

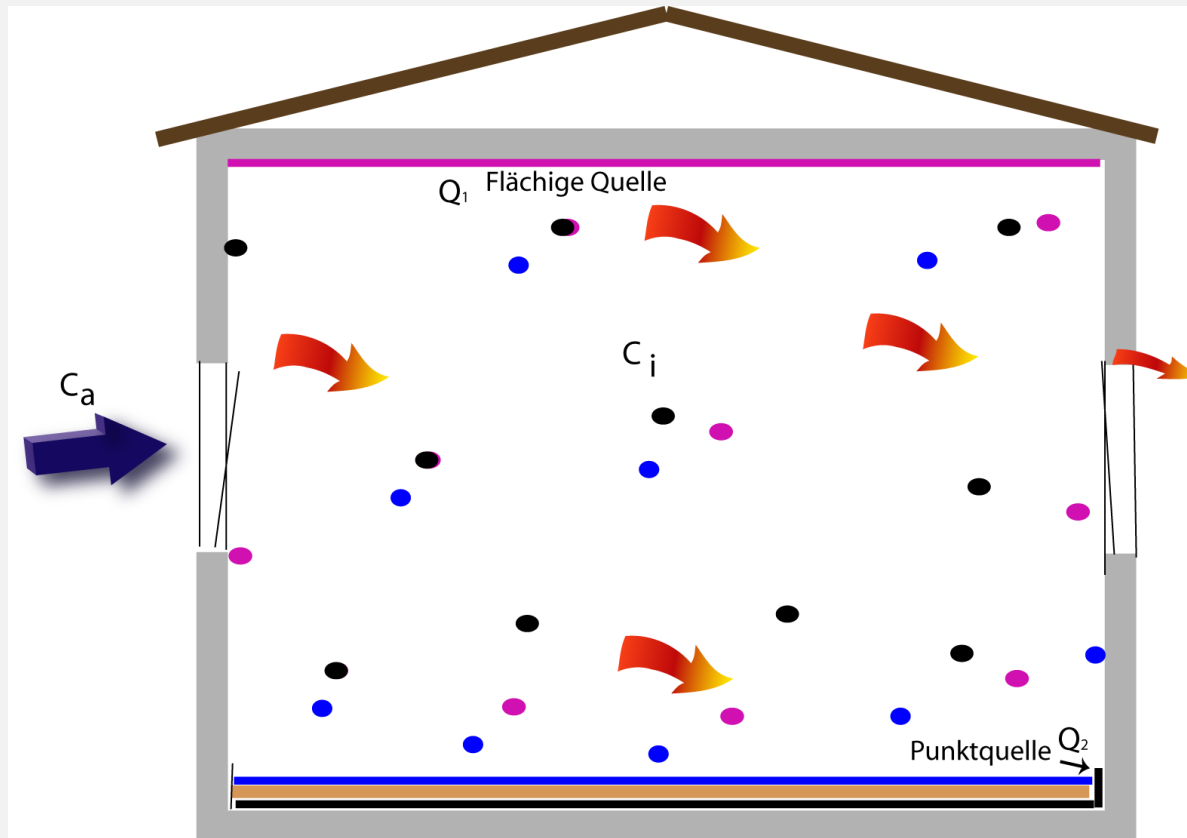
# Innenraumluftverunreinigungen Schadstoff- oder Lüftungsproblematik

**Dr. rer. nat. Lothar Grün**

von der IHK Köln öffentlich bestellter und vereidigter  
Sachverständiger für Luftverunreinigungen und Schimmelpilze  
in Innenräumen

Seit 1996 Mitglied der KRdL-Richtlinien-Arbeitsgruppe  
„Planung von Innenraumluftmessungen“  
im Normenausschuss der KRdL von VDI/DIN

Geschäftsführer der Firma eco-LUFTQUALITÄT + RAUMKLIMA Messstelle, Beratungs- und  
Forschungsgesellschaft mbH aus Köln [www.eco-luft.de](http://www.eco-luft.de)



Die Raumluftkonzentration ist abhängig von den Quellstärken (mg/h) und dem Luftwechsel im Raum!

