



## Information zur Bestimmung der SF<sub>6</sub>-Leckrate in Schaltanlagen

03. Juli 2025.

Dr.-Ing. Willigert Raatschen, Immenstaad a. B.  
[raatschen@tracertech.de](mailto:raatschen@tracertech.de)

## Situation

- Schaltanlagen beinhalten  $\text{SF}_6$  als Isolationsgas zur Vermeidung von Funkenbildung
- Freiluft-Schaltanlagen sind nicht Gegenstand dieser Betrachtungen
- Im Fall von Leckage tritt  $\text{SF}_6$  in die Umgebung aus. Bei eingehausten Anlagen wird das  $\text{SF}_6$  Gas, weil es um den Faktor 5 schwerer ist als Luft, zunächst nach unten strömen und sich je nach Strömungssituation im Raum mehr oder minder gut mit der Raumluft vermischen
- Die  $\text{SF}_6$  Hintergrundkonzentration beträgt auf der Erde 11-13ppt, d.h. Leckagen werden die Konzentration im Raum über den Wert der Hintergrundkonzentration erhöhen

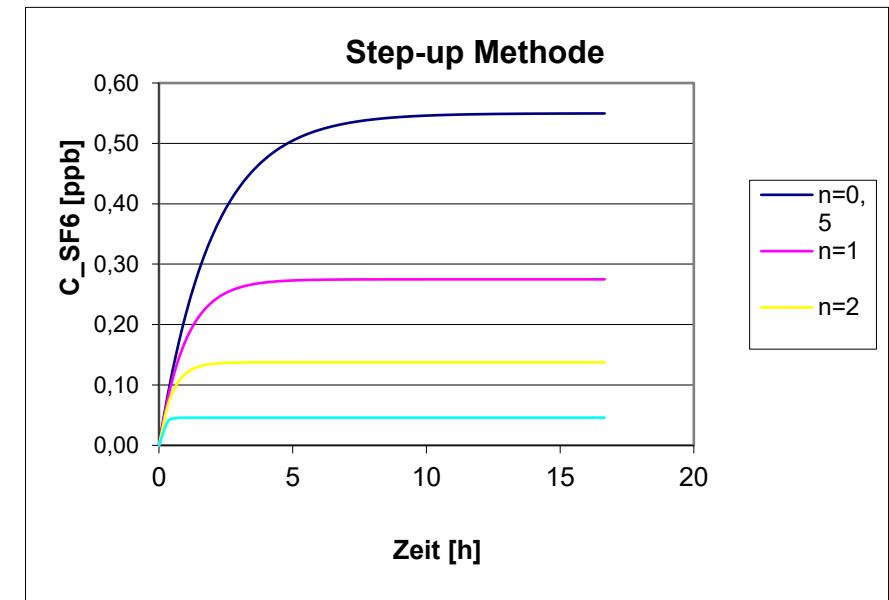
## Messtechnik

- TRACERTECH misst mit einem Gaschromatographen (GC) mit Electron Capture Detector (ECD) die SF<sub>6</sub> Konzentration bis auf Hintergrundkonzentrationsniveau. Das auf NIST zurückführbare Kalibriergas mit der geringsten Konzentration hat 31,5ppt. TracerTech arbeitet mit 12 Kalibriergasen im Bereich zwischen 31,5ppt und 100ppb.
- Die Probenahme erfolgt entweder per 60ml Plastikspritze oder direkt mit einem GC vor Ort.
- Die Spritzen ermöglichen eine einfache Probenahme durch Bedienpersonal nach kurzer Einweisung. Die Spritzen werden dann zur Analyse an TRACERTECH geschickt. Bei einigen Spritzen konnten wir nach ca. 3 Monaten Lagerung Konzentrationsabfälle von max 5% messen. Da man in der Praxis entweder direkt oder bei Sammlungen bis zu 4 Wochen Proben gesammelt zur Analyse schickt, ist die Dichtigkeit der Spritzen kein Problem. Es ist ein sehr preiswertes und exaktes Verfahren, auch weil Bedienpersonal vor Ort die Proben ziehen kann.
- Der GC ist mobil und verfügt über 9 Probenahmekanäle, an die Schläuche angeschlossen werden können, um verschiedene Stellen in einem Raum zu beproben. Das erfolgt automatisiert über Tage, Wochen oder Monate. Die Daten werden gespeichert.



