

Note

Analyse eines Gasstromes mit Hilfe eines manometrischen Verfahrens

G. H. W. WILLEMS

Institut für Technische Physik, Technische Universität Eindhoven, Insulindelaan 2, Eindhoven (Niederlande)

(Eingegangen am 18. Januar 1977)

In der vorliegenden Arbeit wird eine Gasanalysemethode beschrieben, die den Kapillarenströmungswiderstand ausnutzt. Unsere Methode benötigt, im gegensatz zu der Methode von Janák und Novák¹, keinen zusätzlichen Gasstrom. Wie Janák und Novák benutzen auch wir jetzt eine Wheatstone-artige Brücke mit vier pneumatischen Widerständen W_1 , W_2 , W_3 und W_4 , und in der Diagonale der Brücke einen Differentialmanometer (DMM) (Fig. 1). Die pneumatischen Widerstände bestehen bei uns aus vier gleichen Kapillaren; bei der Brückenkonstruktion haben wir eine Laufzeitröhre (LZR) benutzt. Hierdurch wird eine zu detektierende Variation in der Zusammensetzung des Gasstroms, von Gas A nach Gas B, die Kapillaren auf verschiedenen Zeitpunkten erreichen. Die Laufzeitröhre besteht aus einer derartig dimensionierten Röhre, dass der Druckabfall in der Laufzeitröhre klein im vergleich zum Druckabfall in den Kapillaren ist.

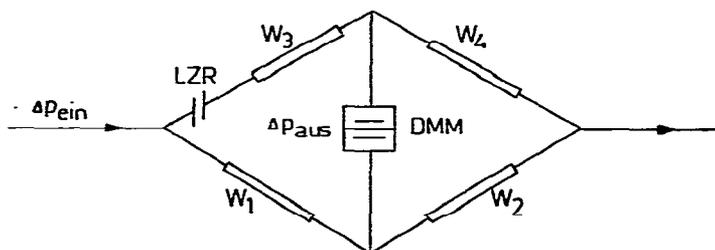


Fig. 1. Schematische Darstellung des Detektors.

Einfacherweise beschränken wir unsere Betrachtungen jetzt auf die Situationen, wobei jede Kapillare entweder mit Gas A mit einer Viskosität η_A oder mit Gas B mit einer Viskosität η_B abgefüllt ist. Wir charakterisieren diese Situationen mit dem Buchstaben M , mit den Nummern der Kapillaren, die mit Gas A abgefüllt sind, als unterer Index. Für die Situationen, wobei sich in allen Kapillaren Gas A befindet, also M_{1234} gilt:

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3 = \Delta p_4 = 1/2 \Delta p_{ein}$$

und

$$\Delta p_{aus} = \Delta p_1 - \Delta p_3 = 0 \tag{1}$$

wobei $\Delta p_1, \Delta p_2, \Delta p_3$ und Δp_4 die Druckabfälle in den Kapillaren W_1, W_2, W_3 und W_4 sind; Δp_{ein} der Gasüberdruck am Brückeneintritt, und Δp_{aus} der Differenzdruck an der Brückendiagonale ist.

Für die Situation M_{234} , wobei zufolge der Laufzeitröhre Gas B sich nur in W_1 befindet, erhalten wir

$$\frac{\Delta p_1}{R_1} = \frac{\Delta p_2}{R_2} \quad (2)$$

wobei R dem Strömungswiderstand der Kapillaren entspricht. Nehmen wir R , laut der Poisseuilleschen Gleichung, proportional der Viskosität, dann ergibt sich für M_{234}

$$\Delta p_{\text{aus}} = \frac{\eta_A - \eta_B}{\eta_A + \eta_B} \frac{\Delta p_{\text{ein}}}{2} \quad (3)$$

Wenn es sich um ein kleines Volumen des Gases B handelt, das wieder von Gas A gefolgt wird, dann ändert sich die Viskosität am Brückeneintritt so, wie in Fig. 2 gezeigt wird. Fig. 3 zeigt den dazu gehörenden Ablauf von Δp_{aus} als Funktion der Zeit. Diese Figur ist charakteristisch für unsere Messungen. Sowohl die Positionen als auch die Formen der Extrema werden durch das Volumen des Gases B und die Dimensionierung des Detektors beeinflusst.

