

DKV-Forschungsbericht Nr. 58

Andreas Jung

Bewertung von Raumluftrömungen 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 Raumluftrömungen 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 der bekannten 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, unbekanntem 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 τ_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 μ_p und μ . 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 μ_{pc} und μ_c des jeweiligen Schadstoffes die größte Bedeutung.

Mit Hilfe der Kenngrößen der Lüftungseffektivität erhält man ein Bild der Grundstruktur der Raumluftrömung. 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 τ_p^* erfordert dieser einen geringeren meßtechnischen und zeitlichen Aufwand, erlaubt jedoch nur eine qualitative Bewertung.
- Eine die Eigenschaften lastmindernder 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 Raumluftrömung 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 τ_p^* , $(\tau)^*$ und τ_e sowie der lokalen Alter von Schadstoffen und einzelnen Zuluftdurchlässen i im Abluftkanal τ_{ec} und τ_{ei} ohne Einschränkung gleich zuverlässig. Bei stationären Randbedingungen, stabiler Raumluftrömung und bei korrekter Durchführung der jeweiligen Methode lassen sich beim relativen lokalen Alter τ_p^* Wiederholgenauigkeiten von im allgemeinen 2.5% erzielen, beim räumlichen Durchschnittsalter $(\tau)^*$ von 1.5% und beim lokalen Alter τ_e im Abluftkanal von $0.01\tau_n$. Die entsprechenden Werte der Größen τ_{ec} bzw. τ_{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 *CLRM* (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 μ_{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 τ_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-idealen 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.