

Messung kleiner Strömungsgeschwindigkeiten durch Laufzeitmessungen radioaktiver Nuklide

Ing. N. Müller, KDT/Dipl.-Phys. H. Schubert

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

Für die Kalibrierung von Anemometern im Geschwindigkeitsbereich $v = 0,05 \dots 3,00$ m/s wurde ein offener Windkanal mit geschlossener Meßstrecke und saugseitig angeordnetem Gebläse geschaffen (Bild 1). Die Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit in der Meßebebene des Kanals erfolgt dabei mit Hilfe der Gebläsedrehzahl. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit von der Gebläsedrehzahl. Diese Abhängigkeit galt es durch ein geeignetes Meßverfahren zu ermitteln. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden konventionelle Meßverfahren für kleine Strömungsgeschwindigkeiten von Luft mit der Laufzeitmessung radioaktiver Nuklide verglichen.

2. Konventionelle Meßverfahren für kleine Strömungsgeschwindigkeiten

2.1. Laufzeitmessungen von Rauch

Mit Hilfe von Rauchröhrchen wurde an der Saugseite des Windkanals die Luftströmung in der Kanalachse durch Rauchwölkchen markiert. Die Zeitdifferenz zwischen den Durchgängen der Front eines Rauchwölkchens durch zwei im bekannten Abstand auf der Kanalachse befindliche Punkte wurde mit der Stoppuhr gemessen. Zur Beobachtung der Rauchwölkchen wurde der Windkanal axial ausgeleuchtet und mit Bohrungen in der Wandung versehen. Bedingt durch die Trägheit des menschlichen Auges konnte nur bis zu Geschwindigkeiten von 0,6 m/s gemessen werden. Bei einer Anzahl von acht Meßwerten je vorgegebener Gebläsedrehzahl betrug die relative Standardabweichung (Variationskoeffizient) $S\%$ der Laufzeit bei einer Meßstrecke von 39,5 cm zwischen 5% und 15%, wobei mit der Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit, hervorgerufen durch den sich verstärkenden Einfluß der unterschiedlichen Reaktionszeit und Beobachtungsgabe der Meßpersonen, auch ein Anstieg der Standardabweichung zu verzeichnen war. Die errechnete Regressionsbeziehung hatte ein Bestimmtheitsmaß von $B = 0,974$.

Der Variationskoeffizient erhöhte sich auch mit Verlängerung der Meßstrecke beispielsweise bei 104 cm bis zu $S\% = 20\%$. Dieser Anstieg ist vor allem durch ein zunehmendes Zerfließen des Rauches mit der Länge der Meßstrecke bedingt.

2.2. Staudruckmessungen

Die Staudruckmessung erfolgte mit einem Prandtl'schen Staurohr und mit einem WS-Minimeter, dessen Empfindlichkeit den erfassbaren Bereich der Strömungsgeschwindigkeit nach unten bei 1,5 m/s begrenzte. Der Variationskoeffizient der Messungen lag bei $S\% = 2,5\%$.

Bild 1

Schema des Windkanals:

- a Aluminiumhülle
- b Wabenmaterial
- c Gazedraht
- d Meßebebene mit Halterungen
- e Leitbleche
- f Lüfter
- g Drehzahlmeßzusatz
- h E-Anschluß mit Spartransformator