## Theorie

- Im Schaltraum gibt es eine oder mehrere  $\text{SF}_6$  Quellen. Das sind die potentiellen Leckagestellen, welche die  $\text{SF}_6$  Konzentration im Raum ansteigen lassen.
- Wenn sich eine Gasquelle in einem Raum befindet und zum Zeitpunkt  $t=0$  anfängt zu emittieren, steigt zunächst die Raumkonzentration von Null oder vom Hintergrundlevel an anzusteigen, bis sie je nach Luftwechsel im Raum asymptotisch einer Gleichgewichtskonzentration entgegenstrebt. Je geringer der Luftwechsel (LW) im Raum, umso höher ist die Gleichgewichtskonzentration und desto länger dauert es, bis diese erreicht ist.
- Gemäß Erfahrungswerten natürlich belüfteter Gerätrräume schwanken LW zwischen  $0,2$  bis  $5\text{h}^{-1}$  bei geschlossenen Türen. Kleine Luftwechsel liegen bei Windstille und geringen Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen vor. Bei einem Luftwechsel von  $0,2\text{h}^{-1}$  ist nach  $20\text{h}$  und bei einem LW von  $0,5\text{h}^{-1}$  nach  $8\text{h}$   $98\%$  der Endkonzentration erreicht. Bei höheren LW noch schneller. D.h. für Schaltanlagen, dass das instationäre Ansteigen keine Bedeutung hat und nur die Gleichgewichtskonzentration von Bedeutung ist.



## Theorie

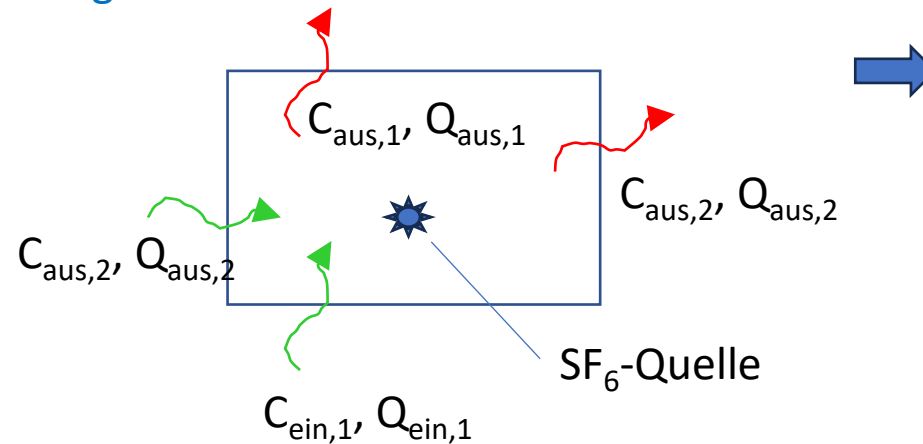
- Die Emissionsratenbestimmung erfolgt genauso wie die Emissionsmessung von VOC in Innenräumen, nur dass diesmal keine VOC austreten, sondern  $\text{SF}_6$ .
- Messtechnisch ist die  $\text{SF}_6$  Gleichgewichtskonzentration und der Luftwechsel zu erfassen.
- Die Auswertung erfolgt über eine Massenbilanz im Raum bei stationären Verhältnissen, d.h. Quellterm konstant und Luftaustausch konstant. Diese Voraussetzungen sind bei Schaltanlagen über den Messzeitraum von ca. 2 h Stunden meist gegeben.
- Die  $\text{SF}_6$  Konzentration muss hierzu gemessen und der Luftwechsel bestimmt werden.

$$c_{\text{SF}_6}^{\infty} = \frac{Q_{\text{SF}_6}}{n \cdot V_R}$$

$$n = \frac{\dot{V}_L}{V_R}$$

$$Q_{\text{SF}_6} = n \cdot c_{\text{SF}_6}^{\infty} \cdot V_R$$

$Q_{\text{SF}_6}$	Emissionsvolumenstrom
$c_{\text{SF}_6}^{\infty}$	Gleichgewichtskonzentration
$n$	Luftwechselzahl
$V_R$	Raumvolumen
$\dot{V}_L$	Luftvolumenstrom

