiene – Einflussgrößen

- Mikrobielle Situation
- Partikel
- Strahlung
- Kohlendioxid
- Flüchtige organische Verbindungen
 - Geruchsaktive Stoffe

Baustoffe

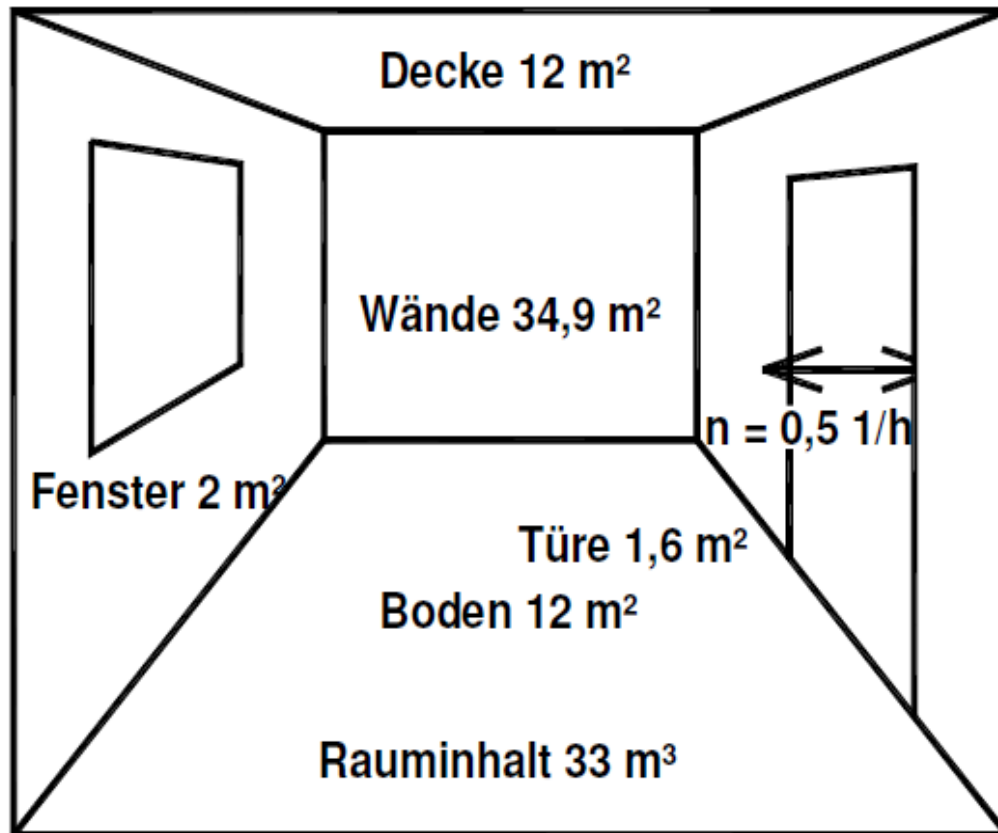


Emissionen aus Bauprodukten

VVOC
<u>V</u> ery <u>V</u> olatile <u>O</u> rganic <u>C</u> ompounds
(Sp. < 50 °C) RI < C ₆
Niedrig siedende Lösemittel Schaumbildner
Formaldehyd, Methanol

Emissionsmessung von Bauprodukten – Konzept

Raumhöhe 2,75 m

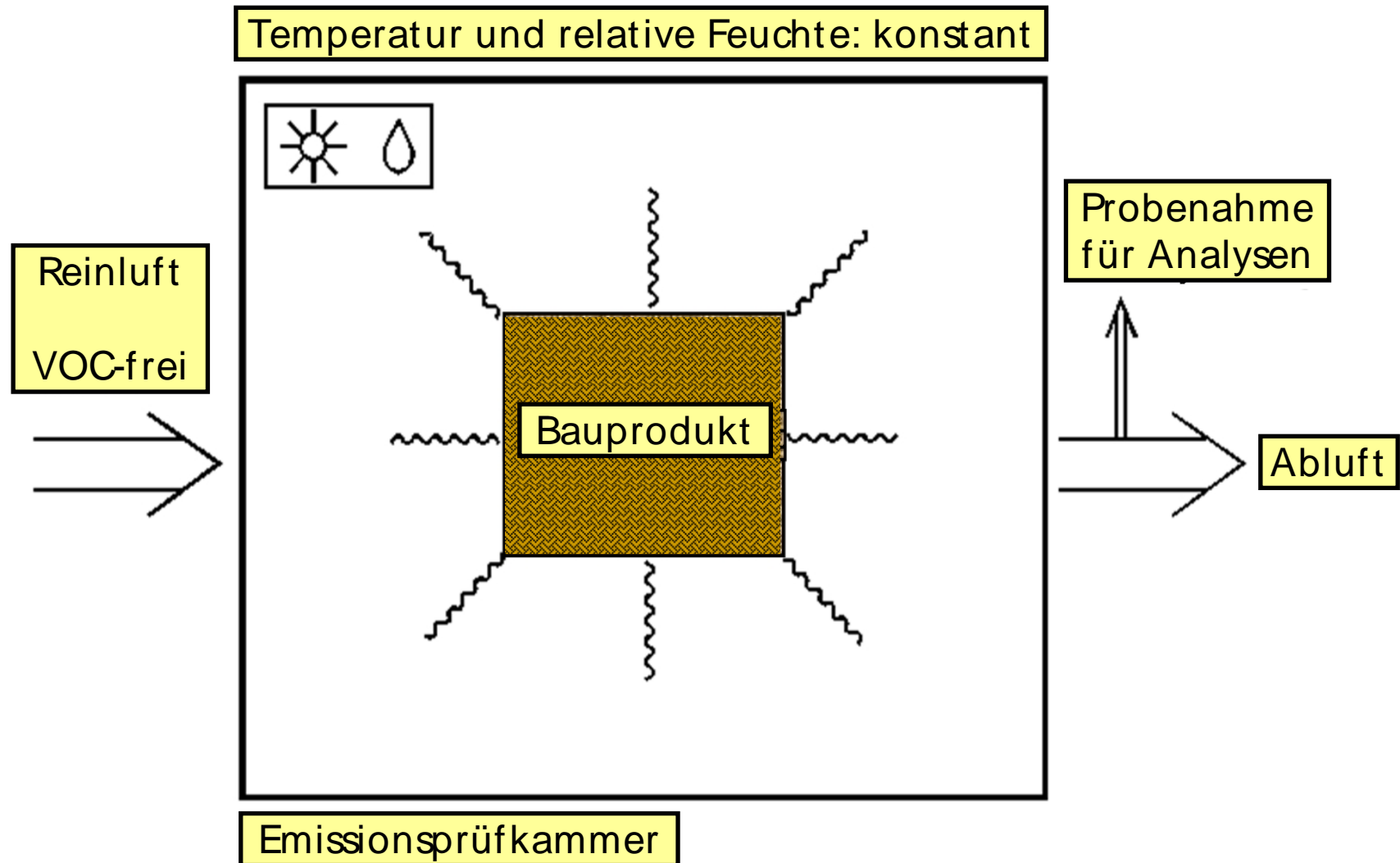


$$\begin{aligned} \text{Lüftungsrate } Q \text{ [m}^3\text{/h]} &= \\ &= V \text{ [m}^3\text{]} \times n \text{ [1/h]} = \\ &= 33 \times 0,5 = 16,5 \text{ m}^3\text{/h} \end{aligned}$$

