

Be sure. **testo**



Praxisratgeber
Luftstrom-Messungen
in Kanälen
nach DIN EN 12599.

Einleitung.

Heutzutage verbringen wir die meiste Zeit des Tages in geschlossenen Räumen. Aus diesem Grund werden raumluftechnische (RLT-) Anlagen installiert, die ein angenehmes Klima in den Innenräumen sicherstellen sollen. Der Belüftung kommt hier eine besondere Bedeutung zu. Zum einen dient sie nicht nur der Bereitstellung von Frischluft, sondern auch der Schadstoffabfuhr, wie z.B. der Entfernung überschüssiger Feuchte aus den Räumen.

Die Sicherstellung eines ausreichenden Luftwechsels und somit die Bestimmung des Volumenstroms ist ein wichtiger Qualitätsfaktor bei der Inbetriebnahme und im Betrieb von RLT-Anlagen. Die verlässliche Bestimmung der Luftgeschwindigkeit in Kanälen ist einer der herausforderndsten Messungen, die ein Klima-/Lüftungstechniker ausführen muss.

Inhaltsverzeichnis:

1. Bedeutung der Luftgeschwindigkeit.....	04
2. Messung der richtigen Luftgeschwindigkeit.....	05
3. Der richtige Messort	06
3.1 Strömungsprofile im Kanal	07
3.2 Abstand zu Störquellen.....	08
4. Das Messverfahren	10
4.1 Trivialverfahren.....	11
4.2 Schwerlinienverfahren.....	12
4.3 Berechnung des Volumenstroms.....	13
5. Beurteilung der Messwerte	14
6. Der Messbericht	20

1. Bedeutung der Luftgeschwindigkeit

Nach dem Motto: „Viel hilft viel“ werden häufig raumluftechnische Anlagen mit zu hohen Luftmengen betrieben. Dieser Überbedarf führt zu erhöhten Betriebskosten. Der Energieaufwand für den Ventilator steigt, da eine größere Luftmenge durch die Anlage bewegt werden muss. Aber auch für die Konditionierung der Luft (Kühlen, Heizen, Befeuchte oder Entfeuchten) entstehen Kosten, welche bei korrekt eingestellter Anlage reduziert werden können. Zusätzlich führt ein hoher Luftwechsel oft zu Zugerscheinungen im Raum, die Personen fühlen sich unbehaglich.

Auf der anderen Seite kann ein zu niedriger Volumenstrom ebenfalls problematisch sein. Die Personen im Raum haben zu wenig frische Luft, die sie einatmen können. Die Raumluft ist „verbraucht“, da ein zu hoher CO₂-Gehalt im Raum herrscht. Niedrige Volumenströme können desweiteren negative Einflüsse auf die Hygiene der Anlage haben: es besteht das Risiko der Keimbildung in der Anlage, wenn die befeuchtete Luft zu langsam in den Kanälen bewegt wird. Ein korrekt eingestelltes RLT-Anlage hilft also nicht nur das Raumklima behaglich zu machen, sondern auch Kosten zu sparen.

2. Messung der richtigen Luftgeschwindigkeit

Die zentrale Kenngröße für die Beurteilung der Funktionsfähigkeit der RLT-Anlage ist der Luftvolumenstrom. Dieser ist das Produkt aus Strömungsgeschwindigkeit und Kanalfäche. Da in der Praxis die Strömungsgeschwindigkeit im Kanalquerschnitt nicht gleich groß ist, reicht eine einzelne Punktmessung für die Bestimmung der durchschnittlichen Luftgeschwindigkeit nicht aus. Störquellen wie Blenden, Krümmer u.a. haben ein Einfluss auf das Geschwindigkeitsprofil im Kanal, daher muss eine sogenannte Netzmessung an mehreren Stellen im Kanal durchgeführt werden. Um den Qualitätsanforderungen an die Bestimmung des Volumenstroms gerecht zu werden gibt es weltweit

verschiedene Normen, die sich mit der korrekten Messung von Strömungsgeschwindigkeiten beschäftigen. Neben der in Deutschland und weiten Teilen Europas führenden EN 12599, gibt es noch die EN 16211 und die ASHRAE 111. Alle Verfahren haben gemeinsam, dass die Messpunkte nach bestimmten Vorgaben in Abhängigkeit der Kanalgröße über den Kanalquerschnitt verteilt werden, zwischen rechteckigen und runden Kanälen unterschieden wird und die Messwerte gemittelt werden.