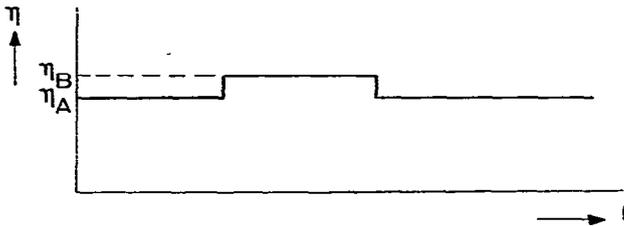


Fig. 2. Viskositätsänderung am Brückeneintritt als Funktion der Zeit.

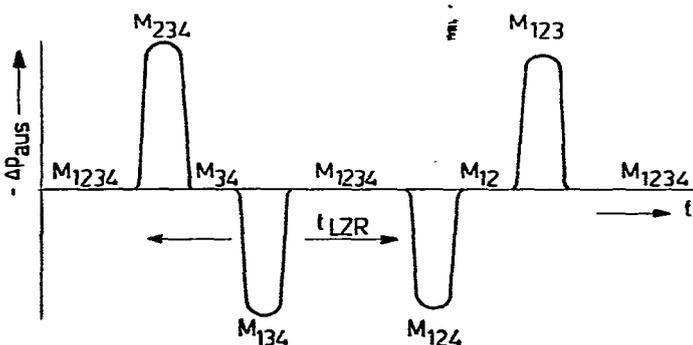


Fig. 3. Ablauf von Δp_{aus} als Funktion der Zeit. t_{LZR} ist die Zeit, die die Front des Gases B benötigt, um die Laufzeitröhre zu durchlaufen.

EXPERIMENTE

Alle Experimente wurden mit einem Stickstoff-Gasstrom (Gas A) durchgeführt, dem ein bestimmtes Volumen eines Sauerstoff-Stickstoff-Gemisches (Gas B) zugefügt wurde. Der Gasüberdruck am Brückeneintritt wurde auf 8 torr eingestellt. Der Differenzdruck an der Brückendiagonale wurde mit einem kapazitiven Differentialmanometer gemessen (1 torr = 1600 mV). Die Kapillaren hatten einen Innendurchmesser von 0.1 cm und eine Länge von 200 cm, während die Laufzeitröhre einen Innendurchmesser von 0.4 cm hatte.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die Ergebnisse der Experimente sind in Tabelle I zusammengefasst, während Fig. 4 zwei Beispiele von Messungen des Differentialmanometersausgangs als Funktion der Zeit zeigt.

Zwei weitere Experimente (2% Sauerstoff), wobei zuerst die Länge der Laufzeitröhre bis 660 cm erhöht wurde (Fig. 5a), und nachher das Volumen des Ge-

TABELLE I

ERGEBNISSE

Das Volumen der Sauerstoff-Stickstoff-Gemische betrug 25 cm³; die Länge der Laufzeitröhre war 270 cm.

O ₂ (%)	Höhe der M_{234} extremata	
	Berechnet	Gemessen
1	5.1 ± 0.1 mV	5.1 ± 0.2 mV
2	10.1 ± 0.2	10.0
3	15.2 ± 0.3	15.1
4	20.2 ± 0.4	20.3
5	25.2 ± 0.5	25.5