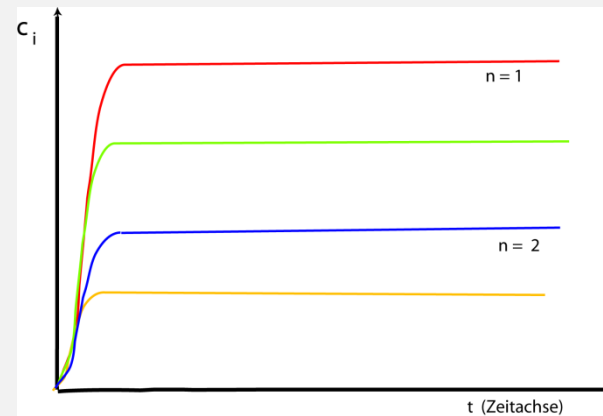
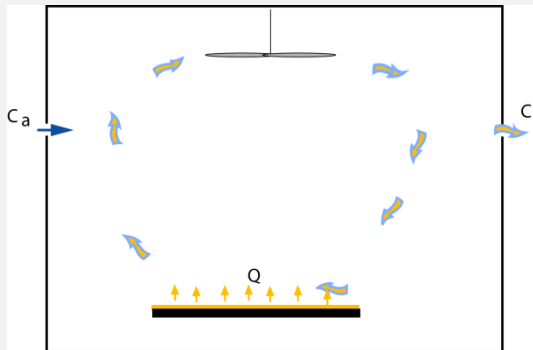
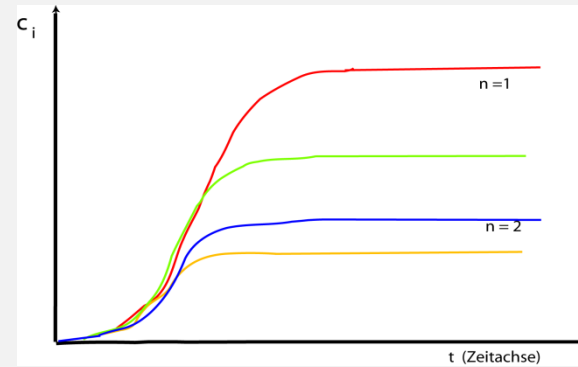
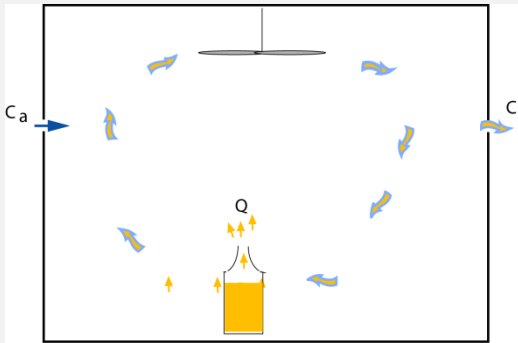
Die DIN EN ISO 16000-1 enthält folgende Gleichung (1), die die Änderung von Stoffkonzentrationen in der Innenraumlufte in Abhängigkeit von der Quellstärke, Lüftungsrate, Raumvolumen und anderen Einflüssen beschreibt.

$$dC_i/dt = (Q/V) + nC_a - AC_i - nC_i \quad (1)$$

|         |                                                   |
|---------|---------------------------------------------------|
| $C_i$ : | Innenraumlufte-Konzentration (mg/m <sup>3</sup> ) |
| $Q$ :   | Quellstärke (mg/h)                                |
| $V$ :   | Raumvolumen (m <sup>3</sup> )                     |
| $n$ :   | Luftwechsel (h <sup>-1</sup> )                    |
| $C_a$ : | Außenluft-Konzentration (mg/m <sup>3</sup> )      |
| $A$ :   | Abbau-Faktor                                      |
| $t$ :   | Zeit                                              |

Da im Ausgleichszustand unter Idealbedingungen -wie bei einer Prüfkammeruntersuchung- im zeitlichen Verlauf keine Änderung der Innenraumlufte-Konzentration erwartet wird, wird der Term  $dC_i/dt = 0$ . Die in Innenräumen üblicherweise nachzuweisenden VOC sind in der Außenluft nicht oder in viel geringerer Konzentration vorhanden. Auch der Abbaufaktor ist für viele VOC als gering einzuschätzen, so dass sich für die zu erwartenden Innenraumlufte-Konzentrationen die Werte nach folgender vereinfachter Formel berechnen lassen:

$$C_i = Q/V \cdot n \quad (2)$$



| Beurteilungskriterium                                     | Sehr schadstoffarmes Gebäude                     | Schadstoffarmes Gebäude                           |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Baustoffauswahl                                           | Alle verwendeten Baustoffe sehr schadstoffarm    | Mehrheit der verwendeten Baustoffe schadstoffarm  |
| Nutzereinflüsse                                           | Im Gebäude wird und wurde nie geraucht           |                                                   |
| VOC-Emissionen (TVOC)                                     | < 0,1 mg/m <sup>2</sup> h                        | < 0,2 mg/m <sup>2</sup> h                         |
| Formaldehydemissionen                                     | < 0,02 mg/m <sup>2</sup> h                       | < 0,05 mg/m <sup>2</sup> h                        |
| Ammoniakemissionen                                        | < 0,01 mg/m <sup>2</sup> h                       | < 0,03 mg/m <sup>2</sup> h                        |
| Emission von krebserzeugenden Verbindungen (IARC)         | < 0,002 mg/m <sup>2</sup> h                      | < 0,005 mg/m <sup>2</sup> h                       |
| Geruch                                                    | Material ist geruchlos,<br>Unzufriedenheit < 10% | Material ist geruchlos,<br>Unzufriedenheit < 15 % |
| IARC: International Agency for Research on Cancer der WHO |                                                  |                                                   |

## Messverfahren:

Überprüfung von Flächen möglich mit Emissionsprüfzelle nach DIN EN ISO 16000-10: 2006