Im Folgenden wird auf die korrekte Messung des Volumenstroms nach den EN 12599 eingegangen.

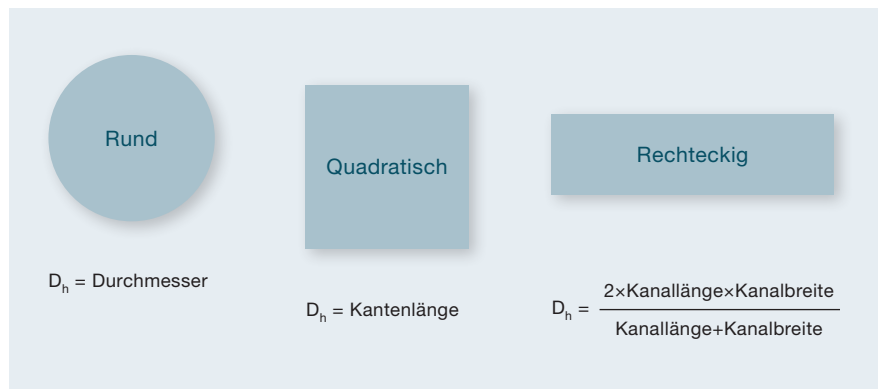
3. Der richtige Messort

Entscheidend für aussagekräftige Messungen ist die Wahl einer geeigneten Messstelle. Diese legt der Anlagenplaner bereits im Ausführungsplan (Projektplan) fest. Dabei sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- An allen Hauptkanälen und an den Zuleitungen zu Räumen mit hohen Anforderungen sind Luftstrommessstellen einzuplanen.
- Es sind Mindestabstände zu Störstellen einzuhalten:

Mindestens 6-facher hydraulischer Durchmesser stromaufwärts und 2-facher hydraulischer Durchmesser stromabwärts

- Die Messstellen müssen gut zugänglich sein und es muss genügend Platz für die Handhabung des Messgeräts zur Verfügung stehen.
- Eine drall- und rückströmfreie Strömung muss vorhanden sein



Berechnung des hydraulischen Durchmessers D_h für verschiedene Kanalformen.

3.1. Strömungsprofile im Kanal

Die Luft die durch einen Kanal strömt hat keine einheitliche Geschwindigkeit. In der Mitte fließt die Luft in der Regel schneller als an der Kanalwand.

An der Kanalwand kommt es aufgrund von Reibung zu größeren Widerständen, die überwunden werden müssen. Es werden zwei grundsätzliche Strömungsprofile unterschieden:

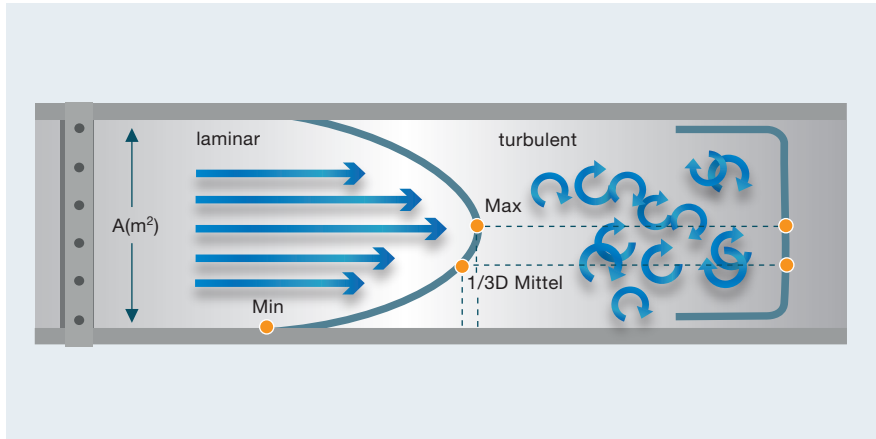
Die laminare Strömung.