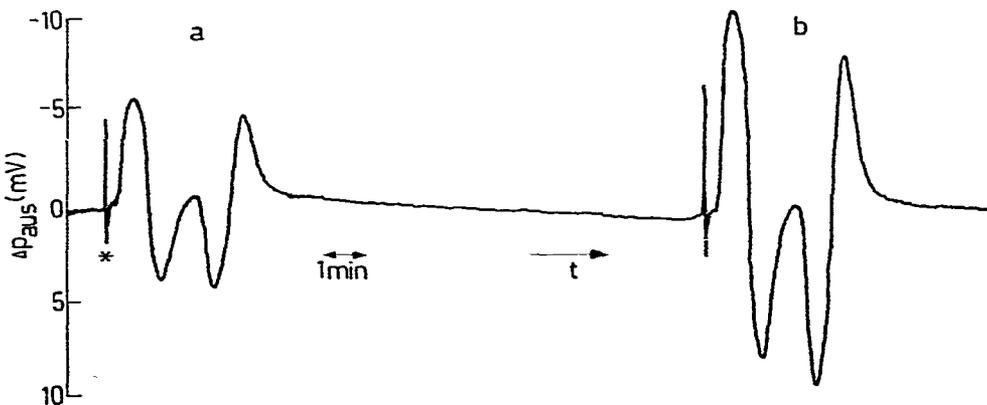


Fig. 4. Messung des Differentialmanometersausgangs als Funktion der Zeit bei 1% (a) und 2% (b) Sauerstoff-Gemischen. Gasmenge 25 cm³. Länge der Laufzeitröhre 270 cm. *: Diese Störung wird durch das Hinzufügen des Gemisches in den Stickstoff-Gasstrom verursacht.

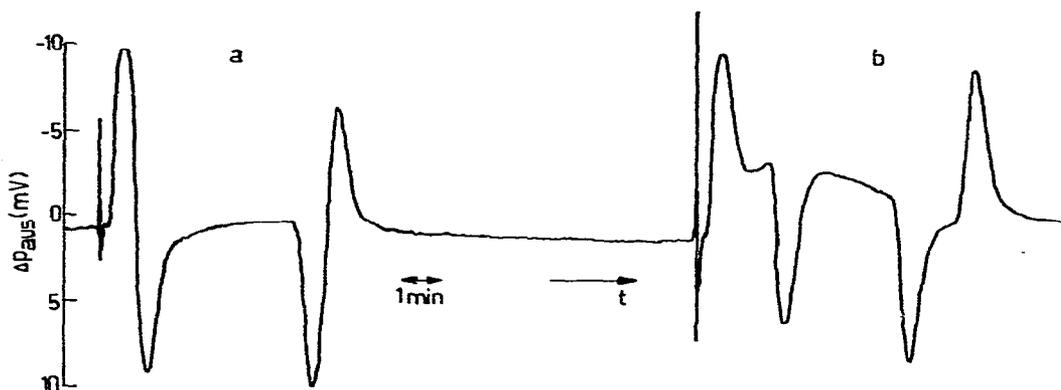


Fig. 5. Messung des Differentialmanometerausgangs als Funktion der Zeit bei 2% Sauerstoff-Gemischen. (a) Gasvolumen 25 cm³, Länge der Laufzeitröhre 660 cm. (b) Gasvolumen 75 cm³, Länge der Laufzeitröhre 660 cm.

misches auf 75 cm³ gebracht wurde (Fig. 5b), wurden durchgeführt. Fig. 5 bestätigt die vorher gemachte Behauptung, dass die Positionen und die Formen der Extrema beeinflussbar sind.

Die zu erreichende Empfindlichkeit unserer Methode hängt im Prinzip von der Empfindlichkeit und dem internen Volumen des Differentialmanometers ab. Wenn z.B. $\Delta p_{\text{ein}} = 100$ torr und die Empfindlichkeit des Differentialmanometers = 10^{-5} torr, dann beträgt nach Gleichung 3, die kleinst nachweisbare Konzentration Sauerstoff in einem Stickstoff-Gasstrom 3 ppm. Wenn der Differentialmanometer ein internes Volumen von 1 cm³ hat, dann beträgt die Mindestmenge Gas, die notwendig ist, um einen Druckunterschied von 10^{-5} torr zustande zu bringen, $2 \cdot 10^{-11}$ g. Diese empfindlichkeit unserer Methode bietet gute Aussichten bei der Anwendung als Detektor in der Gaschromatographie.

LITERATUR

- 1 J. Janák und J. Novák, in H. G. Struppe und H. P. Angelé (Herausgeber), *Gas-Chromatographie 1963*, Akademie-Verlag, Berlin, 1964, pp. 99–104.