

Tabelle 7 Temperaturerhöhung der Luft bei elektrischen Funkenübergängen.

a) Messing-Kugelelektroden. Abstand des Thermoelementes von der Funkenstrecke: 7 mm. Durchmesser der Kugelelektroden: 1 cm. Vorschaltwiderstand: 1000 Ω .

Art des Kondensators	Kap. cm	Spannung V	Energie eines Funkens	Spannungsabfall an C_1 V	Gesamtenergie des Kondensators C_2 erg	Zeit s	Gesamtausschlag des Galvano- meters Skl.	Ausschlag des Galvanometers für $1 \cdot 10^7$ erg. Skl.
Plattenkondensator ..	25	4000	2222	6000—4250	$21 \cdot 10^7$	52	196	9,3
„ ..	44	3000	2222	6000—4250	$16 \cdot 10^7$	45	108	6,8
„ ..	100	2000	2222	6000—4250	$10,5 \cdot 10^7$	32	48	4,6
Leydener Flasche ..	816	700	2222	6000—4250	$3,7 \cdot 10^7$	26	18	4,8
„ ..	1065	613	2222	6000—4250	$3,2 \cdot 10^7$	23	13	4,1

b) Messing-Spitzenlektroden. Abstand des Thermoelementes von der Funkenstrecke: 20 mm. Vorschaltwiderstand: 8000 Ω .

Plattenkondensator ..	25	4000	2222	6000—4250	$21 \cdot 10^7$	72	280	13,3
„ ..	44	3000	2222	6000—4250	$16 \cdot 10^7$	52	222	13,9
„ ..	100	2000	2222	6000—4250	$10,5 \cdot 10^7$	33	77	7,3
Leydener Flasche ..	816	700	2222	6000—4250	$3,7 \cdot 10^7$	27	4	1,1
„ ..	1065	613	2222	6000—4250	$3,2 \cdot 10^7$	24	4	1,2

$C_1 = 6 \mu F$ $V_1 = 6000 V$ $R = 10 M \Omega$ Thermoelement: Silber-Konstantan 1 Skl. des Mollschen Galvanometers $7,8 \cdot 10^{-11} A$.
 4° Temperaturdifferenz geben 200 Skl. Ausschlag bei 5000 Ω Vorschaltwiderstand.

ist bei allen Versuchen keine Zündung dieses zündwilligen Gemisches erfolgt. Nach den Untersuchungen von K. Wesendock¹³⁾ müssen folgende Potentialdifferenzen überschritten sein, wenn die kontinuierliche Spitzenentladung beginnen soll:

Gas	Positive Elektrizität V	Negative Elektrizität V
Luft	2500	2100
Wasserstoff	1630	1590

Obwohl bei dieser kräftigen Spitzenentladung eine Ionisation des Gemisches bewirkt wird, trat doch keine Zündung ein, weil die Wärmewirkung dieser schwachen Funkenentladung zu gering war.

Zusammenfassung

1. Die Zündfähigkeit von Wasserstoff-Luft-Gemischen hängt von der Gemischzusammensetzung ab. Am zündwilligsten ist das 30%ige Wasserstoff-Luft-Gemisch.

2. Die Zündspannung hängt nicht wesentlich von der Kapazität des Entladungskreises ab. Die elektrische Energie der Kondensatoren, die zur Zündung nötig war, ist nicht konstant.

3. Der Zündvorgang wird maßgeblich durch die Form der Elektroden beeinflusst. Spitzenlektroden setzen die Mindestzündspannung bei gleicher Kapazität gegenüber Kugelelektroden beträchtlich herab.

¹³⁾ Ann. Physik 60, 193 [1897].

4. Die Oberflächenbeschaffenheit der Elektroden beeinflusste den Zündvorgang nicht wesentlich.

5. Elektrische Widerstände im Entladungskreis erhöhen die erforderliche Zündspannung für Gas-Luft-Gemische.

6. Die Funkenwärme beträgt nur einen geringen Teil der elektrischen Gesamtenergie des geladenen Kondensators. Dieser Anteil geht mit abnehmender Spannung noch weiter zurück.