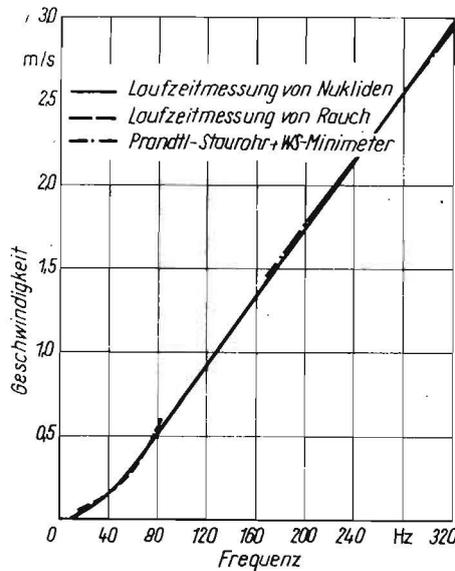
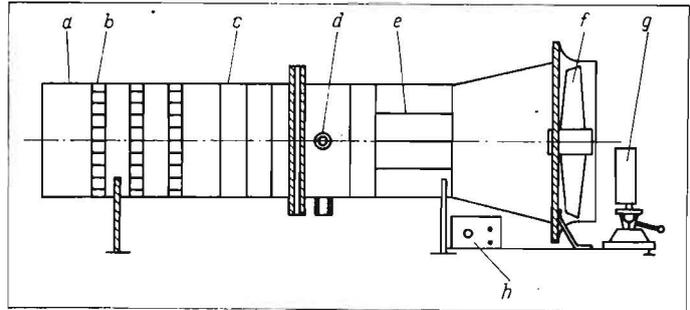


Bild 2. Vergleich der Meßmethoden zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit

3. Laufzeitmessungen mit radioaktiven Nukliden

Die Luftströmung wurde mit verdünntem Krypton 85 markiert, von dem dazu jeweils 0,5 bis 1,5 cm³ entsprechend einer Aktivität von $3,7 \cdot 10^6$ bis $11,1 \cdot 10^6$ Bq (100 bis 300 μ Ci) stoßartig aus der Kanüle einer Injektionspritze senkrecht zur Strömungsrichtung freigesetzt wurden. Längs zur Kanalachse im Abstand von 100 cm wurden zwei seitlich abgeschirmte Zählrohre VAZ-116 S außerhalb der Kanalwandung installiert. Die von den beiden parallel geschalteten Zählrohren abgegebenen Impulse wurden im Strahlenmeßgerät VA-M-141 und im Meßverstärker M 60 verstärkt und im Zwölfkanallichtschreiber 12-LS durch ein Stiftgalvanometer 4623.12 aufgezeichnet. Zur Unterdrückung des Nulleffekts wurde am Ausgang des VA-M-141 eine dekadische Untersezung vorgenommen.

Für die für jedes radioaktive Wölkchen aufgezogene Impulsverteilungskurve wurden die Flächenschwerpunkte der beim Passieren der beiden Zählrohre sich ergebenden Peaks nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

- \bar{t} mittlere Aufenthaltszeit
- t_i Zeit
- x_i Impulsdichte zur Zeit t_i

Die Strömungsgeschwindigkeit ergab sich als Quotient aus der vorgegebenen Meßstrecke und der zeitlichen Differenz zwischen den beiden Peakschwerpunkten. Durch Veränderung des Papiervorschubs beim 12-LS und die Wahl geeigneter Zeitmarkenabstände war im jeweils untersuchten Geschwindigkeitsbereich stets eine genaue Auswertung möglich. Im Gegensatz zu den beiden bereits dargestellten Meßverfahren konnten die Laufzeitmessungen mit radioaktiven Nukliden für den gesamten Geschwindigkeitsbereich $v = 0,05 \dots 3,00$ m/s erfolgen (Bild 2). Der Variationskoeffizient der Laufzeit schwankte bei vier Messungen je Geschwindigkeitsstufe zwischen 1% und 3,5% und erreichte im Bereich extrem niedriger Geschwindigkeiten Werte bis zu $S\% = 10\%$. Das Bestimmtheitsmaß der errechneten Regressionsbeziehung betrug $B = 0,998$.

4. Zusammenfassung

Die Laufzeitmessung radioaktiver Nuklide stellt ein Verfahren dar, mit dem kleine Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich $v = 0,05 \dots 3,00$ m/s mit guter Genauigkeit (relative Standardabweichung $\approx 3,5\%$) bestimmt werden können.

A 2576