



## **20. WaBoLu-Innenraumtage 20.-22. Mai 2019**

### **Praxisgerechte Verfahren zur Luftwechsellmessung**

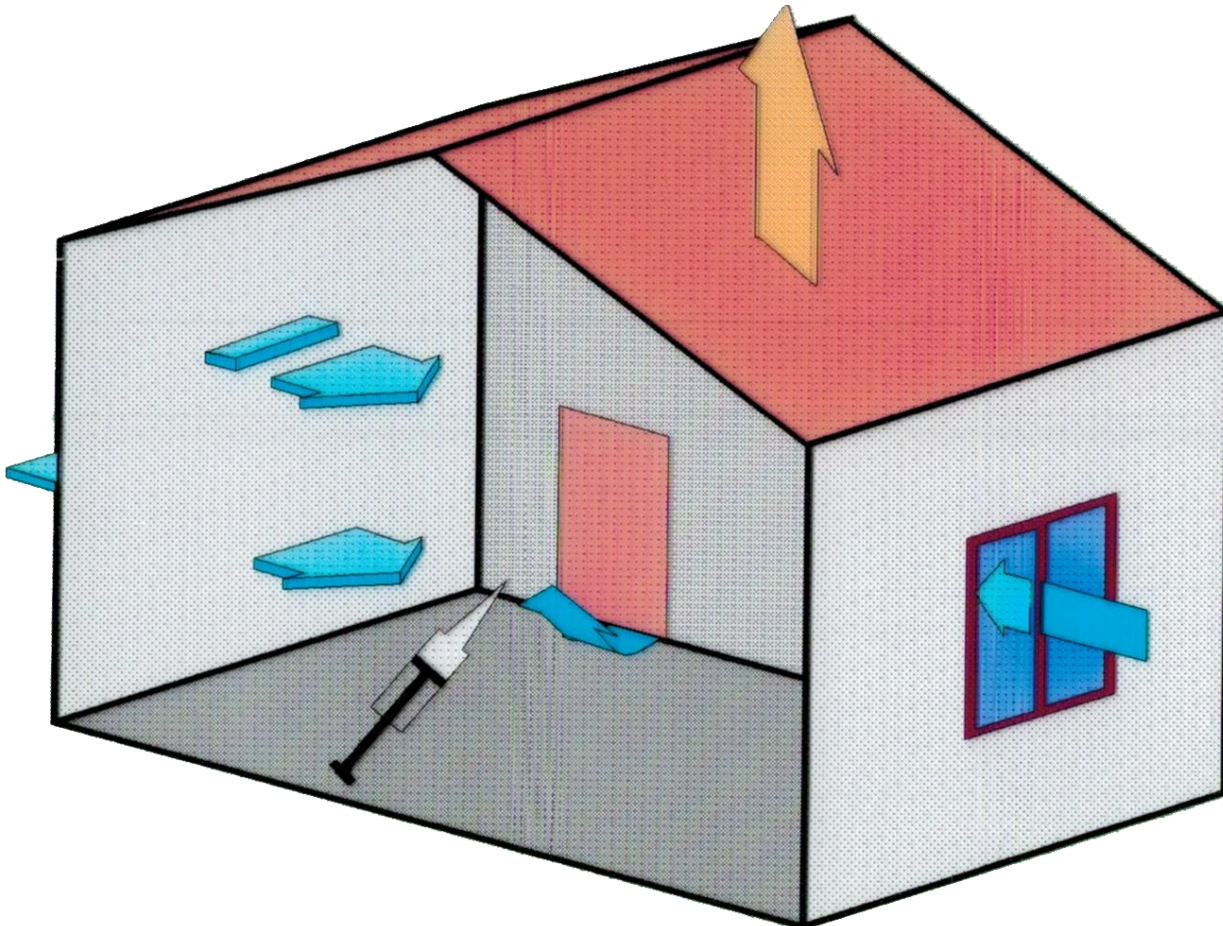
Dr.-Ing. Willigert Raatschen, TracerTech GmbH, Immenstaad a. B.