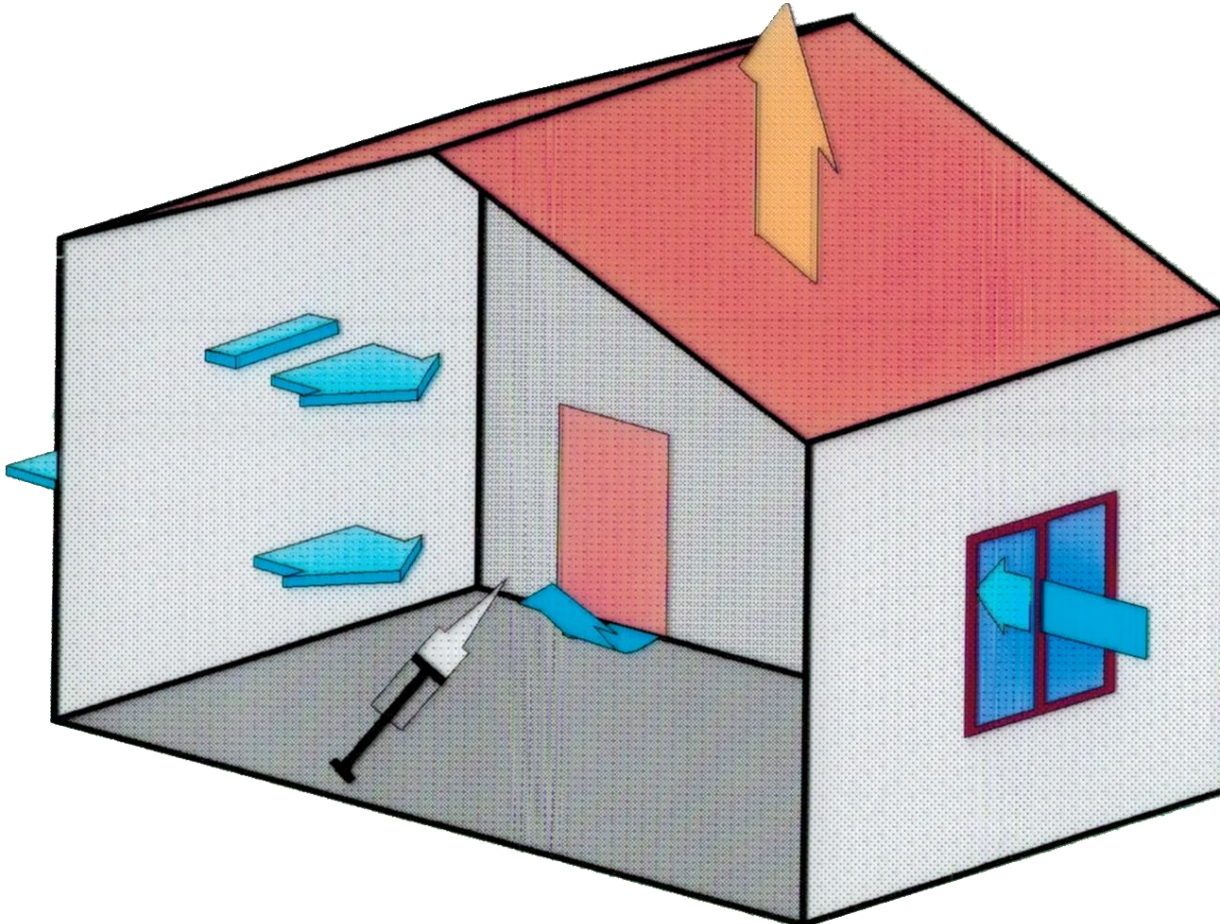




# Luftwechselfmessung nach Decay-Methode

- Einmalige Injektion eines Perfluorocarbon Tracers
- Messung des Konzentrationsabfalls über ca. 2-3 Stunden

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



**Basisset**

- Das Messprinzip liegt vor und ist in DIN Normen und VDI-Richtlinien festgeschrieben.
- Allerdings haben wir bislang noch von keinem Schaltanlagenbetreiber die Erlaubnis erhalten können, in seiner Anlage messen zu dürfen.
- Die Bestimmung einer SF<sub>6</sub> Konzentration kann vom Betreiber zunächst selber durchgeführt werden. Er bekommt leere Probenahmespritzen von TracerTech, nimmt 3-5 Proben in seiner Schaltanlage und schickt diese an TracerTech zur Analyse
- Sind die SF<sub>6</sub> Konzentrationen gering, kann man auf eine Leckratenbestimmung verzichten. Denn dafür wäre zusätzlich die Bestimmung des Luftwechsels notwendig.
- Um ein solides Messkonzept zu erarbeiten, bei dem ein Betreiber selbst die Messungen durchführen kann, muss die Industrie aber erst mal die Erlaubnis erteilen, auch messen zu dürfen!!