# Definition von schadstoffarmen und sehr schadstoffarmen Gebäuden (aus DIN EN 16798-1: April 2021)

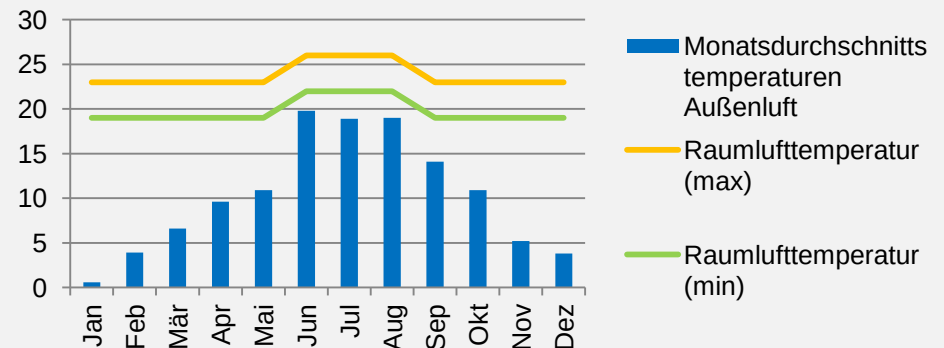
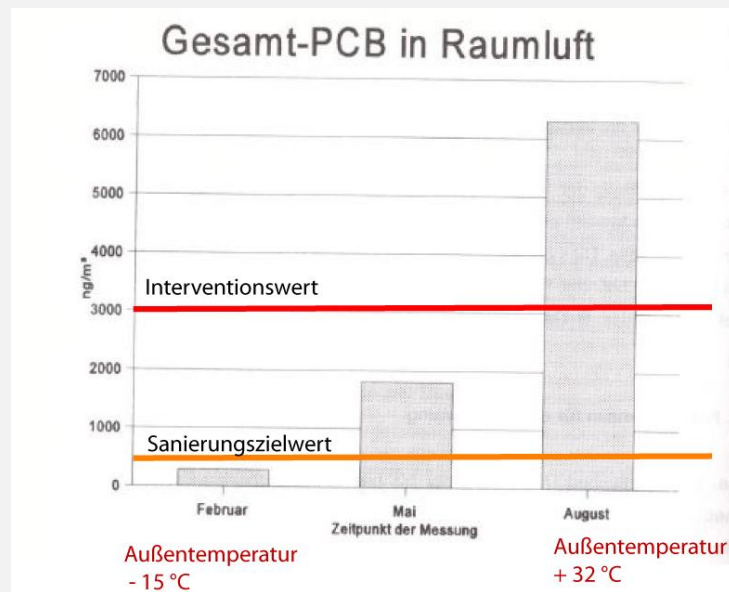
**Tabelle B.17 — Kriterien für die unterschiedlichen Gebäudetypen**

| QUELLE                                                   | Emissionsarme Baustoffe für schadstoffarme Gebäude | Sehr emissionsarme Baustoffe für sehr schadstoffarme Gebäude |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Summe der VOC (TVOC) (nach EN 16516)                     | $< 1\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$                 | $< 300\ \mu\text{g}/\text{m}^3$                              |
| Formaldehyd                                              | $< 100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$                    | $< 30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$                               |
| Alle mit C1 A oder C1 B eingestuften krebserregenden VOC | $< 5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$                      | $< 5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$                                |
| R-Wert (nach EN 16516)                                   | $< 1,0$                                            | $< 1,0$                                                      |

| Referenzraum (12 m <sup>3</sup> ) als Bezugsgröße für die Kammerbeladung (DIN EN 16516: 2018-01) | Fläche                                  | Beladungsfaktor Prüfkammer (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Fußboden / Decke                                                                                 | je 12 m <sup>2</sup>                    | 0,4                                                          |
| Wände                                                                                            | 31,4 m <sup>2</sup>                     | 1,0                                                          |
| Tür / Fenster                                                                                    | 1,6 m <sup>2</sup> / 2,0 m <sup>2</sup> | 0,05                                                         |
| Dichtstoffe, sonstige kleine Oberflächen                                                         |                                         | 0,007                                                        |

## Wodurch wird die Quellstärke bestimmt?

1. Dampfdruck des emittierenden Stoffes
2. Die Größe der wirksamen Emissionsfläche
3. Anströmgeschwindigkeit der Luft an der Emissionsfläche
4. Umgebungsklima (Raumlufthtemperatur, rel. Feuchte)
5. Jahreszeit/Witterung (Bauteiltemperaturen)