1. Methodik zur Messung der LWZ
2. Luftwechsel oder lokales Alter der Luft
3. Praxisrelevante Vorteile
4. Umweltaspekte

# 1. Methodik

- Einmalige Tracergasinjektion
- Messung des Konzentrationsabfalls

$$c(t) = c^0 \cdot e^{-n \cdot t}$$



**Basisset**



# 1. Methodik - Analyse

- Injektion von einer 60ml Spritze reichen für Raumvolumen von 3.000m<sup>3</sup>
- Tracergasanalyse mit Gaschromatograph Autotrac 101
- 5-10ml Probenvolumen
- Konzentrationsbereich 50 ppt bis 100 ppb

$$c(t) = c^0 \cdot e^{-n \cdot t}$$



**Basisset**

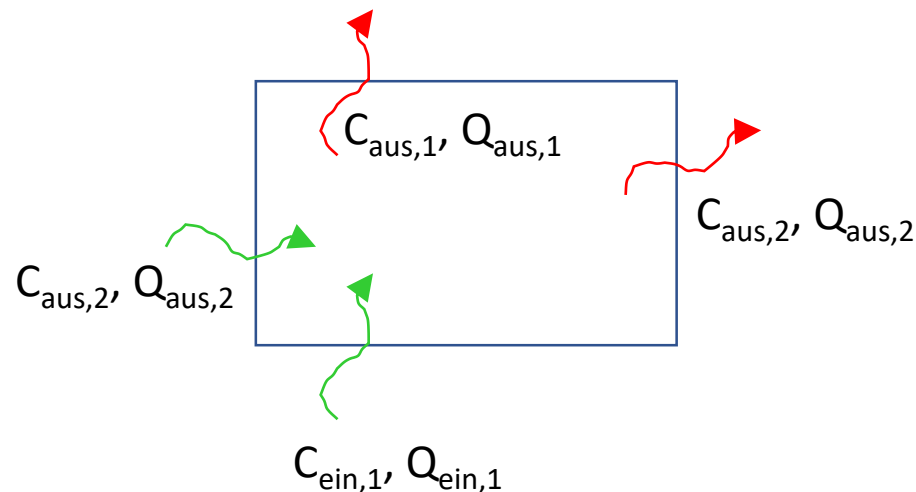
## 2. Luftwechselfmessung nach Decay-Methode

### Vorgehensweise:

- Tracergas nicht nur am Anfang, sondern während der ganzen Messzeit vollständig durchmischt zu halten
- Nach ASTM-Norm muss Durchmischung vorher und nachher nachgewiesen werden

### Hintergrund:

- Die Massenbilanz setzt voraus, dass die Raumluft vollständig durchmischt ist



Aus 
$$V_R \cdot \frac{dc}{dt} = \sum Q_{ein,i} \cdot c_{ein,i} - \sum Q_{aus,i} \cdot c_{aus,i}$$