Bei der laminaren Strömung strömt die Luft gleichmäßig und die Stromlinien verlaufen parallel zueinander. Es gibt keine Verwirbelungen und ein ausgeprägtes Geschwindigkeitsmaximum in der Kanalmitte. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit liegt bei ca. einem Drittel des Kanaldurchmessers. Sobald die Luftgeschwindigkeit steigt, geht die laminare Strömung zunehmend in eine turbulente Strömung über.

Die turbulente Strömung.

In diesem Fall sind die Strömungsgeschwindigkeiten über den gesamten Kanaldurchmesser weitgehend gleich, an der Kanalwand fällt die Geschwindigkeit jedoch drastisch ab. Die Stromlinien sind jedoch ungerichtet, d.h. die Luft bewegt sich chaotisch und mit hoher Reibung.

Zwischen diesen beiden Idealformen sind alle Mischformen möglich, denn jede Störstelle (wie Blenden, Krümmer, Ventile, Volumenstromregler etc.) verändert das Strömungsprofil. Eine sogenannte Netzmessung über den kompletten Kanalquerschnitt ist in der Praxis für reproduzierbare Ergebnisse unumgänglich.



Laminare und turbulente Luftströmung. Je nach Strömungsgeschwindigkeit bilden sich unterschiedliche Strömungsprofile aus.

3.2. Abstand zu Störquellen

Ideale Strömungsprofile findet man fast nur in sehr langen, geradlinig verlaufenden Kanälen, in denen sich keine Störstellen befinden. Aus diesem Grund sind Mindestabstände zu Störstellen einzuhalten.

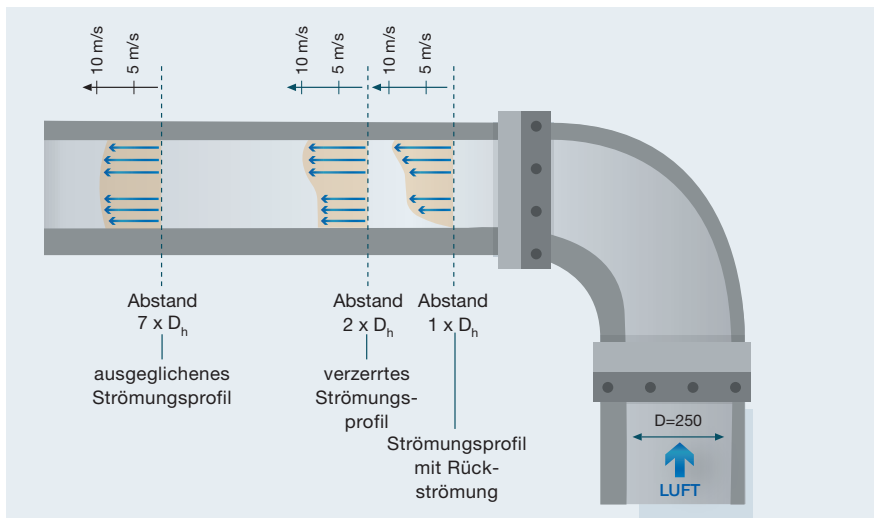
Bei einem hinreichend großen Abstand zu Störquellen kann die Anzahl der Messpunkte, die verteilt über den Kanalquerschnitt gemessen werden

müssen, stark reduziert werden.

In der Praxis verhindern Blenden, Ventile, Krümmer und sonstige Bögen die Ausbildung einer gleichmäßigen Strömung. In ungünstigen Fällen hat dies zur Folge, dass das Maximum des Strömungsprofils nicht in der Kanalmitte liegt, sondern zum Rand hin verschoben ist, in problematischeren Fällen kann es auch Rückströmungen oder strömungslose Bereiche geben.