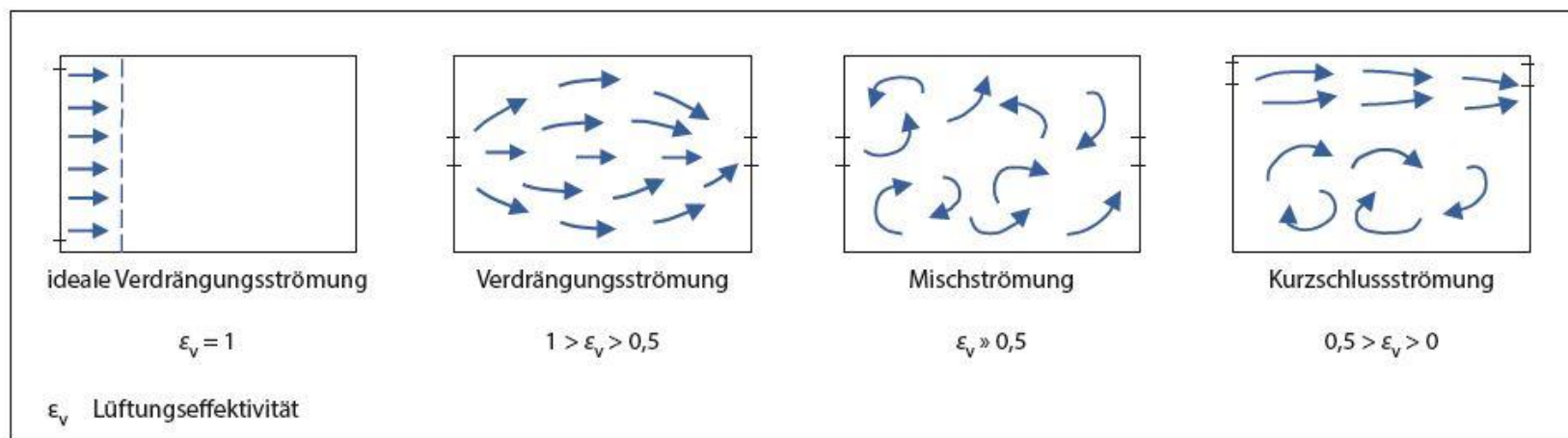


Messverfahren zur Ermittlung von Quellstärken im Objekt:  
DIN EN ISO 16000-10 (Emissionszelle)

Datenquelle: Ball, Herrmann: Wie viele Messungen sind notwendig im Laufe der Jahreszeiten. VDI Berichte 1122 (1994)

## Wie wirksam ist die Lüftung?

1. Qualität der zugeführten Luft (Außenluft, Fremdluft aus anderen Räumen)
2. Luftwechselzahl (LWZ)
3. Grad der Durchmischung

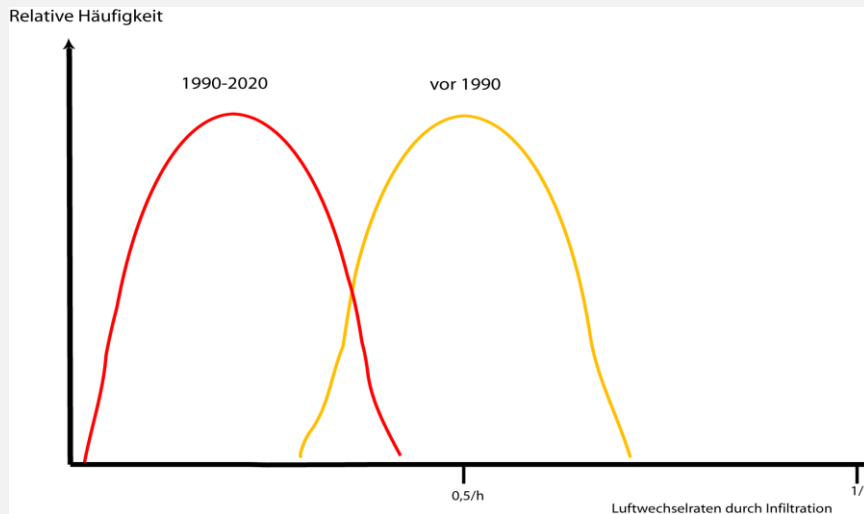


**Abb. 1:** Formen von Raumlüftströmungen: Quelllüftung beruht auf der idealen Verdrängungsströmung, Mischlüftung auf der Mischströmung. Besonders ungünstig für eine Lüftung ist die Kurzschlussströmung. (Quelle: Joachim Seifert, Dresden)

Quelle: J.Seifert: *Energieeffizienz von Gebäuden und Lüftung*. Gebäudeschadstoffe und Innenraumlüftung. Rudolf-Müller-Verlag: 1-2017

Messverfahren: Bestimmung der LWZ nach VDI 4300 Bl. 7; Volumenstrommessungen an Luftdurchlässen nach DIN EN 12599





Ursachen für die geringeren Infiltrationsraten:

## Energieeinsparmaßnahmen

Wärmeschutzverordnung WSV (1977)