7. Nach den vorliegenden Versuchen ist die vom Funken an das explosive Gas-Luft-Gemisch abgegebene Wärme für den Zündvorgang maßgebend.

Die vorliegende Arbeit wurde ausgeführt in der physikalischen Abteilung der Chemisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. Chr. Gehrtsen für die vielseitige Unterstützung meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen. Besonders danke ich auch dem Präsidenten der Chemisch-Technischen Reichsanstalt, Herrn Prof. Dr. Rimarski, der mir in entgegenkommender Weise Mittel für den Kauf und Bau von Geräten zur Verfügung stellte. Dankend möchte ich den Abteilungsleiter Oberregierungsrat Dr. Schneider und Oberregierungsrat Dr. Finger erwähnen, die mir bei der Durchführung der Untersuchung ihre Unterstützung zuteil werden ließen. Ebenso danke ich meinen technischen Mitarbeitern, die mir bei der Ausführung der Versuche geholfen haben.

Eingeg. 29. Nov. 1944 [B 31]

Nomogramm zur Bestimmung von Kapillarrohr-Strömungsmessern

Von Dipl.-Ing. R. SCHUMACHER, Karlsruhe

Unter Zugrundelegung des Hagen-Poiseuilleschen Gesetzes und der Hagenbach-Korrektur wurde für Kapillarrohr-Strömungsmesser, die nach dem Differenzdruck-Verfahren arbeiten, ein Nomogramm entwickelt, das eine gute Übersicht über die Verwendungsmöglichkeit alter und über die Baugrößen neuer Strömungsmesser erlaubt.

Bei dem Aufbau von Strömungsapparaten in chemischen Laboratorien tritt jedesmal erneut die Frage auf, welche Art und welche Größe von Strömungsmessern zu verwenden sind. In der Hauptsache wird das Differenzdruck-Verfahren mit Laminarströmung in kapillaren und glatten Röhren bevorzugt, da die auf diesem Prinzip beruhenden Kapillarrohr-Strömungsmesser leicht herzustellen und in die Apparatur leicht einzubauen sind. Ihre Berechnung ist dagegen umständlich und zeitraubend.

Nach dem Hagen-Poiseuilleschen Gesetz

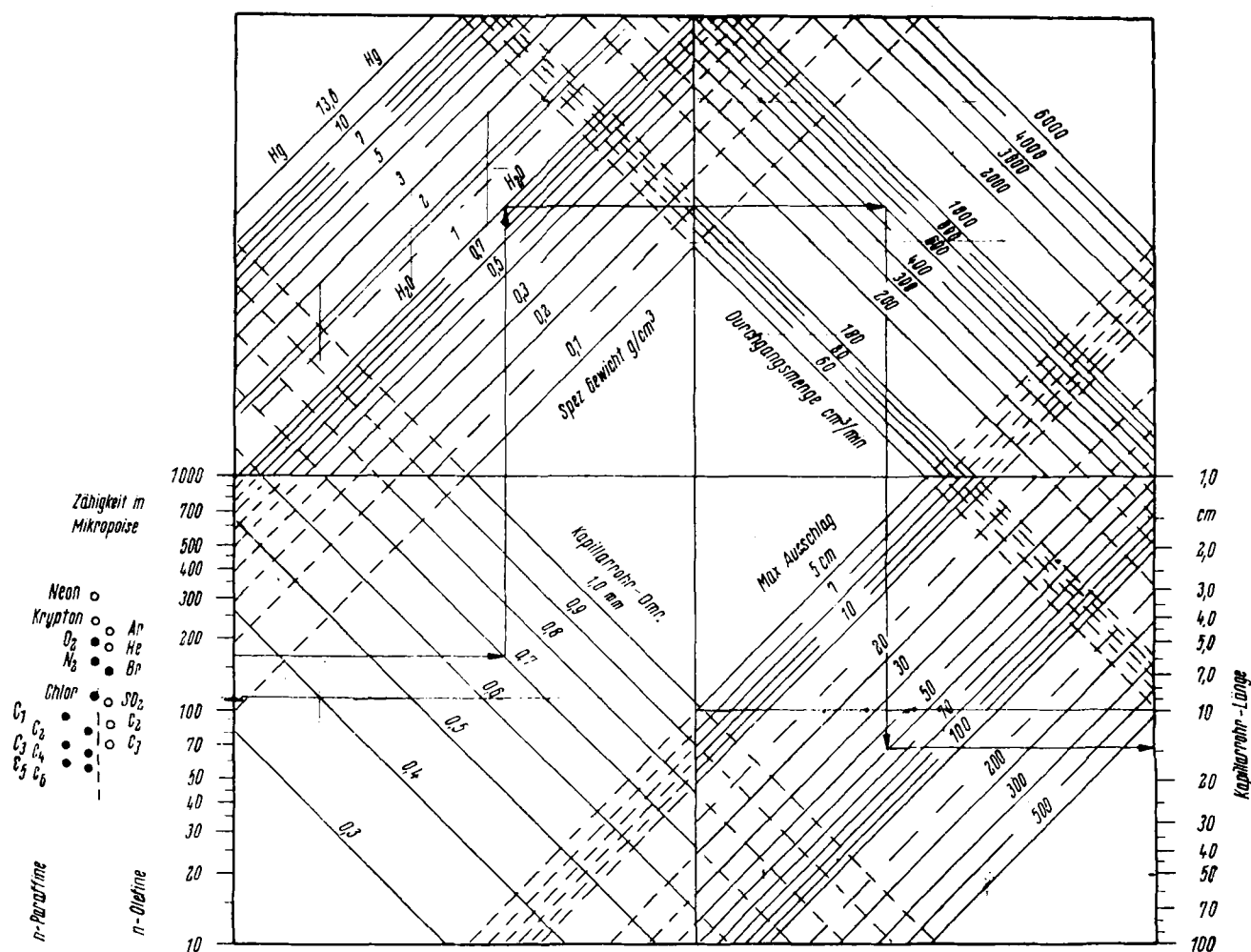
$$128 \cdot V \cdot \eta \cdot L = \pi \cdot D^4 \cdot t \cdot (p_1 - p_2)$$