Rückströmungen sind in der Regel nach einem Abstand von dem 2-fachen hydraulischen Durchmesser zur Störquelle abgebaut, allerdings ist das

Strömungsprofil so stark verzerrt, dass eine hohe Anzahl an Messpunkten erforderlich ist, um die Unsicherheit der Messung gering zu halten.



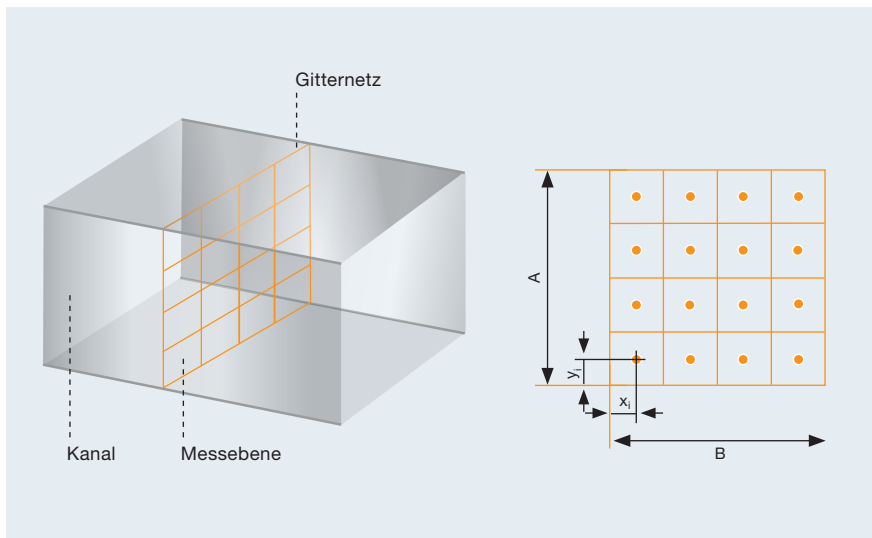
Unregelmäßigkeiten im Strömungsprofil werden mit zunehmender Entfernung von der Störstelle abgebaut. Je größer der Abstand zur Störstelle, desto gleichmäßiger das Strömungsprofil und desto genauer die Messung bzw. desto geringer die Anzahl der erforderlichen Messpunkte.

4. Das Messverfahren

Für die Bestimmung des Luftvolumenstroms muss der repräsentative mittlere Strömungswert im Kanalquerschnitt bestimmt werden. Hierfür wird die Messfläche in Teilflächen unterteilt und im Schwerpunkt der Teilflächen die Geschwindigkeit ermittelt. Dieses Vorgehen nennt man Netzmessung. Das Vorgehen für die Einteilung des Kanalquerschnittes in Teilflächen ist bei rechteckigen und

runden Kanälen unterschiedlich. Die DIN EN 12599 sieht folgende beiden Messmethoden vor:

- das **Trivialverfahren** für Messungen in Luftkanälen mit rechteckigem oder quadratischem Querschnitt
- das **Schwerlinienverfahren** für Messungen in Kanälen mit kreisförmigem Querschnitt



Aufteilung des Kanalquerschnitts nach dem Trivialverfahren. Die Messpunkte liegen in den Mittelpunkten der Flächen.

4.1. Trivialverfahren

Das Trivialverfahren geht von keiner besonderen Geschwindigkeitsverteilung im Kanal aus. Der Kanalquerschnitt wird einfach in mehrere, gleich große Messflächen aufgeteilt. Der Messpunkt liegt in der Mitte der Teilfläche.

Bei einem gleichmäßigen Geschwindigkeitsprofil kommt man auf diese Weise bereits mit wenigen Messpunkten zu einem aussagekräftigen Messergebnis. Bei größeren Unterschieden in den

Strömungsgeschwindigkeiten ist die Anzahl der Messpunkte entsprechend zu erhöhen. Sie ist dann hoch genug, wenn die Messwertschwankungen innerhalb einer Teilfläche so gering sind, dass die in den Mittelpunkten gemessenen Werte im Rahmen der vorgegebenen Messgenauigkeit als Mittelwerte gelten können.

