

## **DKV-Forschungsbericht Nr. 58**

**Andreas Jung**

Bewertung von Raumluftströmungen mit der Spurengasmeßtechnik

1998

978-3-932715-61-7



### **Kurzfassung**

Es werden die verschiedenen Spurengasmeßmethoden (Step-up, Step-down und Pulsverfahren sowie kontante Spurengaszufuhr) zur Beurteilung von Raumluftströmungen zusammenhängend analysiert und die aus den Meßdaten ableitbaren Kenngrößen vergleichend bewertet. Durch analytische Betrachtungen und anhand von Labor- und in situ-Messungen wird die Praxistauglichkeit der einzelnen Methoden und der Meßapparatur – auch bei nicht-idealen Randbedingungen, wie Umluftbetrieb oder Infiltration – nachgewiesen. Für die Anforderungen der Praxis steht damit eine geeignete Spurengasmeß- und -auswertemethode zur Bestimmung der relativen Luftqualität in mechanisch belüfteten Räumen zur Verfügung.

### **Kenngrößen**

Aus der Vielzahl derbekannten und der im Rahmen dieser Arbeit eingeführten Kenngrößen (Kapitel 3 und 3.6) wird ein "Satz" von praxisrelevanten Kenngrößen herausgearbeitet (Kapitel 3.3 und 3.6).

- Bei mehreren diffusen, unbekannten bzw. im gesamten Raum vorhandenen Schadstoff- und Wärmequellen sind die stationären und die zeitlichen Kenngrößen der Lüftungseffektivität relevant. Die relative lokale und globale Ankunftszeit der gesamten Zuluft  $\tau_p^*$  und  $(\tau)^*$  kennzeichnet dabei den Referenzfall der räumlichen Verteilung eines homogen im Raum emittierten Schadstoffes bzw. Wärmestroms in Form der lokalen und globalen Kontaminationsgrade  $\mu_p$  und  $\mu$ . Der nominale, lokale und globale Anteil der gesamten Zuluft  $r_n$ ,  $r_p$  und  $r$  geben Auskunft über das Ausmaß und die örtliche Verteilung von infiltrierter Luft im Raum.
- Bei in einer einzelnen Raumzone auftretenden bzw. großflächig emittierenden Quellen ist die Beurteilung des Queraustausches von Luft zwischen einem kontaminierten und einem zu schützenden Bereich innerhalb des Raumes von primärem Interesse. Dies lässt sich durch die lokalen und globalen Anteile der Zuluft  $r_{pi}$  und  $r_i$  derjenigen Durchlässe  $i$  im Raum erfassen, die die betrachtete kontaminierte Raumzone mit Zuluft versorgen.
- Bei diskreten, örtlichen Schadstoffquellen haben die lokalen und globalen Kontaminationsgrade  $\mu_{pc}$  und  $\mu_c$  des jeweiligen Schadstoffes die größte Bedeutung.

Mit Hilfe der Kenngrößen der Lüftungseffektivität erhält man ein Bild der Grundstruktur der Raumluftströmung. Dieses wird durch die Ermittlung der Kontaminationsgrade von lokalen Schadstoffquellen oder der lokalen Anteile einzelner Zuluftdurchlässe im Raum vervollständigt, da sich dadurch Sekundärstrukturen der Strömung erkennen lassen, wie z. B. das Ausmaß der Querkontamination oder die Ausbreitungsrichtung von thermischen Auftriebsströmen im Raum.

- Bei einer Markierung der gesamten Zuluft oder der Zuluft einzelner Durchlässe  $i$  mit Spurengas können außerdem Kurzschlußströme zwischen Zu- und Abluft über die Ermittlung der Kurzschlußanteile  $r_{sc}$ ,  $r_{scj}$  und  $r_{sci}$  nachgewiesen werden (Kapitel 3.5).
- Ein Maß für die Fähigkeit von Luftführungen, auf das Bewegen von Personen oder kurzzeitigen Änderungen der Randbedingungen möglichst unempfindlich zu reagieren und die Schutzwirkung gegenüber einem kontaminierten Raumbereich aufrechtzuerhalten, ist der modifizierte Kontaminationsgrad  $\mu_{pc,mod}$  nach Gl. 3.51.
- Die Existenz einer Totzone im Raum lässt sich über die normierte Steigung  $\lambda_e \tau_n$  nachweisen (Kapitel 3.4).
- Eine Beschreibung des örtlichen Luftaustausches ist auch mit Hilfe des zeitlichen Kontaminationsgrades  $\mu_{p,tr}$  nach Gl. 3.47 möglich. Im Vergleich zum relativen Alter der gesamten Zuluft  $\tau_p^*$  erfordert dieser einen geringeren meßtechnischen und zeitlichen Aufwand, erlaubt jedoch nur eine qualitative Bewertung.
- Eine die Eigenschaften lastmindest der Luftführungen ergänzende Bewertungsgröße stellt der Frischluftanteil  $r_{fr}$  nach Gl. 3.50 dar.