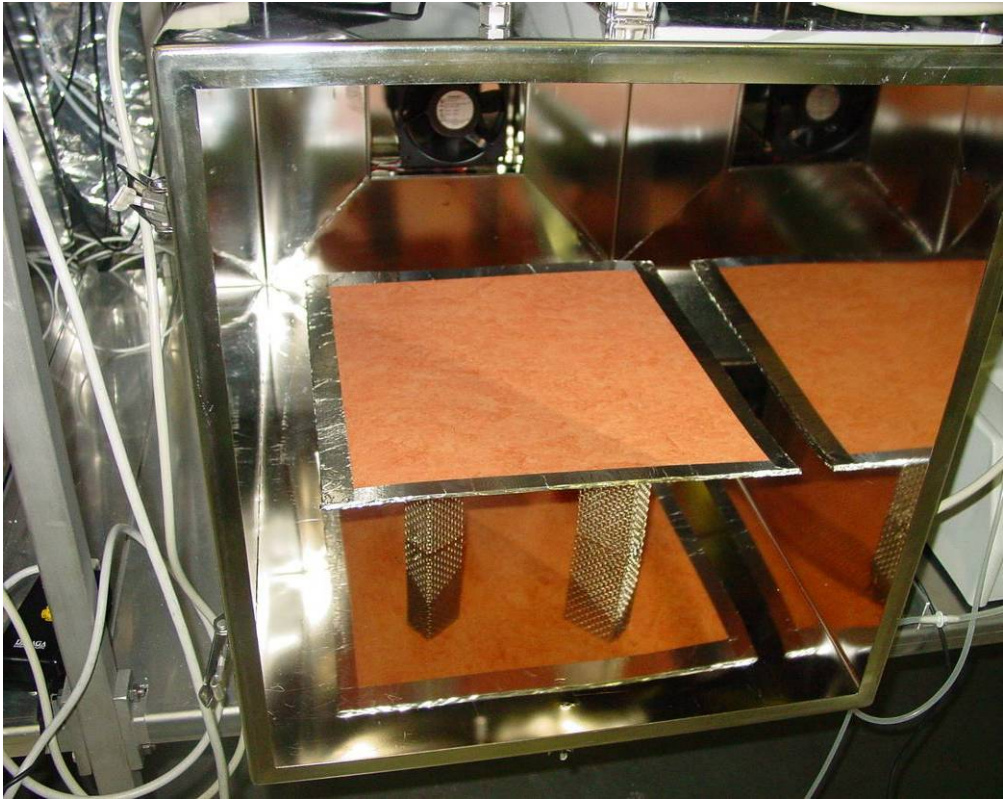
Flächenspezifische
Lüftungsrate
q [m³/(h m²)] =

$$= \frac{Q \text{ [m}^3\text{/h]}}{A \text{ [m}^2\text{]}} = \frac{n \text{ [1/h]}}{L_{PK} \text{ [m}^2\text{/m}^3\text{]}}$$

Prüfkammerexperiment nach DIN EN ISO 16000-9/-11



Prüfkammerexperiment nach DIN EN ISO 16000-9/-11



Prüfkammerexperiment – Details

28-tägiges Prüf-
kammerexperiment

23 °C / 50 % r. F.