ist bei Schichtströmung der Druckabfall $p_1 - p_2$ (g/cm \cdot s²) längs Kapillarrohren von dem Durchmesser D (cm) und der Länge L (cm) ein unmittelbares Maß für den Mengenstrom V (cm³) in der Zeiteinheit t (s) und ebenso wie die Zähigkeit η (g/cm \cdot s) von der Dichte praktisch unabhängig.

Bei der allgemein üblichen Bauart der Kapillarrohr-Strömungsmesser wird der Druck aber nicht am Kapillarrohr selbst, sondern an seinen Enden oder in einiger Entfernung davon gemessen, wo sich die Flüssigkeit bzw. das Gas praktisch in Ruhe befinden. Das Hagen-Poiseuillesche Gesetz ist dann mit der Hagenbachschen

Korrektur $\left(\sim 1,12 \frac{\gamma \cdot w^2}{g} \right)$ zu versehen, die die Eintrittsbeschleunigung bis zur parabolischen Geschwindigkeitsverteilung und den Verlust der Geschwindigkeitsenergie am Austritt berücksichtigt. γ spez. Gewicht, w Geschwindigkeit, g Erdbeschleunigung.

Um die Strömungsverhältnisse möglichst eindeutig festzulegen, wird für die Kapillarrohr-Strömungsmesser seit Jahren ein Modell verwendet, das neben leichter Herstellbarkeit betriebliche Vorteile in Form eines großen Meßbereichs und einer leichten Austauschbarkeit der Kapillaren und der jeweils benötigten Meßflüssigkeit



[B 1]

Bild 1
Nomogramm für Kapillarrohr-Strömungsmesser

im U-Rohr durch Anbringung eines Hahns an der untersten Stelle des U-Rohres besitzt. Für den Strömungsmesser wurde durch Versuche der Korrekturwert 1,15 unter Verwendung eines Kapillarrohres mit 0,7 mm Dmr. und 14,6 cm Länge bestimmt, so daß aus der mit diesem Korrekturwert berichtigten *Hagen-Poiseuille*-schen Gleichung ein Nomogramm zur Bestimmung von Kapillarrohr-Strömungsmessern entwickelt werden konnte. In dieser Gleichung

$$1,15 \cdot 128 \cdot V \cdot \eta \cdot L = \pi \cdot D^4 \cdot t \cdot (H \cdot \gamma \cdot g)$$

sind, nachdem für t als Zeiteinheit 60 s und für den Druckabfall $(p_1 - p_2)$ der Ausdruck $(H \cdot \gamma \cdot g)$ eingesetzt worden sind, 6 variable Größen enthalten, die bei der Bestimmung eines Strömungsmessers interessieren.