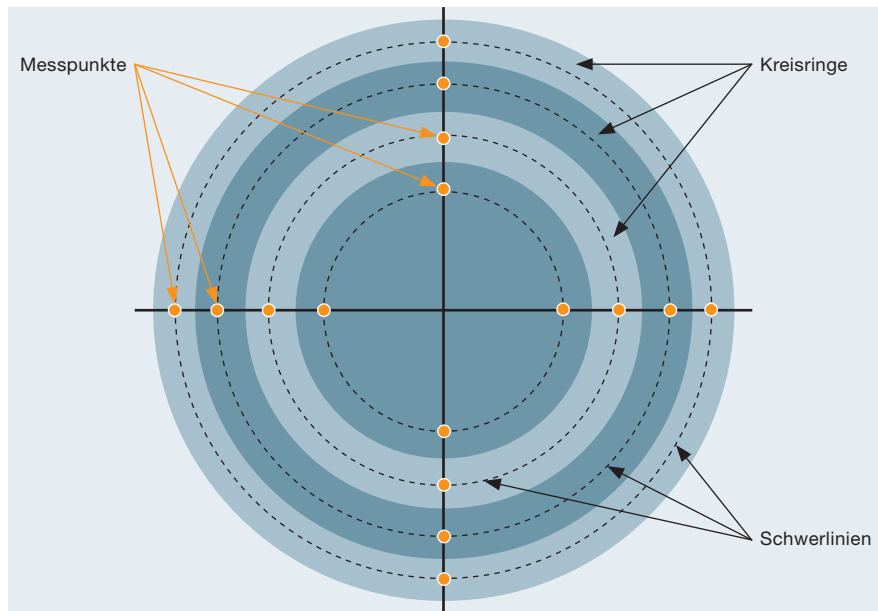
Der Messwert für den Luftvolumenstrom des gesamten Kanals ergibt sich dann als arithmetisches Mittel aus den Messwerten der Teilflächen.

4.2. Schwerlinienverfahren

Ähnlich ist die Vorgehensweise beim Schwerlinienverfahren, das in runden Kanälen anzuwenden ist. Hierbei wird der kreisförmige Kanalquerschnitt in flächengleiche Kreisringe und einen Kreis in der Mitte aufgeteilt. Der Messort in der Kreisringfläche sowie dem inneren Kreis liegt auf der Schwerlinie der jeweiligen Teilfläche. Die Schwer-

linie ist hierbei der Radius (y), der die Teilfläche halbiert.

Da nicht immer davon ausgegangen werden kann, dass sich die Strömung rotationssymmetrisch im Kanal vorwärts bewegt, sind bei runden Kanälen zwei Messebenen zu wählen, die im 90° -Winkeln zu einander stehen.



Ermittlung der Messorte eines Kreisquerschnittes mit dem Schwerlinienverfahren.

4.3. Berechnung des Volumenstroms

Aus den nach Trivialverfahren oder Schwerlinienverfahren ermittelten Geschwindigkeitsmesswerten ist die mittlere Strömungsgeschwindigkeit und daraus der Luftvolumenstrom zu berechnen. Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$\dot{V} = A \times \bar{v} \times 3600$$

$\dot{V}$ = Volumenstrom in m³/h

$\bar{v}$ = mittl. Strömungsgeschwindigkeit in m/s

A = Strömungsquerschnitt in m²

Beispiel:

Bei einem Querschnitt A von 0,5 m² und einer gemessenen mittleren Geschwindigkeit von 4 m/s ergibt sich ein Volumenstrom von 7200 m³/h

Ermittlung des Volumenstroms aus der mittleren Strömungsgeschwindigkeit und dem Kanalquerschnitt