Jede einzelne Kenngröße beinhaltet wichtige Detailinformationen, die für eine vollständige, quantitative Beschreibung der Raumluftströmung nützlich sind. Keine der Kenngrößen hat widersprüchliche oder nicht schlüssige Aussagen im Vergleich zu anderen Kenngrößen zur Folge.

Die Auswahl der für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten Kenngrößen richtet sich nach der im Raum vorhandenen Belastungssituation. Zur Reihenfolge der Relevanz der einzelnen Kenngrößen können allerdings keine allgemeingültigen und objektiven Kriterien angegeben werden. Die Auswahl muß der jeweilige Betrachter aufgrund seiner individuellen Beurteilung treffen.

### Mesverfahren

Die Step-up, die Step-down und die modifizierte Pulsmethode mit  $\Delta t_{pu} > 1.5 \tau_n$  sind zur Bestimmung der Alter der gesamten Zuluft  $\tau_p^*$ ,  $(\tau)^*$  und  $\tau_e$  sowie der lokalen Alter von Schadstoffen und einzelnen Zuluftdurchlässen  $i$  im Abluftkanal  $\tau_{ec}$  und  $\tau_{ei}$  ohne Einschränkung gleich zuverlässig. Bei stationären Randbedingungen, stabiler Raumluftströmung und bei korrekter Durchführung der jeweiligen Methode lassen sich beim relativen lokalen Alter  $\tau_p^*$  Wiederholgenauigkeiten von im allgemeinen 2.5% erzielen, beim räumlichen Durchschnittsalter  $(\tau)^*$  von 1.5% und beim lokalen Alter  $\tau_e$  im Abluftkanal von  $0.01\tau_n$ . Die entsprechenden Werte der Größen  $\tau_{ec}$  bzw.  $\tau_{ei}$  hängen von der Standardabweichung des Mittelwertes der Konzentration  $c_{ec}$  bzw.  $c_{ei}$  im stationären Zustand ab und liegen entsprechend höher. Erreicht wird diese hohe Wiederholgenauigkeit durch die Einführung des hier entwickelten Extrapolationsalgorithmus C L R M (Kapitel 5.4).

Zur numerischen Integration der Konzentrationsverläufe sollte ein Interpolationspolynom zweiter oder vierter Ordnung verwendet werden, bei dem eine Datenrate von **2.5Werte/(\tau\_n Meßpunkt)** genügt.

Die Ermittlung der Alter der gesamten Zuluft erfordert bei einer einfach bzw. zweifach wiederholten Messung einen doppelt bzw. dreimal so hohen Zeitaufwand wie die Ermittlung der lokalen Anteile  $r_{pi}$  bzw. Kontaminationsgrade  $\mu_{pc}$  bei kontinuierlicher Spurengaszufuhr. Dieser zeitliche Mehraufwand bei der Messung ist -neben der aufwendigen Auswertung der Momente- einer der wesentlichen Nachteile bei der Bestimmung der Alter der Zuluft  $\tau_p^*$  bzw.  $(\tau)^*$ . Die Wiederholgenauigkeit beider Arten von Kenngrößen ist aber vergleichbar.

### Nicht-ideale Randbedingungen

Die Auswirkung von nicht-idealen Randbedingungen – wie In- oder Exfiltration, Umluftbetrieb, belüftete Zwischenböden oder abgehängte Zwischendecken sowie das Fehlen einer definierten Abluftöffnung – auf die Auswertung und die Ergebnisse der einzelnen Spurengasmethoden wurde

analytisch untersucht und die daraus gezogenen Folgerungen durch Strömungssimulationen mit dem Mehr-Zonen-Modell CONTAM86 validiert. Den nicht-idealnen Randbedingungen kann danach durch eine entsprechend angepaßte Durchführung und Auswertung der Spurengasmessung begegnet werden (Kapitel 5.5). Der durch das Step-up, Stepdown oder Pulsverfahren vorgegebene prinzipielle Meßablauf und die Zuverlässigkeit der Meßergebnisse bleibt dabei erhalten.