η = Zähigkeit des zu messenden Mediums in Mikropoise g cm⁻¹ s
 γ = Spez. Gewicht der zu verwendenden Meßflüssigkeit g cm⁻³
 V = Durchgangsmenge des zu messenden Mediums cm³ min
 H = Maximaler Ausschlag der Meßflüssigkeit cm
 L = Länge des Kapillarrohres cm
 D = Durchmesser des Kapillarrohres mm

Für die 4 Quadranten des Nomogramms, Bild 1, gelten dann die folgenden Kombinationen der 6 variablen Größen, wobei die Werte in der Klammer konstant bleiben:

- 1.) $\eta \cdot L = \left(\frac{\pi \cdot t \cdot g \cdot H \cdot \gamma}{1,15 \cdot 128 \cdot V} \right) \cdot D^4$
- 2.) $\eta \cdot L = \left(\frac{\pi \cdot t \cdot g \cdot H \cdot D^4}{1,15 \cdot 128 \cdot V} \right) \cdot \gamma$
- 3.) $\eta \cdot L = \left(\frac{\pi \cdot t \cdot g \cdot H \cdot D^4}{1,15 \cdot 128 \cdot 1/\gamma} \right) \cdot 1/V$
- 4.) $\eta \cdot L = \left(\frac{\pi \cdot t \cdot g \cdot \gamma \cdot D^4}{1,15 \cdot 128 \cdot V} \right) \cdot H$

In jedem Quadranten erhält man also eine Hyperbelschar der allgemeinen Form $x \cdot y \cdot z = \text{const.}$ Logarithmiert man beide Seiten dieser Gleichung, d. h. trägt man die mit ihr berechneten Werte in einem doppellogarithmischen Diagramm auf, so werden die Hyperbeln in jedem Quadranten des Nomogramms zu Geraden, die interpolierte und extrapolierte Werte leichter abzulesen gestatten. Bei der Berechnung ist besonders auf die Benutzung exakter Zähigkeitswerte zu achten, da diese stark temperaturabhängig sind.

Die Verwendung des Nomogramms soll mit einigen Beispielen erläutert werden.

Beispiel 1. Unter der Voraussetzung laminarer Strömung soll die maximale Durchgangsmenge von 600 cm³/min Luft mit einer Zähigkeit von 171,4 Mikropoise bei dem maximalen Ausschlag einer Wassersäule von 50 cm zu messen sein. In den Strömungsmesser wird ein Kapillarrohr mit einem Dmr. von 0,7 mm und einer Länge von 14,6 cm eingebaut.

Beispiel 2. Unter Verwendung von Bromnaphthalin ($\gamma = 1,5$ g/cm³) als Meßflüssigkeit zeigt der Ausschlag von 13,5 cm eines Strömungsmessers mit einem Kapillarrohr von 0,7 mm Dmr. und 20 cm Länge für Methan, dessen Zähigkeit bei 0° 105 Mikropoise beträgt, eine Durchgangsmenge von 300 cm³/min an.

Beispiel 3. An der Grenze der Gültigkeit des *Hagen-Poiseuille*-schen Gesetzes ($Re = 2300$) und damit des Nomogramms: Für einen Luftstrom von 0,1 m³/h (1666,6 cm³/min) ist für eine Kapillarrohr-Meßstrecke von 100 cm Länge und einem Durchmesser von 1 mm ein Druckabfall von 2170 mm WS zu erwarten.

Ich danke dem damaligen Direktor des Instituts für Chemische Technologie der T. H. Braunschweig, Herrn Prof. Dr. Gg. R. Schultze, für die Erlaubnis, diese Mitteilung veröffentlichen zu dürfen.

Eingeg. 28. August 1944

[B 1]