5. Beurteilung der Messwerte

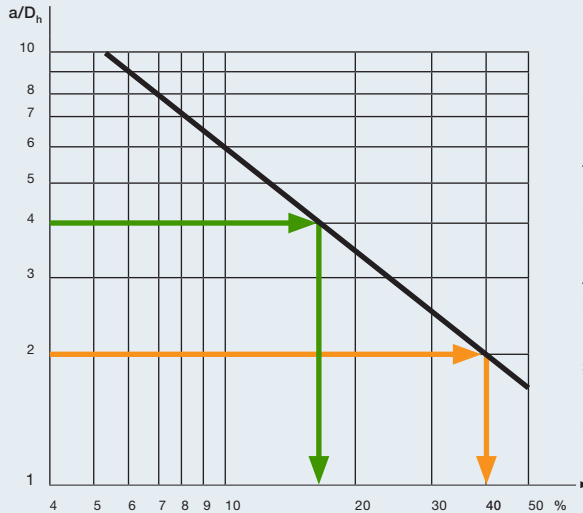
In der DIN EN 12599 ist gefordert, dass die Genauigkeit des Luftvolumenstroms mit einer Messunsicherheit von $\pm 10\%$ ermittelt werden muss. Hier stellt sich nun die Frage wie genau war die soeben durchgeführte Messung. Auch hierfür gibt die DIN EN 12599 Antworten.

Neben der Unsicherheit des Messgerätes und des eingesetzten Fühlers ist die Unregelmäßigkeit des Strömungsprofils ausschlaggebend für die Bestimmung des Gesamtfehlers. Bei einer großen Profilunregelmäßigkeit kann die geforderte Messunsicherheit von $\pm 10\%$ nur mit einer ebenfalls großen Anzahl an Messpunkten erreicht werden, dies ist jedoch sehr zeitaufwändig. Daher ist die Anzahl der Messpunkte immer in Verbindung mit

dem Abstand zu Störquellen zu sehen, da diese maßgeblich für die Unregelmäßigkeit im Profil sind.

Schritt 1: Unregelmäßigkeit des Strömungsprofils ermitteln

Die erforderliche Anzahl von Messpunkten in einem gegebenen Kanalquerschnitt hängt von der Unregelmäßigkeit (Verzerrung) des Strömungsprofils ab. Das folgende Diagramm stellt einen empirischen Zusammenhang zwischen dem relativen Abstand a/D_h (Abstand von der Störstelle ausgedrückt in Anzahl der hydraulischen Durchmesser) und der Unregelmäßigkeit U des Strömungsprofils (in Prozent) her. Es lässt sich erkennen dass mit zunehmenden Abstand sich die Profilunregelmäßigkeit abbaut.



Bestimmung der Unregelmäßigkeit U des Strömungsprofils in Abhängigkeit vom Abstand zur Störstelle.

Beispiel:

Bei einer Messung im Abstand des zweifachen hydraulischen Durchmessers ist $U = 40$ % (Leserichtung siehe gelbe Pfeile).

Bei $a = 4 D_h$ liegt U hingegen unter 20 % (grüne Pfeile).

Schritt 2: Anzahl der erforderlichen Messpunkte bestimmen

Mit dem aus dem Diagramm ermittelten Wert für U können Sie nun aus der folgenden Tabelle die Anzahl

der erforderlichen Messpunkte ablesen, die zur Einhaltung einer bestimmten, vorgegebenen Messgenauigkeit erforderlich sind.

Anzahl der Messpunkte	Unsicherheit der Messung τ_u in % Unregelmäßigkeit des Profiles U in %					
	2	10	20	30	40	50
4	6	12	20	28	36	42
5	5	11	17	24	31	36
6	5	10	15	21	27	32
8	4	8	13	18	23	27
10	3	7	12	16	20	24
20	2	5	8	11	14	16
30	2	4	7	9	11	14
50	1	3	5	7	8	10
100	1	2	3	5	6	7
200	1	1	2	3	4	5

Unsicherheit der Messung in Abhängigkeit von der Anzahl der Messpunkte.