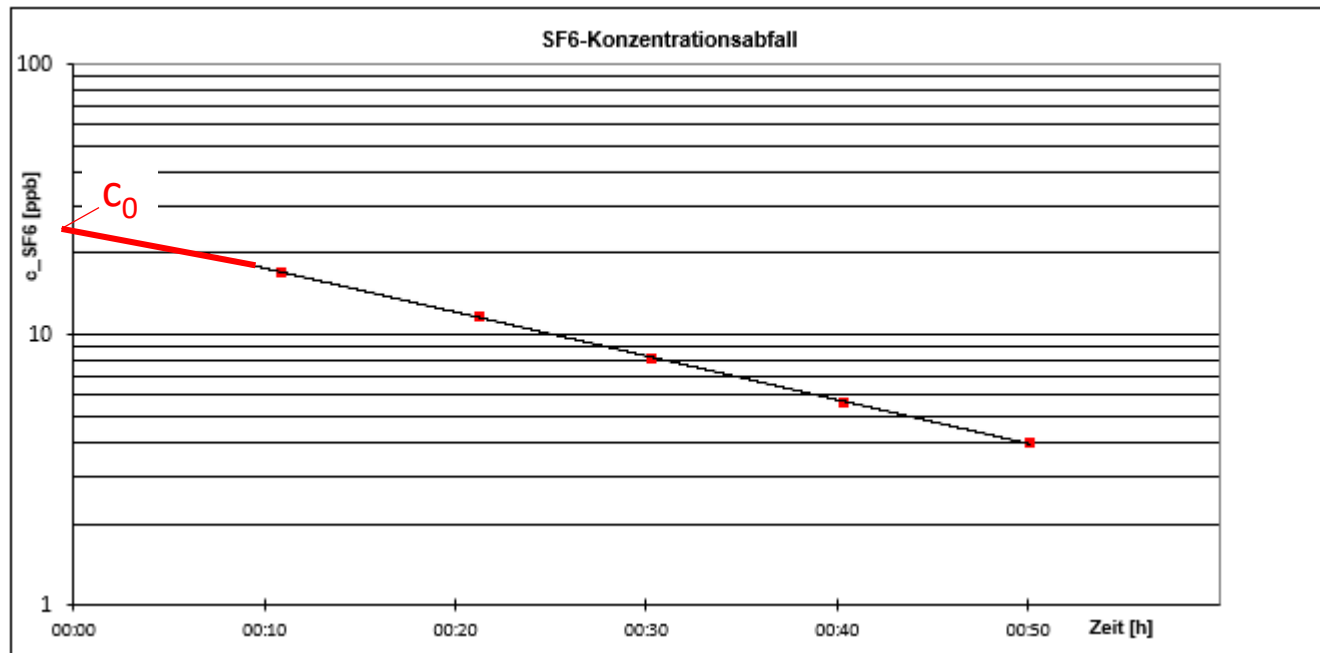
wird nur 
$$c(t) = c^0 \cdot e^{-n \cdot t}$$

wenn 
$$c_{aus,i} = c$$

und 
$$c_{ein,i} = 0$$

## 2. Auswertung Decay-Test

Nr.	Zeit	t_rel	Konzentration [ppb]	Bemerkung
1	12:51:55	00:10:55	17,00	keine
2	13:02:13	00:21:13	11,70	"
3	13:11:15	00:30:15	8,22	"
4	13:21:20	00:40:20	5,60	"
5	13:31:08	00:50:08	3,98	"