2 Probenahmen
(3 d, 28 d)

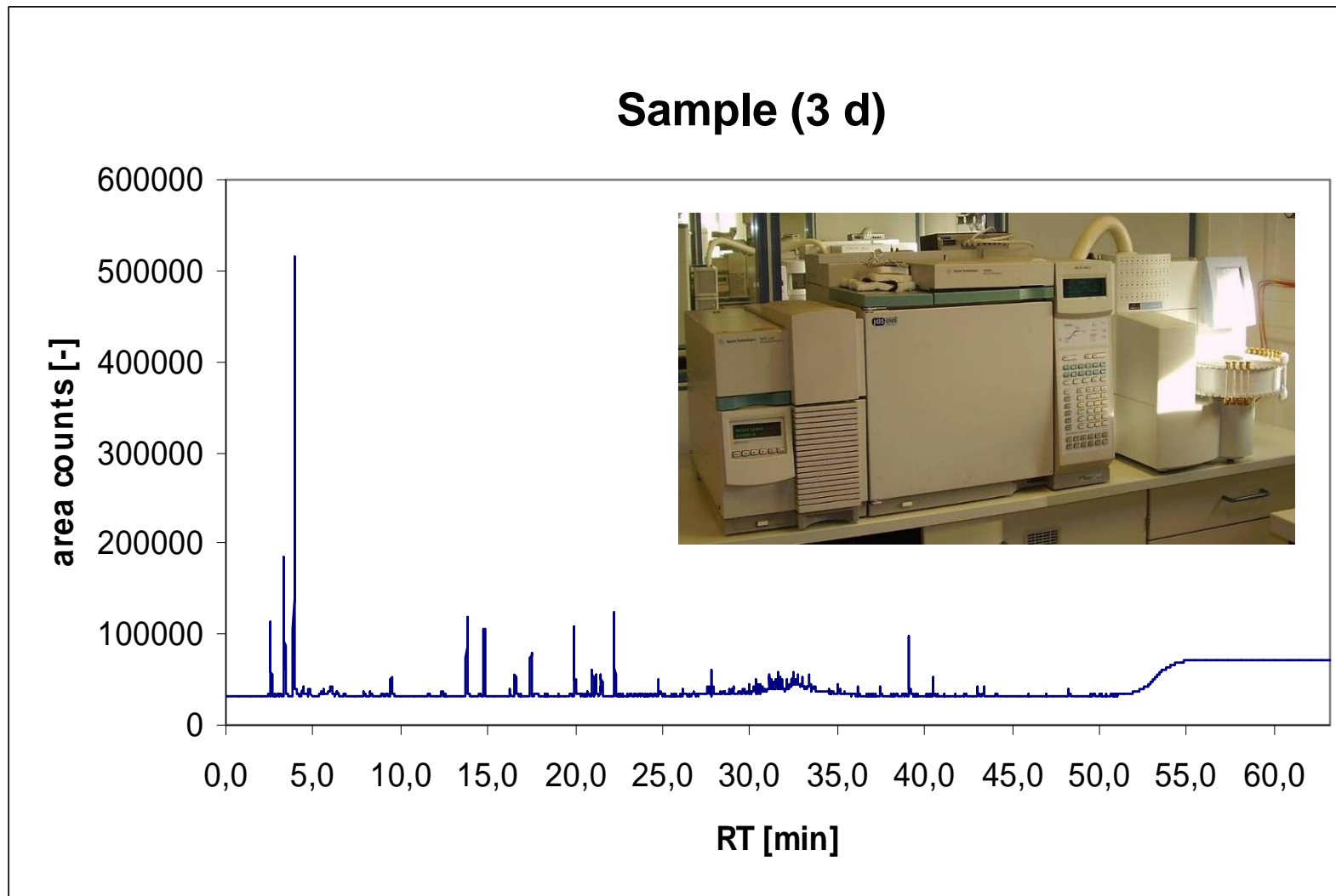
VVOC, VOC, SVOC

Aldehyde, Ketone

Bewertung gemäß
AgBB-Schema



Messung von VOC-Emissionen – Beispiel



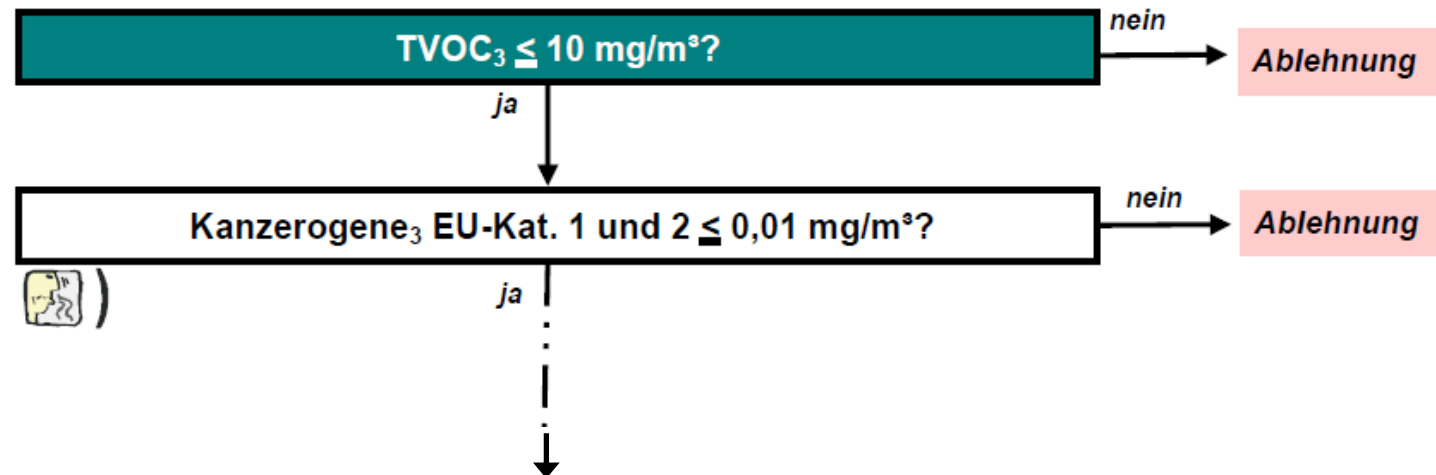
Bewertung von VOC-Emissionen – AgBB-Schema

VOC, TVOC: Retentionsbereich $C_6 - C_{16}$,
SVOC: Retentionsbereich $> C_{16} - C_{22}$

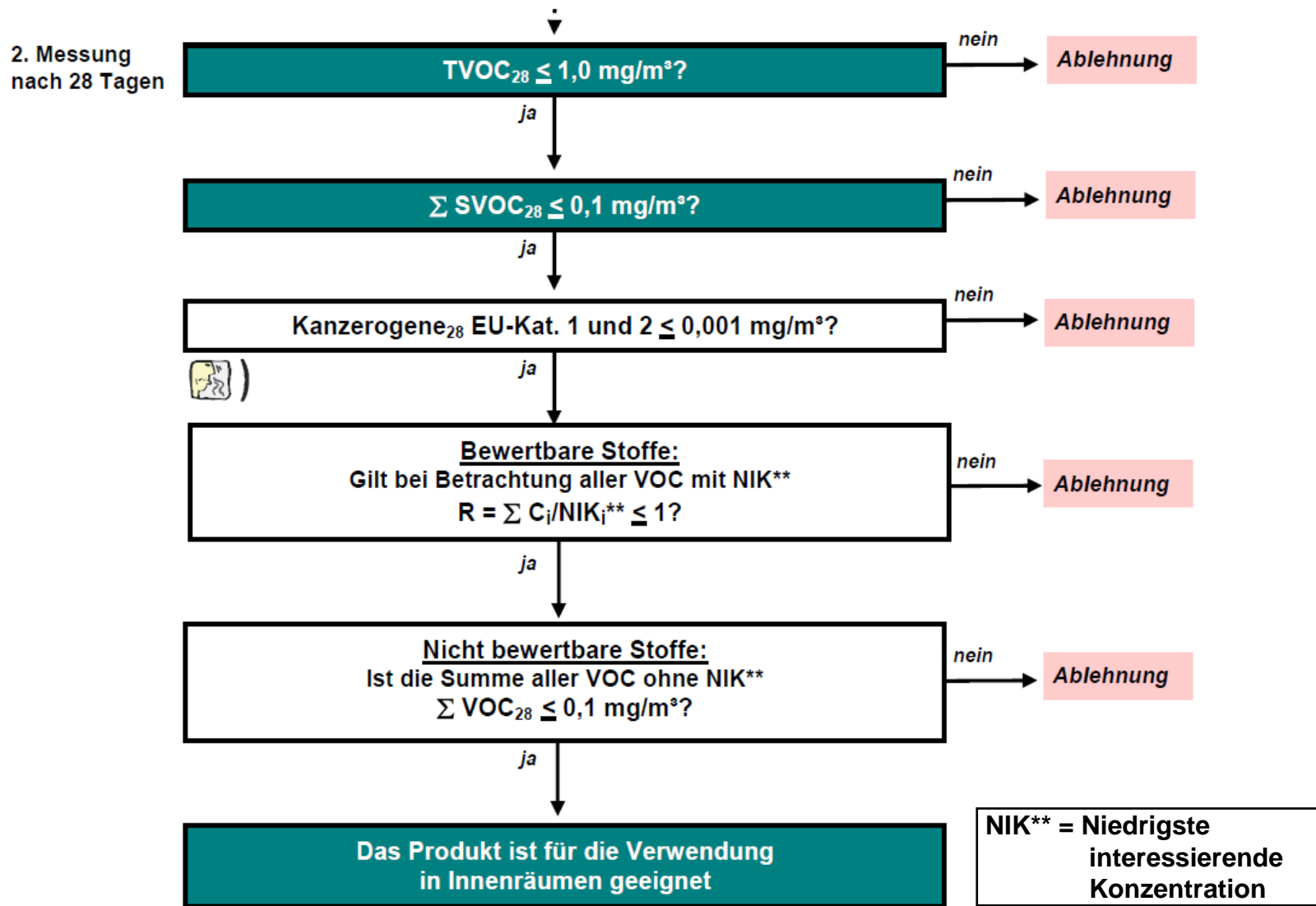


1. Messung
nach 3 Tagen

Prüfung auf:



Bewertung von VOC-Emissionen – AgBB-Schema



Beurteilung der Innenraumluftqualität

- Probenahme
- TVOC Bestimmung auf Basis einschlägiger Normen: DIN EN ISO 16000-3, -5, -6
- Untersuchung der VOC, die auch bei der Prüfung gemäß AgBB Schema vorgesehen sind



Richtwerte für den TVOC Gehalt der Innenraumluft

Stufe 1	TVOC-Wert < 0,3 mg/m³	Hygienisch unbedenklich Zielwert
Stufe 2	TVOC-Wert > 0,3 bis 1 mg/m³	Hygienisch noch unbedenklich erhöhter Lüftungsbedarf
Stufe 3	TVOC-Wert > 1 bis 3 mg/m³	Hygienisch auffällig befristet (<12 Monate) als Obergrenze für Räume, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind
Stufe 4	TVOC-Wert > 3 bis 10 mg/m³	Hygienisch bedenklich Raum befristet (maximal 1 Monat) und bei verstärkter Lüftung nutzbar
Stufe 5	TVOC-Wert > 10 bis 25 mg/m³	Hygienisch inakzeptabel Die Raumnutzung ist allenfalls vorübergehend täglich (stundenweise) und bei Durchführung von regelmäßiger Lüftung zumutbar

* Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 7 · 2007

Richtwerte für die Innenraumluft I

Stoff	RW I [mg/m ³]	RW II [mg/m ³]	Jahr der Festlegung
Toluol	0,3	3	1996
Dichlormethan	0,2	2 (24 h)	1997
Kohlenmonoxid	6 (1/2 h)	60 (1/2 h)	1997
	1,5 (8 h)	15 (8 h)	
Pentachlorphenol	0,1 µg/m ³	1 µg/m ³	1997
Stickstoffdioxid	--	0,35 (1/2 h)	1998
	--	0,06 (1 Woche)	
Styrol	0,03	0,3	1998
Quecksilber als metallischer Dampf	0,035 µg/m ³	0,35 µg/m ³	1999
Tris(2-chlorethyl)phosphat	0,005	0,05	2002

Richtwerte für die Innenraumluft II

RW II: oberhalb RW II unverzüglicher Handlungsbedarf, z. B. Sanierungsentscheidungen zur Verringerung der Exposition, eine Schließung der Räume kann notwendig sein

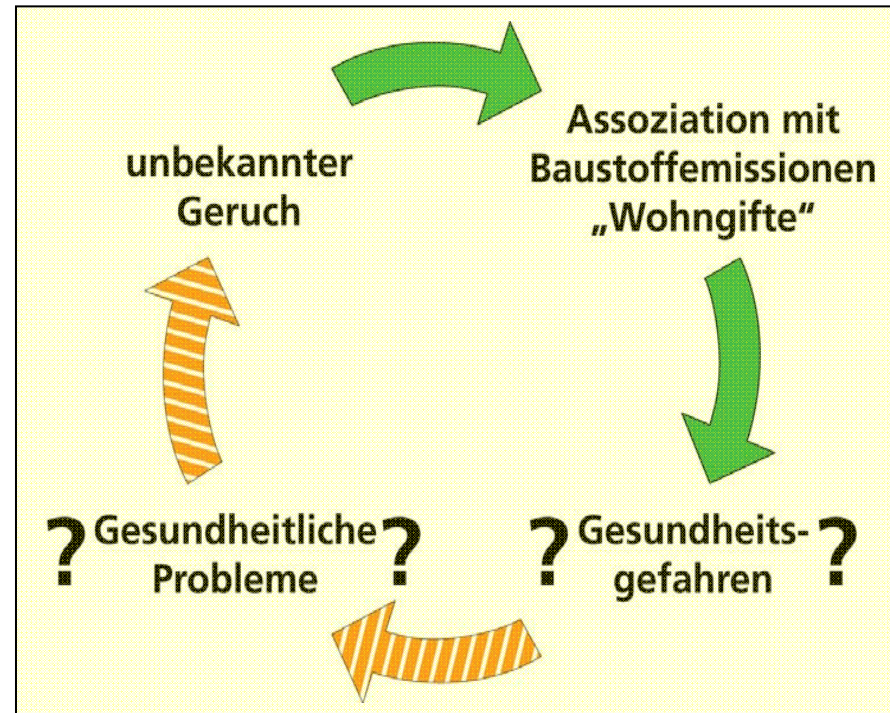
Naphthalin	0,002	0,02	2004
Aromatenarme Alkane /	0,2	2	2005

RW I < RW II: zunächst verstärkt lüften und reinigen, bei weiterer Überschreitung von RW I, Empfehlung weitergehender Maßnahmen

(C4 – C11)

RW I: im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten

(Empfundene) Innenraumluftqualität



Oder „nur“ Geruchsbelästigung?

→ Beeinträchtigung des Wohlbefindens

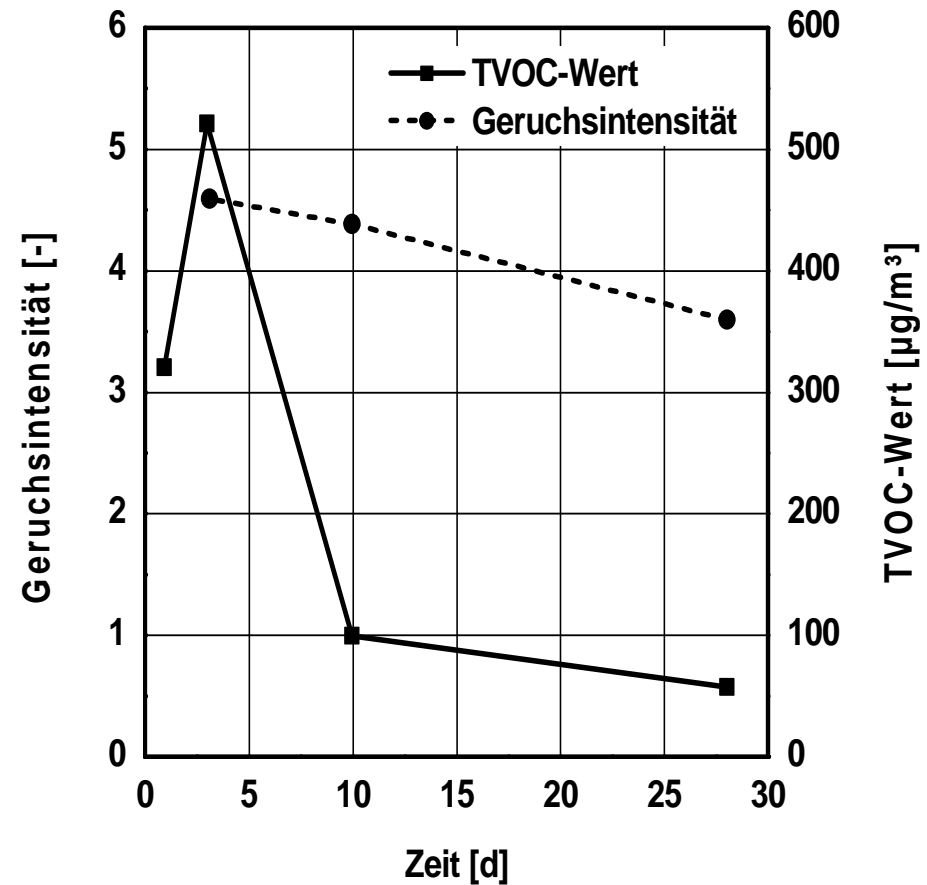
→ Keine Gesundheitsgefährdung

→ dennoch (psychisch bedingte) physische Probleme

(Empfundene) Innenraumluftqualität



Vergleich der Gesamtemission (TVOC-Wert) mit der human-olfaktorisch bestimmten Geruchsintensität eines Parkettbodens im 28-Tage-Prüfkammerversuch



→ Keine Korrelation zwischen der messbaren Gesamtemission an flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) und dem Geruch

Geruchsbewertung



Probandin beim Abriechen einer
Kammerluftprobe

Bewertung von:

- **Akzeptanz**
(Clausen 1996, 2000)
- **Geruchsintensität**
(VDI Richtlinie 3882, 1)
- **Hedonische Wirkung**
(VDI Richtlinie 3882, 2)