Energieeinsparverordnung ENEC (2002)\*

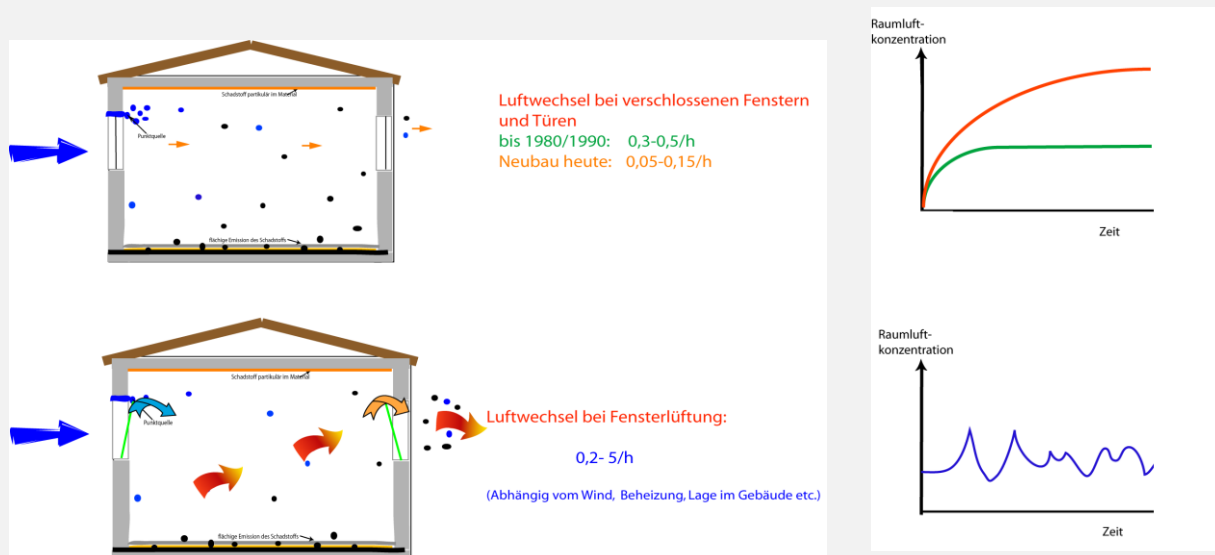
Gebäudeenergiegesetz GEG (2020)

\*Es muss ein hygienisch notwendiger Mindestluftwechsel sichergestellt werden; 2014: Die Gebäudehülle muss weitgehend dicht sein.

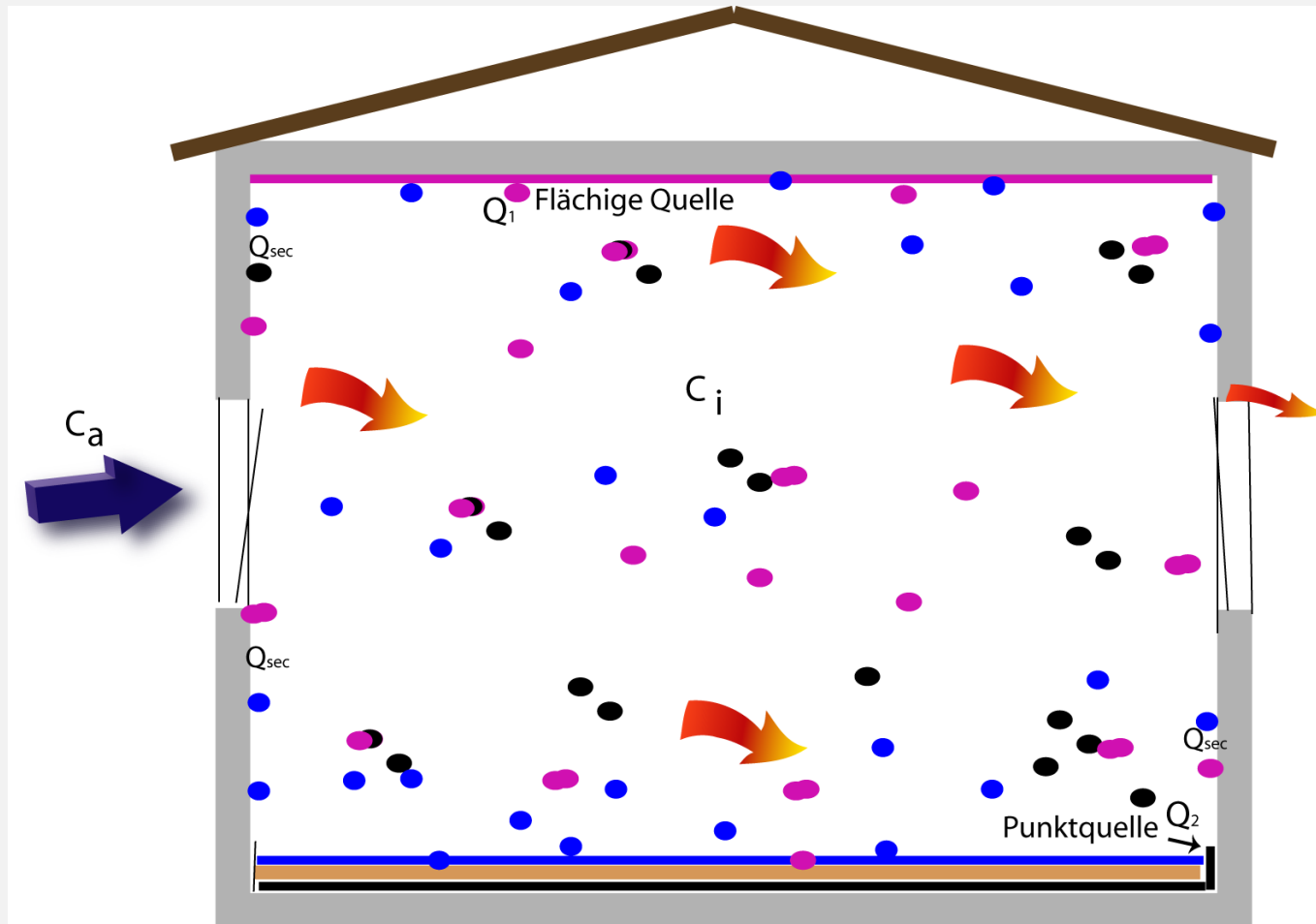
Bis Ende der 90er Jahren war bei erhöhten Raumluftkonzentrationen (z.B. Richtwertüberschreitungen) stets von einer spezifischen Quelle als Ursache der Luftverunreinigungen auszugehen