### Meßergebnis:

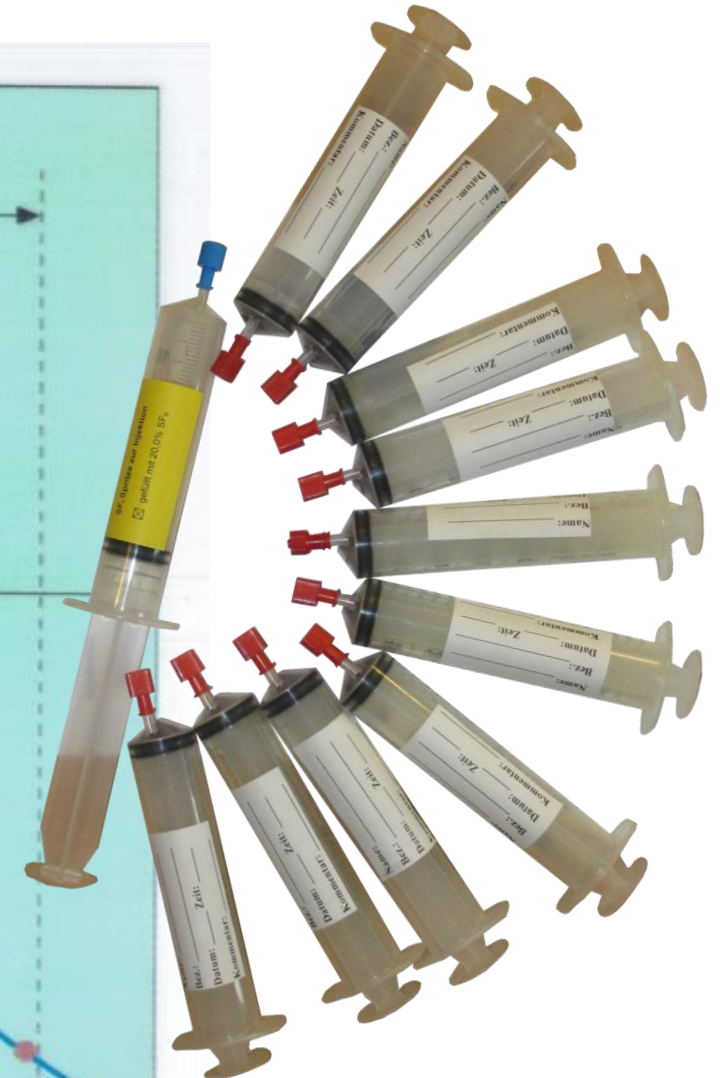
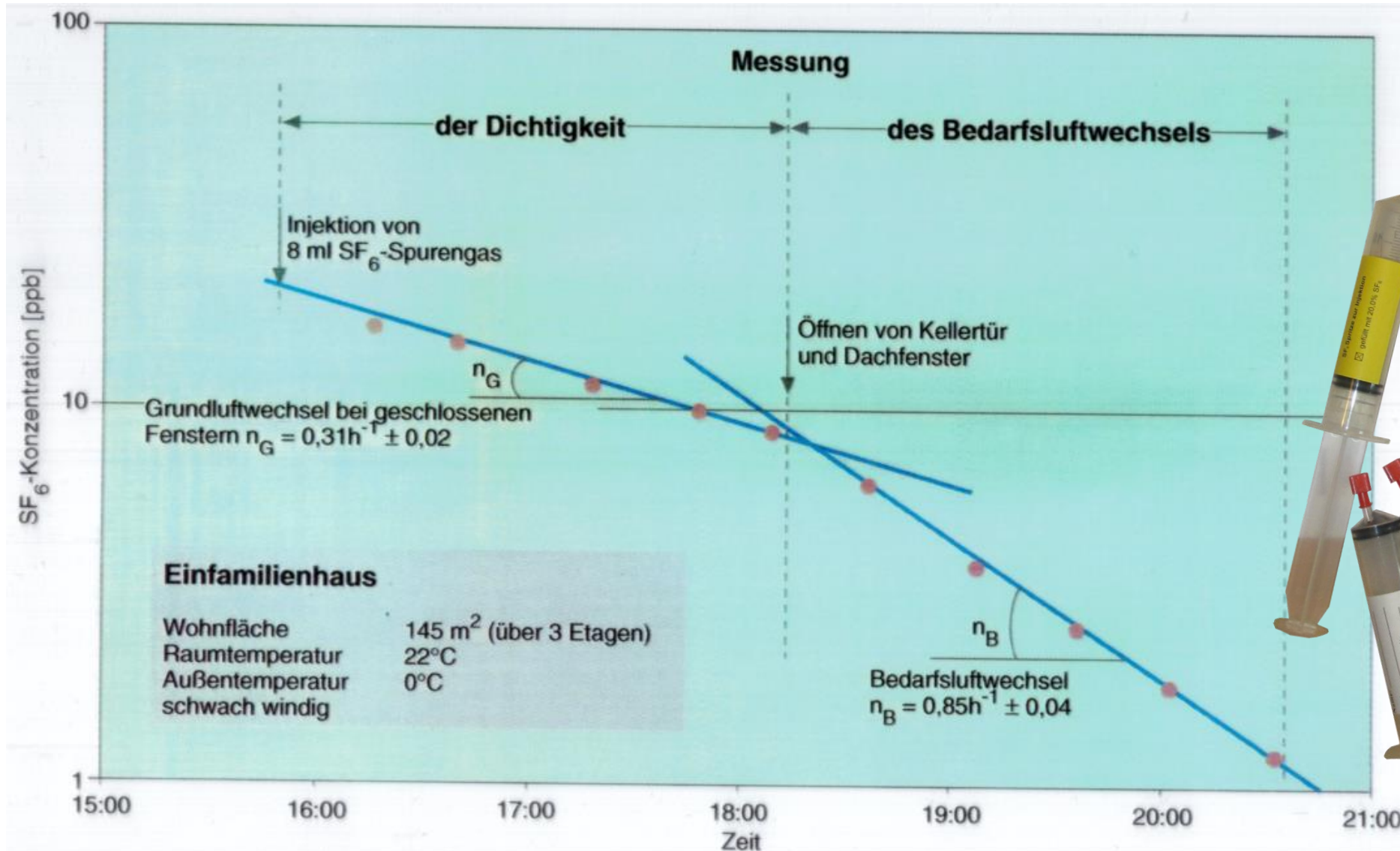
Der Luftwechsel beträgt  $n = 2,24 \text{ h}^{-1} \pm 0,01$