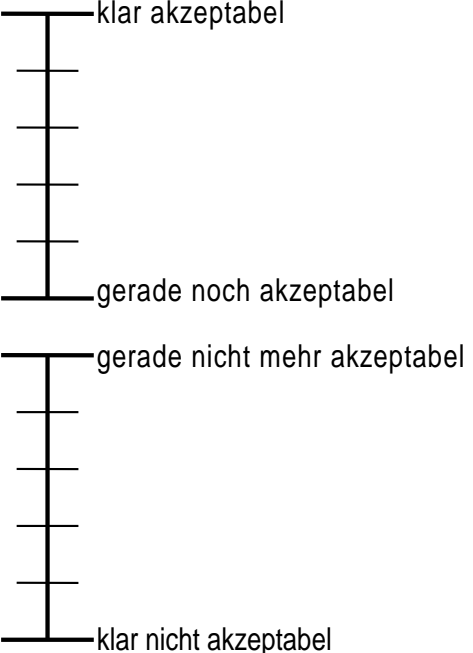
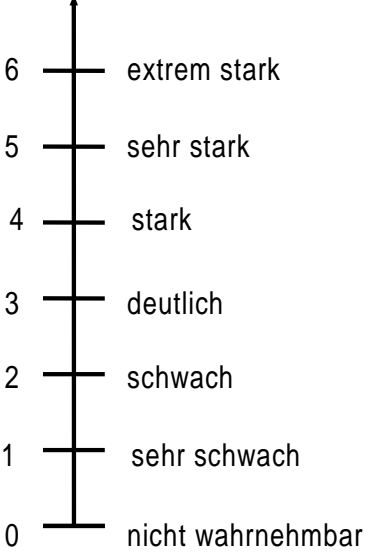
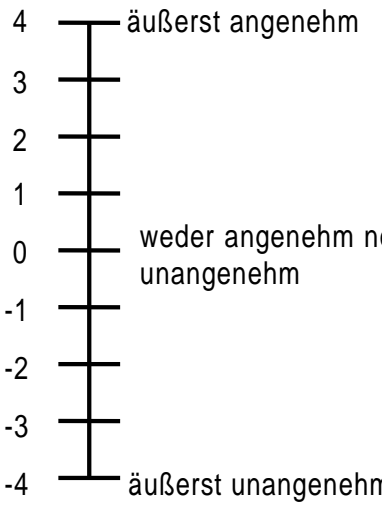
Bedingungen in der
Probandenkabine und
in der Prüfkammer:

$T = 23^{\circ}\text{C}$, r. F. = 50%

Fluss durch die Prüfkammer = 3,2 m³/h

Geruchsbewertung

Fragebogen

<u>Bewertung der Akzeptanz</u>	<u>Bewertung der Intensität</u>	<u>Bewertung der Wirkung</u>
		
<p>Stellen Sie sich vor, Sie wären während Ihrer täglichen Arbeit der Luft aus der Prüfkammer ausgesetzt. Als wie akzeptabel würden Sie die Luftqualität beurteilen?</p> <p>Markieren Sie Ihr Urteil auf der oben angegebenen Skala zwischen "klar akzeptabel" und "klar nicht akzeptabel" durch ein Kreuz.</p>	<p>Markieren Sie Ihr Urteil auf der oben angegebenen Skala zwischen "nicht wahrnehmbar" und "extrem stark" durch ein Kreuz</p>	<p>Markieren Sie Ihr Urteil auf der oben angegebenen Skala zwischen "äußerst angenehm" und "äußerst unangenehm" durch ein Kreuz</p>

Identifizierung verantwortlicher Geruchsstoffe

- Lokalisierung wichtiger Geruchsstoffe mittels Gaschromatographie – Olfaktometrie (GC-O, “GC-sniffing”)

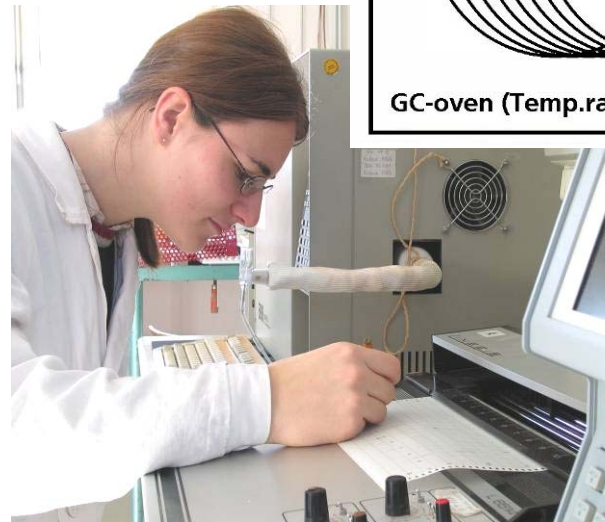
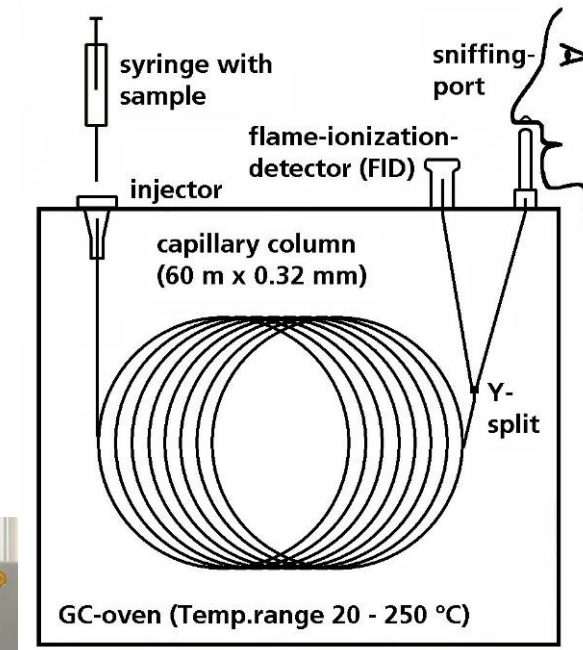
→ Unterscheidung geruchsaktiver von geruchlosen Verbindungen

- Verdünnungsexperimente

→ Selektion der wichtigsten Geruchsstoffe

- Identifizierungsexperimente mittels Gaschromatographie – Massenspektrometrie (GC-MS)