Maßnahmen: Quelle ermitteln und falls erforderlich bauliche Sanierung (Ausbau, Abschottung)

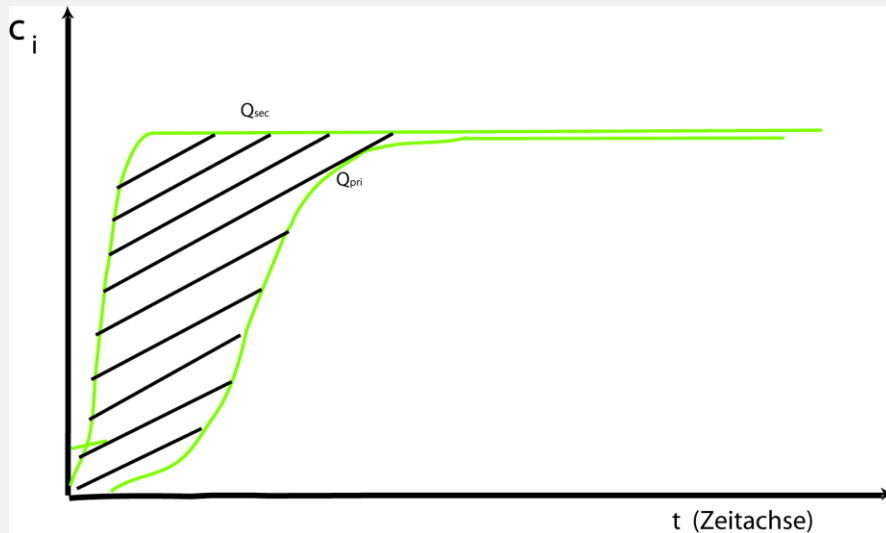
Auf der Grundlage von wenigen Raumluftmessungen und einigen Materialbeprobungen konnten Sanierungsmaßnahmen festgelegt werden.



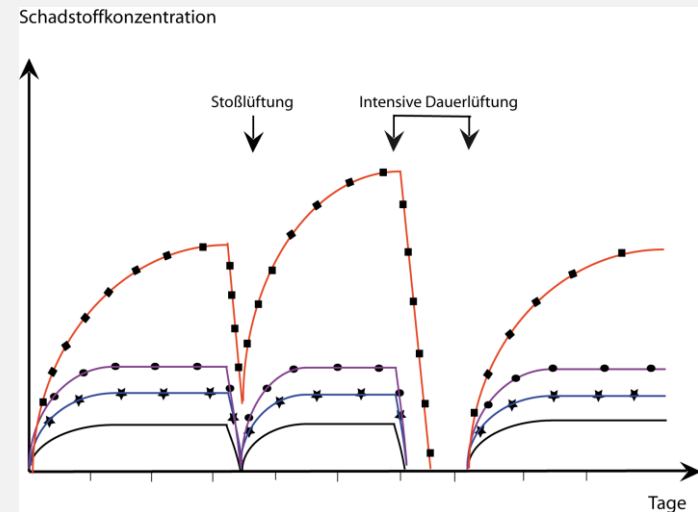
## Primärquellen, Senken, Sekundärquellen



Steilerer Konzentrationsanstieg  
durch flächige Sekundärquellen



Höhere Raumluftkonzentrationen  
und verzögertes Abklingen in den  
Lüftungsintervallen



Kritischer Punkt:

Aus Quellen freigesetzte VOC-Stoffmengen sind größer als die Stoffmengen, die durch Lüftung aus dem Raum fortgeleitet werden.