### Detaillierte Meßauswertung:

Qualität der Approximation $R^2 =$	0,9997
berechnete Anfangskonzentration $c(t=0) =$	25,57 ppb
angegebenes Zonenvolumen $V =$	42 m <sup>3</sup>
berechnetes effektives Zonenvolumen $V_{eff} =$	46 m <sup>3</sup>
% Abweichung $(1 - V_{eff}/V) \cdot 100 =$	-9,0 %

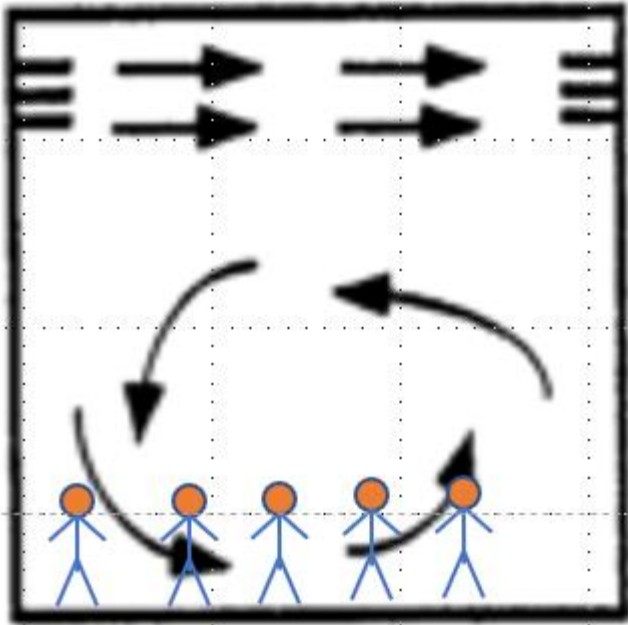
$$Q = n \cdot V_R \quad \text{Das am LW beteiligte Raumvolumen ergibt sich zu} \quad V_{R,eff} = \frac{V_T}{c_0}$$