→ chemische Struktur der Geruchsstoffe



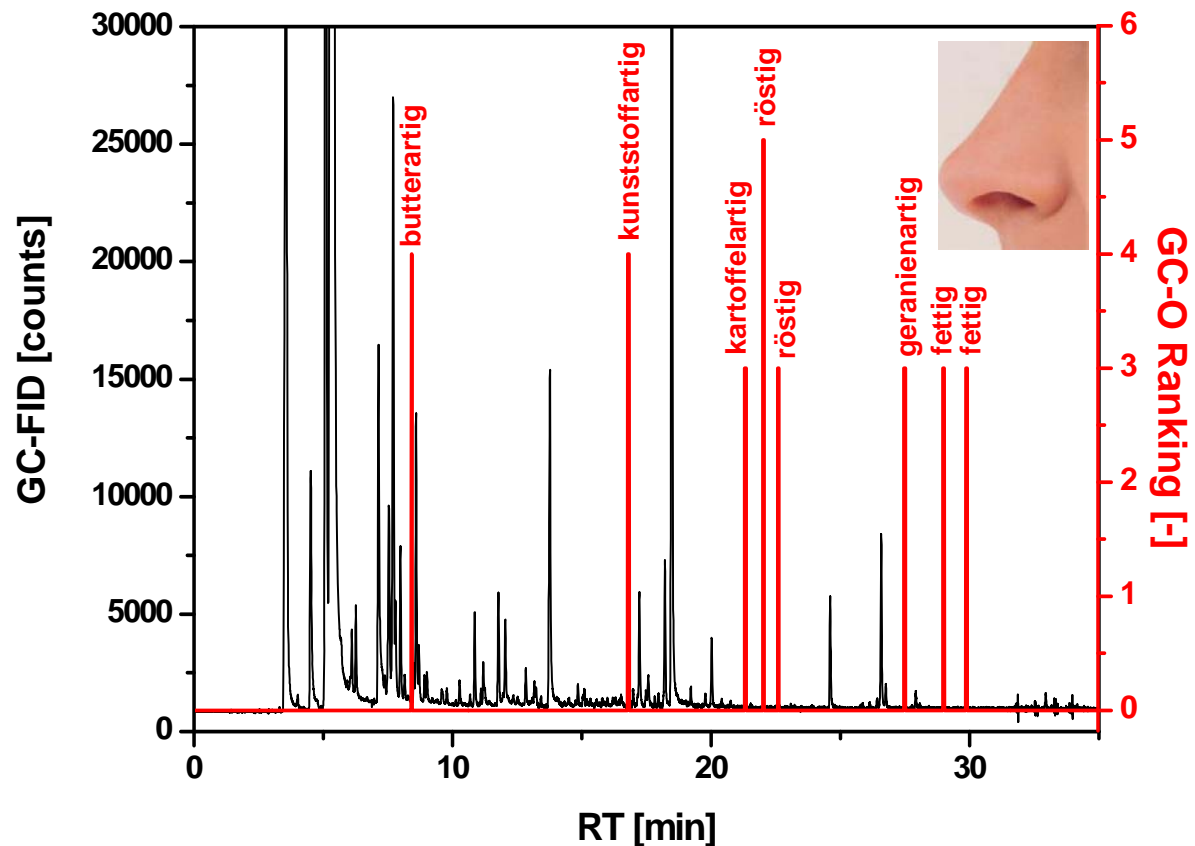
Identifizierung verantwortlicher Geruchsstoffe

Chemische Analytik (GC-FID/MS) vs. Geruchsanalytik (GC-O)

GC-FID/MS
Chromatogramm

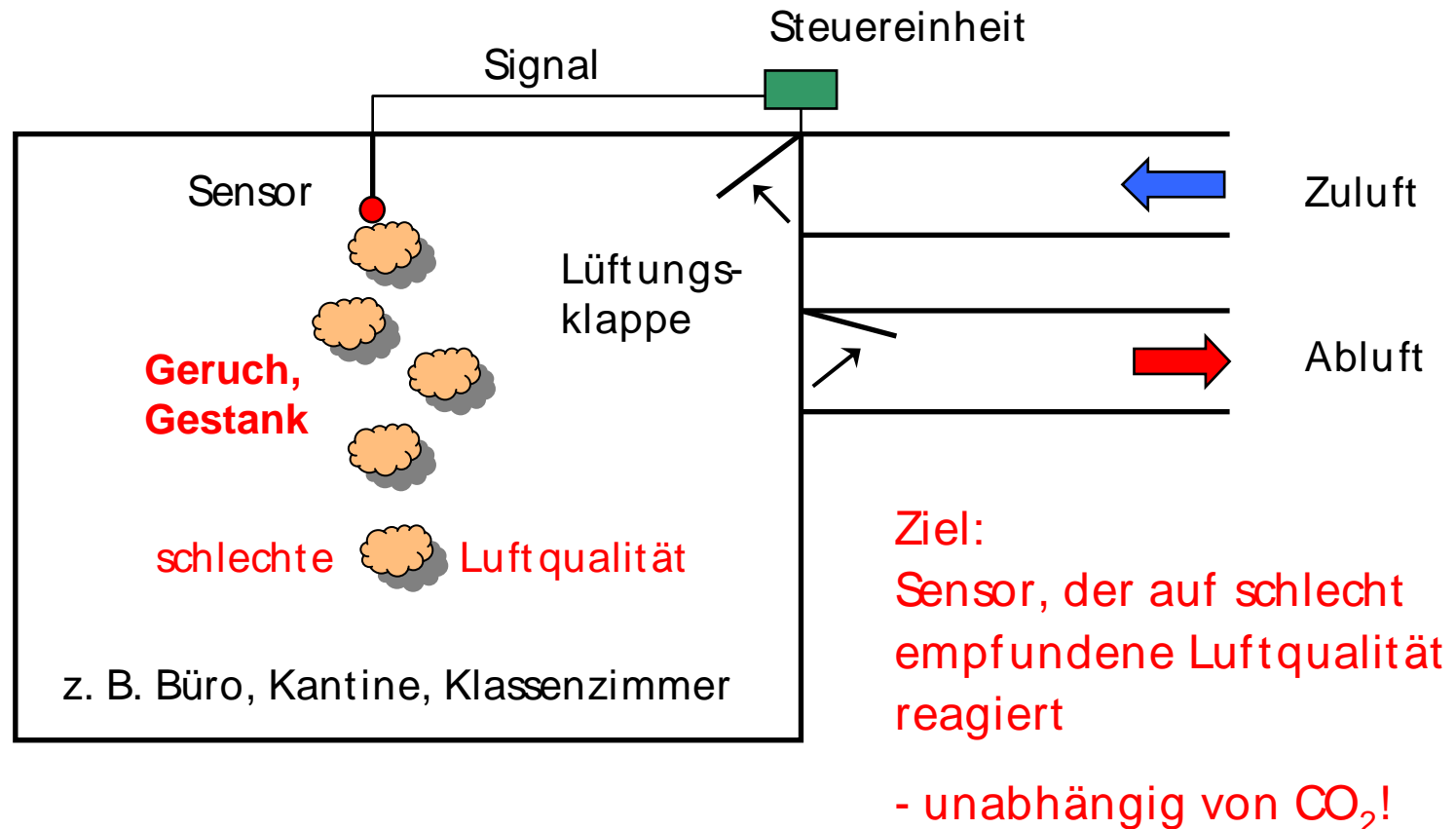
GC-O Ranking

keiner der 8
Geruchsstoffe
wurde vom
GC-MS/FID-
System
detektiert



Luftqualitätsüberwachung durch Luftqualitätssensoren

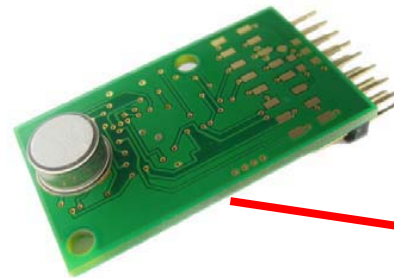
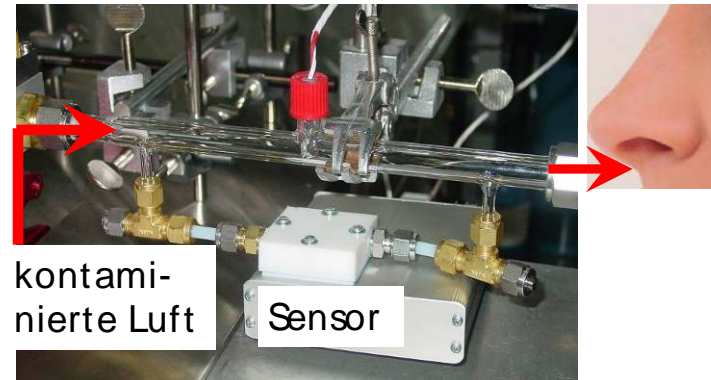
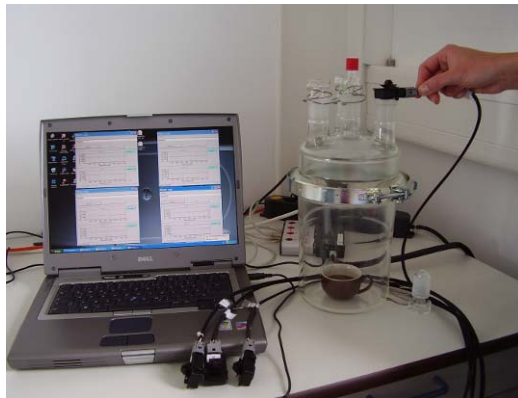
Ereignisgesteuerte Lüftung