**Tabelle 5:** Empfohlene Auslegungswerte der Lüftungsraten nach prEN 16798-1 für unterschiedliche Gebäudetypen zur Verdünnung der aus Gebäuden emittierten Schadstoffe

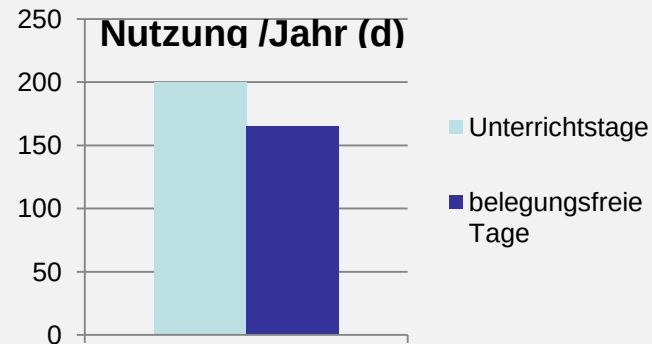
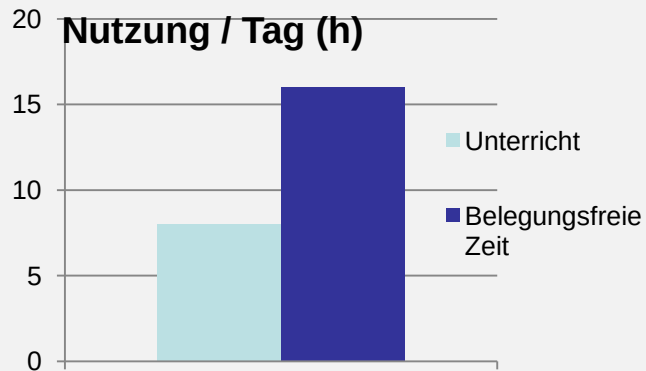
| Kategorie | Lüftungsrate der Gebäudeemission $q_B$ |                |                         |                |                               |                |
|-----------|----------------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
|           | sehr schadstoffarmes Gebäude           |                | schadstoffarmes Gebäude |                | nicht schadstoffarmes Gebäude |                |
|           | in l/(s · m²)                          | in m³/(h · m²) | in l/(s · m²)           | in m³/(h · m²) | in l/(s · m²)                 | in m³/(h · m²) |
| I         | 0,5                                    | 1,8            | 1,0                     | 3,6            | 2,0                           | 7,2            |
| II        | 0,35                                   | 1,26           | 0,7                     | 2,52           | 1,4                           | 5,04           |
| III       | 0,2                                    | 0,72           | 0,4                     | 1,44           | 0,8                           | 2,88           |
| IV        | 0,15                                   | 0,54           | 0,3                     | 1,08           | 0,6                           | 2,16           |

Quelle: J.Seifert: *Energieeffizienz von Gebäuden und Lüftung*. Gebäudeschadstoffe und Innenraumluft. Rudolf-Müller-Verlag: 1-2017

## Lüftung in Nichtbelegungszeiten (Außenluftvolumenstrom)

|                         | l/ sec · m²        | m³/ m²h             |
|-------------------------|--------------------|---------------------|
| DIN EN 16798-1 (4-2021) | 0,15 (0,1 - 0,15)* | 0,54 (0,36 - 0,54)* |
| DIN EN 15251 (2007)     | 0,05 - 0,1         | 0,18 - 0,36         |

\* Für Wohngebäude



Die Nutzungszeit mit aktiver Lüftung beträgt in Schulen und Kitas nur ca. 30-50 % der Jahresstunden!

1. *In dichten, natürlich belüfteten Räumen steigen die Raumlufkonzentrationen insbesondere in den belegungsfreien Zeiten auf ein deutlich höheres Niveau an, als in Räumen mit einer konstanten maschinellen Grundlüftung (z.B. 0,3-0,5/h).*
2. *Das Wirksamwerden von Senken und der Aufbau von Sekundärquellen nimmt proportional mit der Höhe der Stoffkonzentrationen in Räumen zu.*
3. *Neben produkt- oder materialspezifischen Emissionsraten wirkt sich die Beladung von Räumen auf die Höhe der Raumlufkonzentrationen aus (zusätzliche Primärquellen sowie Senken und Sekundärquellen).*

## Versuch einer einfachen Modellierung

$$C_i = (Q_{\sum Q1 \text{ bis } Qn} - S_a \sum S1 \text{ bis } Sn + Q_{\text{sek}} \sum Qs1 \text{ bis } QSn) / V \cdot n$$

*S: Senke (Sekundärbeladung von Oberflächen über die Raumluf)*

$$(Q_{\sum Q1 \text{ bis } Qn} - S_a \sum S1 \text{ bis } Sn + Q_{\text{sek}} \sum Qs1 \text{ bis } QSn) = C_i \cdot V \cdot n$$

*( $C_i \cdot V \cdot n$ ) ist messtechnisch bestimmbar!!*

*Welche Rückschlüsse können wir aus der Bestimmung dieses Term ziehen?*

*Raumfläche 18 m<sup>2</sup>, 45 m<sup>3</sup> Volumen (V); Oberflächen: 78 m<sup>2</sup> (nicht möbliert)*

*Messungen: VOC/TVOC-Messung in Kombination mit einer Luftwechsellmessung*

- *TVOC-Konzentration ( $C_i$ ): 1500 µg/m<sup>3</sup>*
  - *Stoffgruppe aromatenarme Kohlenwasserstoffe C9-C14 ( $C_i$ : 520 µg/m<sup>3</sup> (RWI))*
- $(Q_{\sum Q1 \text{ bis } Qn} - S_a \sum S1 \text{ bis } Sn + Q_{\text{sek}} \sum QS1 \text{ bis } QSn) = 10,1 \text{ mg/h TVOC}; 3,5 \text{ mg/h C9-C14 Alkane}$*