## 2. LWM mit dem Kombi-Set

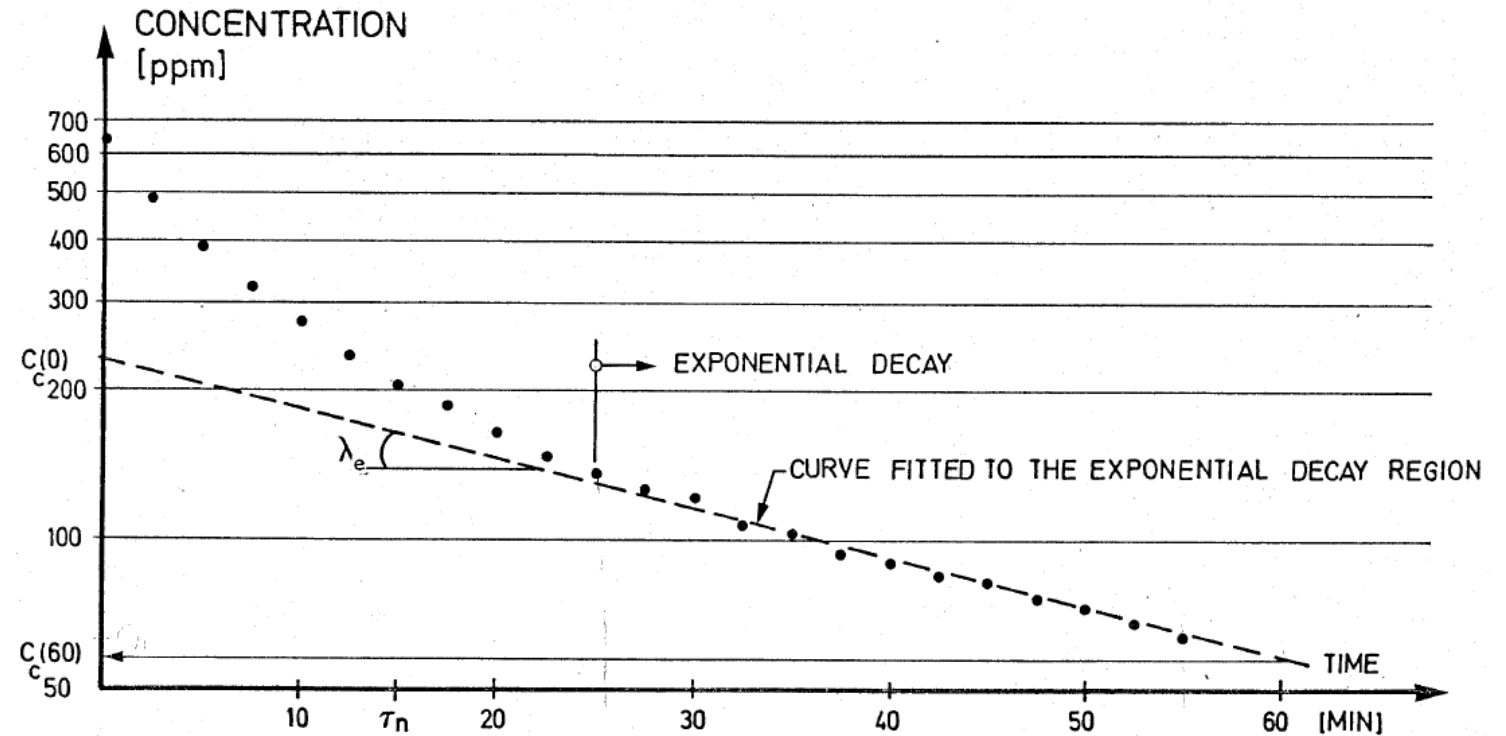


### 3. Bewertung der Frischluftzufuhr in der Aufenthaltszone

#### Konzept vom Alter der Luft



Ausgebildete Kurzschlussströmung in einer Produktionshalle



Sandberg: Nordtest-Project: 366-82 Part 2, Determination of Mean-Age of Air

$$\tau_p = \frac{1}{c_p^0} \cdot \int_{t=0}^{\infty} c_p(t) dt$$



### 3. Praxisrelevante Vorteile

#### Integrale Injektion mit Spritzen

- händisch
- mit Teleskopstange

#### Integrale oder lokale Probenahmen mit Spritzen

- händisch
- mit vorinstallierten Schläuchen in Deckennähe
- mit Teleskopstange

#### Wirtschaftlichkeit

- Keine Investition notwendig
- Geringe Kosten
- Sehr präzise Ergebnisse



8 m Teleskopstange



Injektions- und Probenahmeeinrichtung

### 3. Anwendungsbereiche

#### Decay-Methode

- Immer dann, wenn man während der Messzeit eine vollständige Durchmischung erreichen kann. Über lokale Messungen ist der Nachweis leicht zu erbringen
- Integral genommene Proben reduzieren die Unsicherheit bei nicht vollständiger Durchmischung
- Die Decay-Methode wird zu mehr als 95% aller Praxisfälle angewendet



#### Nachweis Fassadendichtigkeit

VW Kundencenter, Wolfsburg

$L=142\text{ m}$ ,  $B=92\text{ m}$ ,  $H=19\text{-}22\text{ m}$ ,  $V=65100\text{ m}^3$