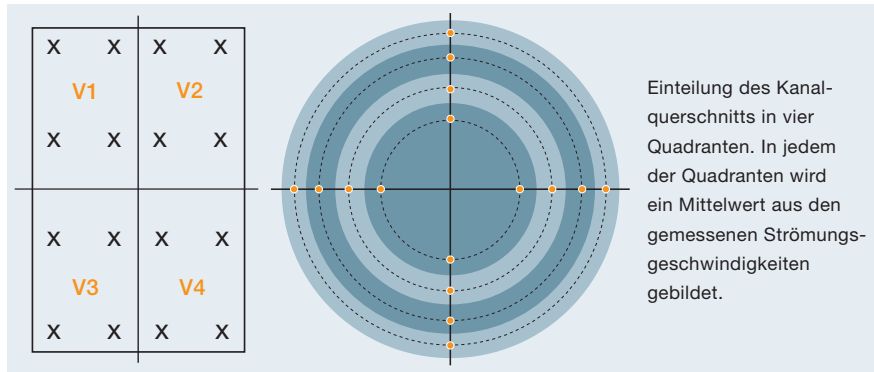
Beispiel: Bei $U = 40\%$ und einer vorgegebenen Messunsicherheit $\tau_u = \pm 15\%$ sind 20 Messpunkte erforderlich (gelbe Markierungen, Leserichtung von oben nach unten und dann nach links). Bei $U = 20\%$ reichen 8 Messpunkte aus (grüne Markierungen).

Tipp: Indem Sie den Messabstand zur Störstelle vergrößern, können Sie die Anzahl der benötigten Messpunkte und damit den Messaufwand erheblich verringern, ohne die Messgenauigkeit zu beeinträchtigen.

Schritt 3: Unregelmäßigkeit des Strömungsprofils berechnen

Anhand Ihrer Messwerte können Sie nun die Unregelmäßigkeit des Strömungsprofils rechnerisch über-

prüfen. Dazu teilen Sie den Kanalquerschnitt in vier Quadranten gleicher Fläche und ermitteln für jeden der Quadranten das arithmetische Mittel der Messwerte.



Aus dem höchsten und niedrigsten Mittelwert ergibt sich die Unregel-

mäßigkeit des Strömungsprofils nach folgender Formel:

$$U = \frac{\bar{v}_{\max} - \bar{v}_{\min}}{2 \bar{v}}$$

U (*100) = Unregelmäßigkeit des Strömungsprofils in %

Vmax (m/s) = Maximum der arithmetischen Mittel aller vier Quadranten

Vmin (m/s) = Minimum der arithmetischen Mittel aller vier Quadranten

V (m/s) = arithmetisches Mittel der Geschwindigkeit im Gesamtquerschnitt

Schritt 4: Gesamtfehlerrechnung nach DIN EN 12599

Neben der Messunsicherheit durch (Strömungs-) Einflüsse an der Messstelle gibt es weitere mögliche Fehlerquellen, die ggf. zu berücksichtigen sind:

- Messunsicherheit bei der Ablesung
- Messunsicherheit des Mittelwertes (bei schwankender Messgröße)
- Fehler der Messgeräteanzeige (Messgerätefehler)
- Messunsicherheiten der Stoffwerte, z. B. der Luftdichte
- Unsicherheiten bei der Umrechnung

Den größten Einfluss haben dabei die Unsicherheit durch Einflüsse an der Messstelle sowie Messgerätefehler (die Genauigkeit des Messgerätes und/oder der Sonden). Bei modernen Messgeräten wie dem testo 400 wird diese bei der Berechnung der Gesamtunsicherheit automatisch berücksichtigt und damit die normenkonforme Durchführung der Messung und Dokumentation der Ergebnisse unterstützt.

6. Beurteilung der Messwerte

Spätestens bei der Übergabe muss ein vollständiger Messbericht an den Auftraggeber ausgehändigt werden. Dieser Messbericht umfasst die Angaben zu Gebäude- und Projektbezeichnung, zum konkreten Messort, zum vereinbarten Sollwert, zum verwendeten Messgerät, die erfassten Messwerte, der Unsicherheit der Messergebnisse, sowie dem Datum und Ort der Messung. Das testo 400 lässt Sie diesen Messbericht direkt im Messgerät fertigstellen und per Mail versenden. Effektiver geht es nicht.