*Bewertungskriterien (DIN EN 15251:2007)*

*sehr emissionsarm: 0,1 mg/m<sup>2</sup>h (bezogen auf die Größe der Oberflächen im Raum: 7,8 mg/h TVOC)*

*Emissionsarm: 0,2 mg/m<sup>2</sup>h (bezogen auf die Größe der Oberflächen im Raum: 15,6 mg/h TVOC)*

**Fazit: keine auffällige TVOC-Quellstärke**

**Bewertung der Lüftung in der belegungsfreien Zeit:**

Luftwechselzahl: 0,15/h

Ersetztes Volumen: 6,75 m<sup>3</sup>/h (Außenluft/Nebenräume)

Bewertungskriterien (DIN EN 16798-1):

Erforderlicher Außenluftwechsel für Nichtbelegungszeit: 9,72 m<sup>3</sup>

**Fazit: Die Luftwechselrate entspricht den Empfehlungen der DIN EN 15251 für belegungsfreie Zeiten (Bestandsgebäude)**

**Empfehlung die Lüftungsintervalle zu verkürzen und Nachmessung nach 2-4 Wochen:**

**TVOC-Konzentration ( $C_i$ ): 740 µg/m<sup>3</sup>**

**Stoffgruppe aromatenarme Kohlenwasserstoffe C9-C14 ( $C_i$ : 160 µg/m<sup>3</sup>)**



*Kita Raum: 17 m<sup>2</sup>, Raumvolumen 54,4 m<sup>3</sup>, Oberflächen 85 m<sup>2</sup> (unmöbliert)*

Gemessene Alkankonzentrationen in einem Raum 13.000 µg/m<sup>3</sup> und Bestimmung der Luftwechselzahl.

Aus der Raumluftkonzentration rechnerisch ermittelte Quellstärke: 75 mg/h (bei 0,12 LW/h = 6,53 m<sup>3</sup>/h)  
Bewertung der Quellstärke nach DIN EN 15251: „nicht schadstoffreies Gebäude“.

### Bewertung der Lüftung in der belegungsfreien Zeit:

Luftwechselzahl: 0,12/h

Ersetztes Volumen: 6,53 m<sup>3</sup>/h (Außenluft/Nebenräume)

Fazit: Die Luftwechselrate entspricht den Empfehlungen der DIN EN 15251 (6,12 m<sup>3</sup>/h) für belegungsfreie Zeiten (Bestandsgebäude)

Bewertungskriterien (DIN EN 16798-1):

Erforderlicher Außenluftwechsel für Nichtbelegungszeit: 9,18 m<sup>3</sup>/h

Durch Emissionsmessung an Oberflächen ermittelte flächenspezifische Emissionsrate von 12 mg/m<sup>2</sup>h  
bei 18 m<sup>2</sup> Primärquelle: 216 mg/h  
Sekundärquellen: 2-4 mg/m<sup>2</sup>h bei 67 m<sup>2</sup> : 134 -268 mg/h  
Quellstärke (Oberflächenmessung): 350 – 480 mg/h

Raumluftkonzentration nach 14 Tagen bei 3fachem Luftwechsel: 3100 µg/m<sup>3</sup>:  
Quellstärke berechnet aus Raumluftkonzentration und Luftwechsel: 539 mg/h  
Raumluftkonzentration nach 14 Tagen bei 3fachem Luftwechsel  
und 2 Tagen bei 1fachem Luftwechsel: 8900 µg/m<sup>3</sup>:  
Quellstärke : 516 mg/h

**Fazit: Die ermittelte Quellstärke in dem ungelüfteten Raum ist sehr viel geringer als bei höheren Luftwechselraten; ist dieser Befund auf einen Senkeneffekt zurückzuführen?)**

- Sehr geringe Luftwechselraten und/oder große Quellstärken in Nichtbelegungszeiten begünstigen Senkeneffekte und können zum Aufbau erheblicher Sekundärbelastungen führen.
- Sekundärbelastungen führen zu einem veränderten Emissionsprofil (schneller Anstieg nach Lüftungsphasen, verzögertes Abklingen in den Lüftungsphasen)
- Wärmere Sommer und die damit verbundene stärkere Erwärmung der Bausubstanz wirken sich auf die Höhe der Raumluftkonzentrationen und fördern die Bildung von Sekundärquellen.
- „Alte“ bereits vergessene Schadstoffquellen (PCB, PAH) können nach wärmetechnischen oder brandschutztechnischen Ertüchtigungen wieder zu einem Problem werden.
- Im Rahmen von Modernisierungen und umfassenden Gebäudesanierungen sollte zukünftig eine von der Nutzung unabhängige Grundlüftung von Aufenthalts- und Unterrichtsräumen berücksichtigt werden\*.

(\*s. Empfehlungen des Arbeitskreises Lüftung am Umweltbundesamt: Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden - Teil I: Bildungseinrichtungen (Bundesgesundheitsbl.2-2018).