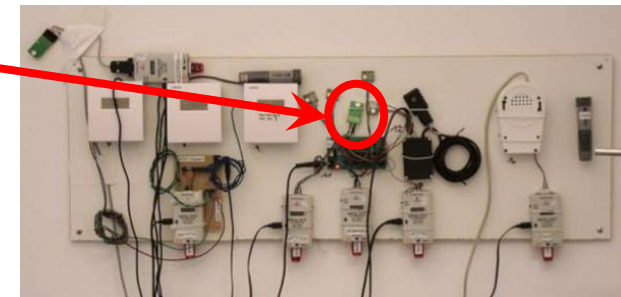
Ereignisgesteuerte Lüftung

Einsatz spezieller Luftqualitätssensoren zur bedarfsgerechten Steuerung von Lüftungsanlagen:

Laborversuche zur Sensitivität, Selektivität und Korrelation zur menschlichen Geruchswahrnehmung



Realversuche im Versuchsbüro:
Vergleichsmessung gegen andere Sensoren (VOC, CO₂)



Ereignisgesteuerte Lüftung

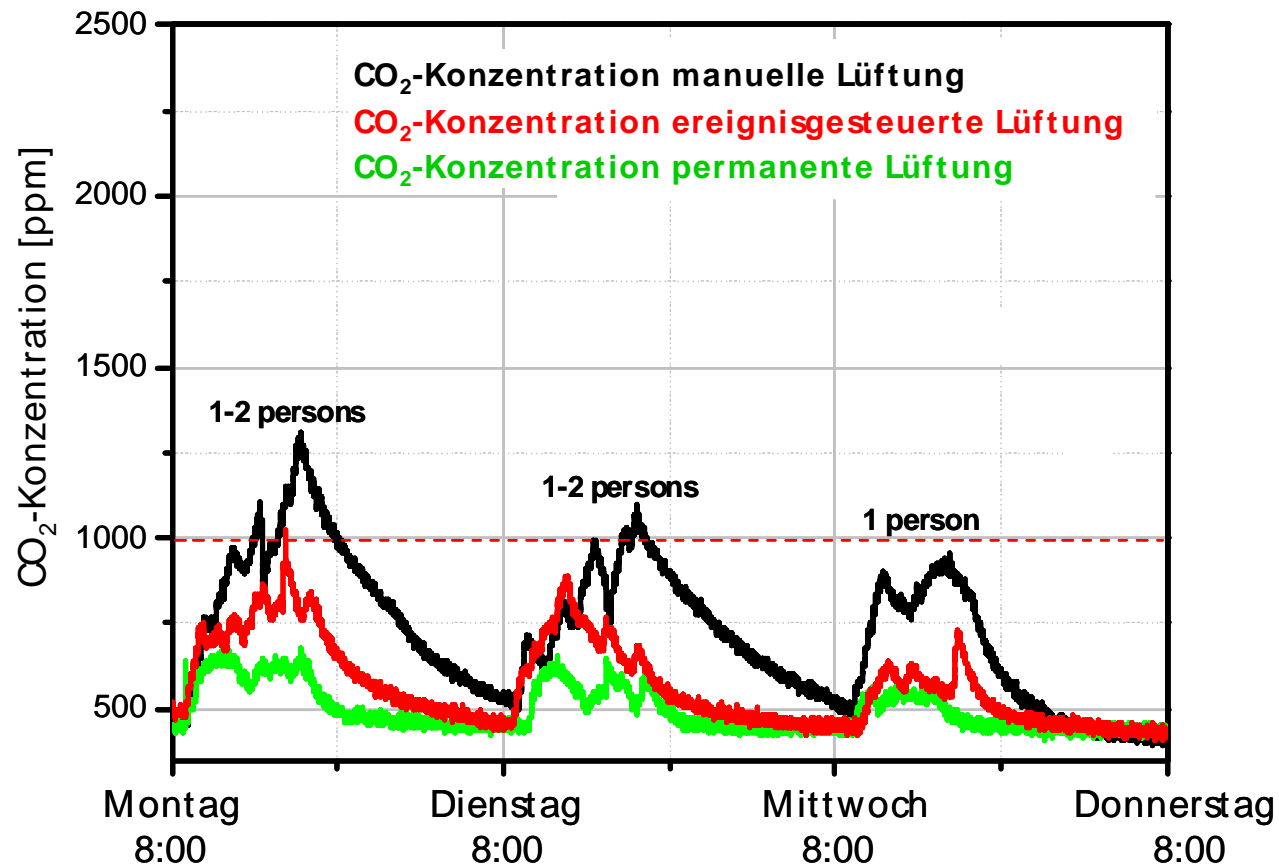
Vergleichsmessung im Versuchsbüro:

Manuelle Lüftung vs. Permanente Lüftung vs. Ereignisgesteuerte Lüftung

- Energieverbrauch
- Berücksichtigung von Innenraumhygieneparametern
- 5 Monate (Nov. – April), 2 Personen-Büro
- 3-Wochen-Zyklus:
 - 1 Woche manuelle Lüftung, Öffnen der Fenster nach Nutzer-Bedarf
 - 1 Woche permanente Lüftung nach EN 15251:2007, Kategorie II, schadstoffarmes Gebäude: Lüftungsrate $7 \text{ l/s/pers} + 0,7 \text{ l/s m}^2$
 - 1 Woche ereignisgesteuerte Lüftung mit VOC-Sensor
- Wiederholung des 3-Wochen-Zyklus ...