#### Dichtigkeit von PkW während der Fahrt



#### Dichtigkeit von Vitrinen

## 4. Umweltaspekte

Indikatorgas	Hintergrund- volumengehalte Vol.-Anteile	Nachweismethode	Messbereich Vol.-Anteile
Schwefelhexafluorid SF <sub>6</sub>	$(0,85 - 1,5) \cdot 10^{-12}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gaschromatograph mit Elektroneneinfangdetektor oder Massenspektrometer</li> <li>Infrarot-Gasanalysator</li> <li>Photoakustikdetektor</li> </ul>	$5 \cdot 10^{-12} - 200 \cdot 10^{-9}$  $1 \cdot 10^{-7} - 100 \cdot 10^{-6}$ $5 \cdot 10^{-9} *$ )
Hexafluorbenzol C <sub>6</sub> F <sub>6</sub>	$< 1 \cdot 10^{-12}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gaschromatograph mit Elektroneneinfangdetektor oder Massenspektrometer</li> </ul>	$50 \cdot 10^{-12} - 10 \cdot 10^{-9}$
Distickstoffmonoxid (Lachgas) N <sub>2</sub> O **)	$315 \cdot 10^{-9}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infrarot-Gasanalysator</li> <li>Photoakustikdetektor</li> </ul>	$1 \cdot 10^{-6} - 200 \cdot 10^{-6}$ $50 \cdot 10^{-9} *$ )
Kohlendioxid CO <sub>2</sub> ***)	$360 \cdot 10^{-6}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infrarot-Gasanalysator</li> <li>Photoakustikdetektor</li> </ul>	$1 \cdot 10^{-6} - 5000 \cdot 10^{-6}$ $3 \cdot 10^{-6} *$ )

gasförmig

flüssig

gasförmig

\*) Der obere Messbereich ist abhängig von der Kalibration.

\*\*) Hinsichtlich des N<sub>2</sub>O Einsatzes sind die Wasserlöslichkeit und Adsorptionseffekte zu beachten.

\*\*\*) CO<sub>2</sub> ist bedingt geeignet. Berücksichtigt werden müssen der unter Umständen schwankende Anteil in der Zu- bzw. Abluft, die Unwägbarkeit der personenbezogenen CO<sub>2</sub>-Abgabe sowie mögliche rauminterne Quellen. Wird CO<sub>2</sub> als Indikatorgas verwendet, müssen die CO<sub>2</sub>-Umgebungsvolumengehalte von den gemessenen CO<sub>2</sub>-Volumengehalten subtrahiert werden.

Auszug aus der VDI4300 Blatt 7

Perfluorocarbontracer	NULL	ECD-Gaschromatograph	$5 \cdot 10^{-12}$
-----------------------	------	----------------------	--------------------

flüssig

# 1. Tracergase

## Bewertung von Tracergasen bzgl. Umweltschädlichkeit

Beispiel: LWM in einem Raum von 90 m<sup>3</sup> Raumvolumen

Tracergas	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	SF <sub>6</sub> _IR-opt.	SF <sub>6</sub> _IR-PA	SF <sub>6</sub> _GC
C_CO2_Umgebung [ppm]	450	0	0	0	0
C_max [ppm]	5.000	100	100	15	0,010
V_Tracer_injekt [l]	410	9,0	9,0	1,35	0,00090
m_Tracer_injekt [g]	739	16	54	8	0,00539
MAK-Wert [ppm]	5.000	100	1.000	1.000	1.000
untere Detektionsgrenze [ppm]	450	1	1,0	0,015	0,000010
GWP <sub>100</sub>	1	310	22.800	22.800	22.800
Gesamt GWP	739	5.037	1.229.178	184.377	123
<b>GWP_CO2/GWP_Tracer</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1.663</b>	<b>249</b>	<b>0,166</b>
Faktor für Konzentrationsabfall	11	100	100	1.000	1.000



# 1. Tracergase

## Vor- und Nachteile von $\text{SF}_6$

### Vorteile $\text{SF}_6$ - Schwefelhexafluorid

- Nicht toxisch oder chemisch aktiv
- Keine signifikante Hintergrundkonzentration (1-3 ppt)
- Keine Adsorption an Oberflächen
- Keine Querempfindlichkeit bei der Analytik mit GC Analyse
- Nur sehr geringe Probemenge notwendig (5-10ml)
- Wegen extrem geringer Mengen sehr preiswert
- Trotz sehr hohem GWP-Wert die Umwelt wenig belastend

### Nachteile $\text{SF}_6$

- Mit dem höchsten GWP-Wert von 22.800 gehört  $\text{SF}_6$  zu den klimaschädlichsten Gasen überhaupt und trägt stark zur Erderwärmung bei



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**