Ereignisgesteuerte Lüftung

CO₂-Konzentration



CO₂-Konz. bei manueller Lüftung am höchsten

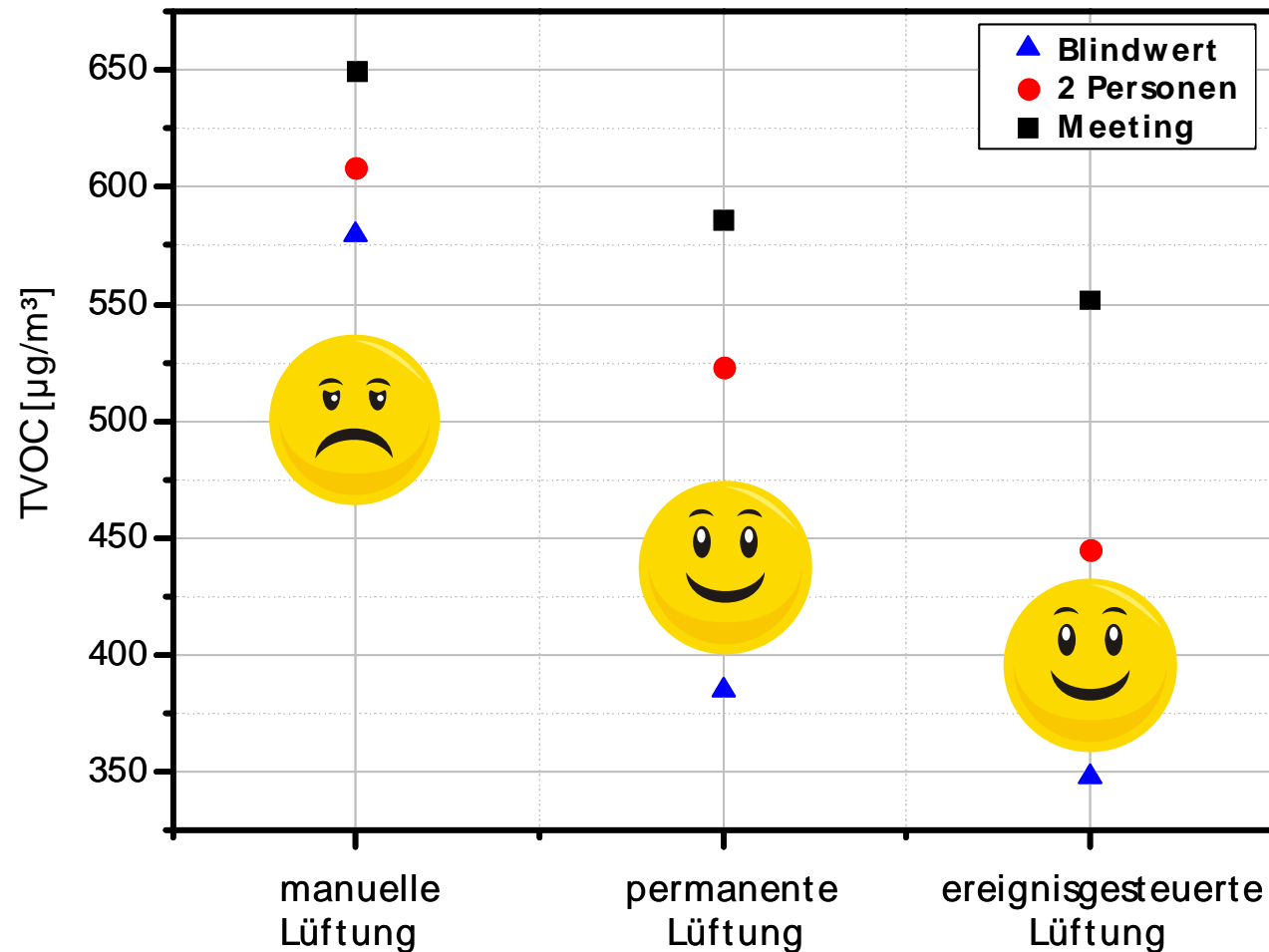
→ ungenügende Lüftung

CO₂-Konz. bei permanenter Lüftung am niedrigsten

→ teilweise Überlüftung

Ereignisgesteuerte Lüftung

Total Volatile Organic Compounds TVOC / Geruch



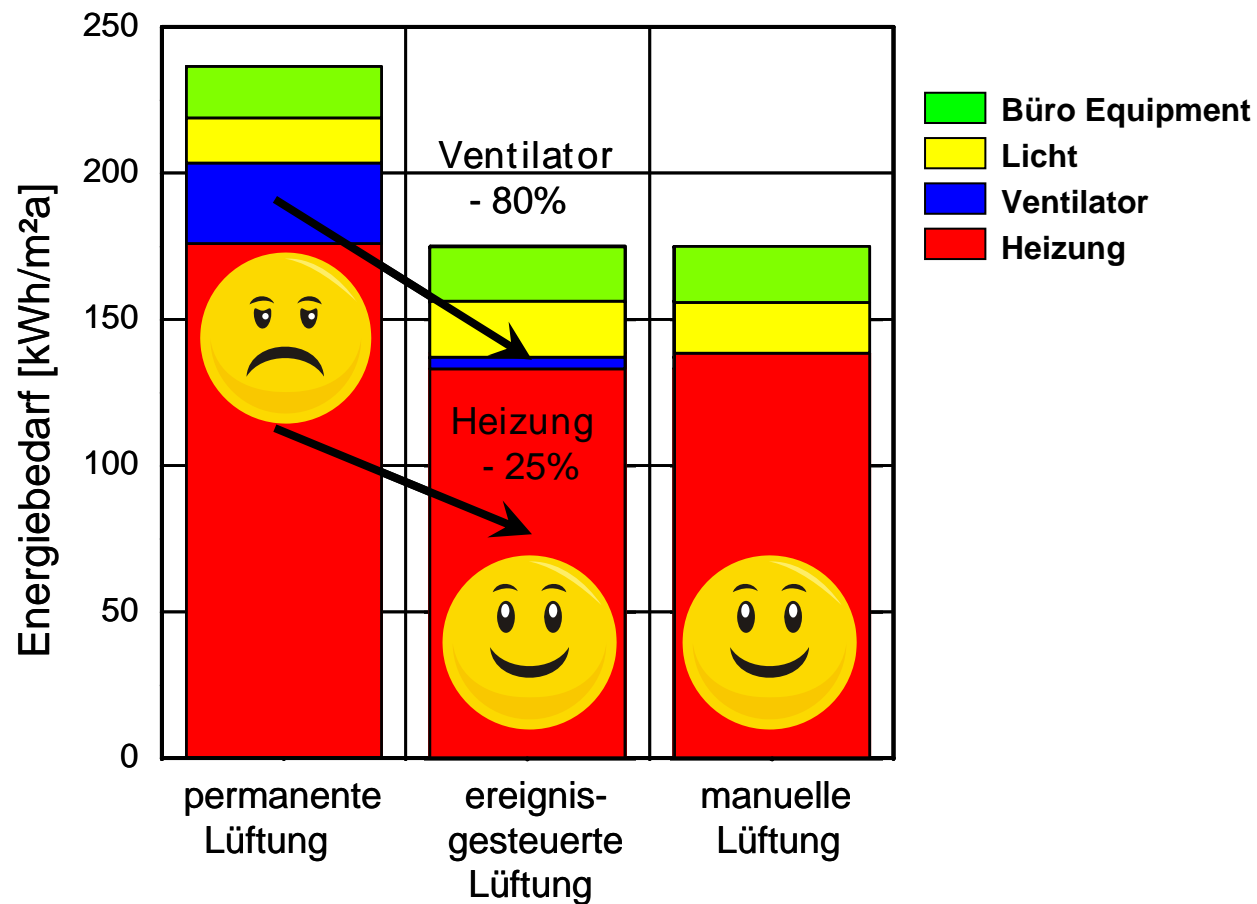
Niedrigste TVOC-Werte im Büro bei der ereignisgesteuerten Lüftung

Geruch der Raumluft:

Manuell gelüftet
> permanent gelüftet
= ereignisgesteuert

Ereignisgesteuerte Lüftung

Energiebedarf während der Heizperiode



Höchster Energiebedarf bei der permanenten Lüftung, gleich niedriger Energiebedarf bei der manuellen Lüftung und der ereignis-gesteuerten Lüftung

Ereignisgesteuerte Lüftung

Konflikt: Zur Erhaltung der Innenraumhygiene sollte viel gelüftet werden, aber aus energetischer Sicht nur wenig!?

Luftqualität
Innenraumhygiene

Energiebedarf

Manuelle Lüftung



Permanente Lüftung



Ereignisgesteuerte Lüftung

