$$0{,}24 \cdot 9{,}81 = 2{,}35 \text{ WE} = 1000 \text{ mkg}$$

benötigt. Hat das anströmende Gas außer seiner „effektiven" Temperatur noch eine kinetische Energie $c^2/2$ pro Masseneinheit, so ist daher $\frac{c^2}{2\,\Delta T} = 1000$ und

$$\Delta T = \frac{c^2}{2000}\,, \tag{69}$$

für $c = 1300$ m/sec ist also z. B. $\Delta T = 850°$.

Für das Temperaturgleichgewicht der Lötstelle muß nun sein

$$N = W_c = W_g + W_L\,;$$

mit Gl. (67) und (68) wird also für das betrachtete Beispiel

$$5 \cdot 10^{-12}\, T_L^4 + 3{,}5 \cdot 10^{-4}\, T_L = 5670 + 5 \cdot 10^{-12}\, T_u + 3{,}5 \cdot 10^{-4}\,(T_a + \Delta T).$$

Man kann sich die Lösung dieser Gleichung 4. Grades, welche sonst nur graphisch möglich ist, in diesem Falle vereinfachen, wenn man den Einfluß der Wärmeleitung vernachlässigt; dieses darf geschehen, da der Einfluß der Leitung in der 1. Potenz der Temperatur, der Einfluß der Strahlung aber mit ihrer 4. Potenz zunimmt. Es wird dann

$$T_L = \sqrt[4]{\frac{5670 + 5 \cdot 10^{-12}\, T_u^4}{5 \cdot 10^{-12}}} = 5800° \text{abs}\,.$$

Bei einer effektiven Mündungstemperatur von 1000° abs und einer Strömgeschwindigkeit von 1300 m/sec würde die Lötstelle theoretisch also erst bei 5800° abs in das Temperaturgleichgewicht kommen. Praktisch wäre sie bei dieser Temperatur natürlich längst zerstört.

Es zeigt sich durch diese Rechnung die völlige Unbrauchbarkeit der thermoelektrischen Messung im schnellbewegten Gasstrom.

Nach Erkenntnis dieser Tatsache wurde für die Messung der Mündungstemperatur eine strahlungspyrometrische Methode erprobt.

Durch eine Linse wurde die Gesamtstrahlung des glühenden Gases im Mündungsquerschnitt eingefangen und auf eine kleine in ihrem Brennpunkt liegende Thermosäule geworfen. Der hier erzeugte Thermostrom wurde in einem temperaturgeeichten Galvanometer gemessen (vgl. Photo 18).

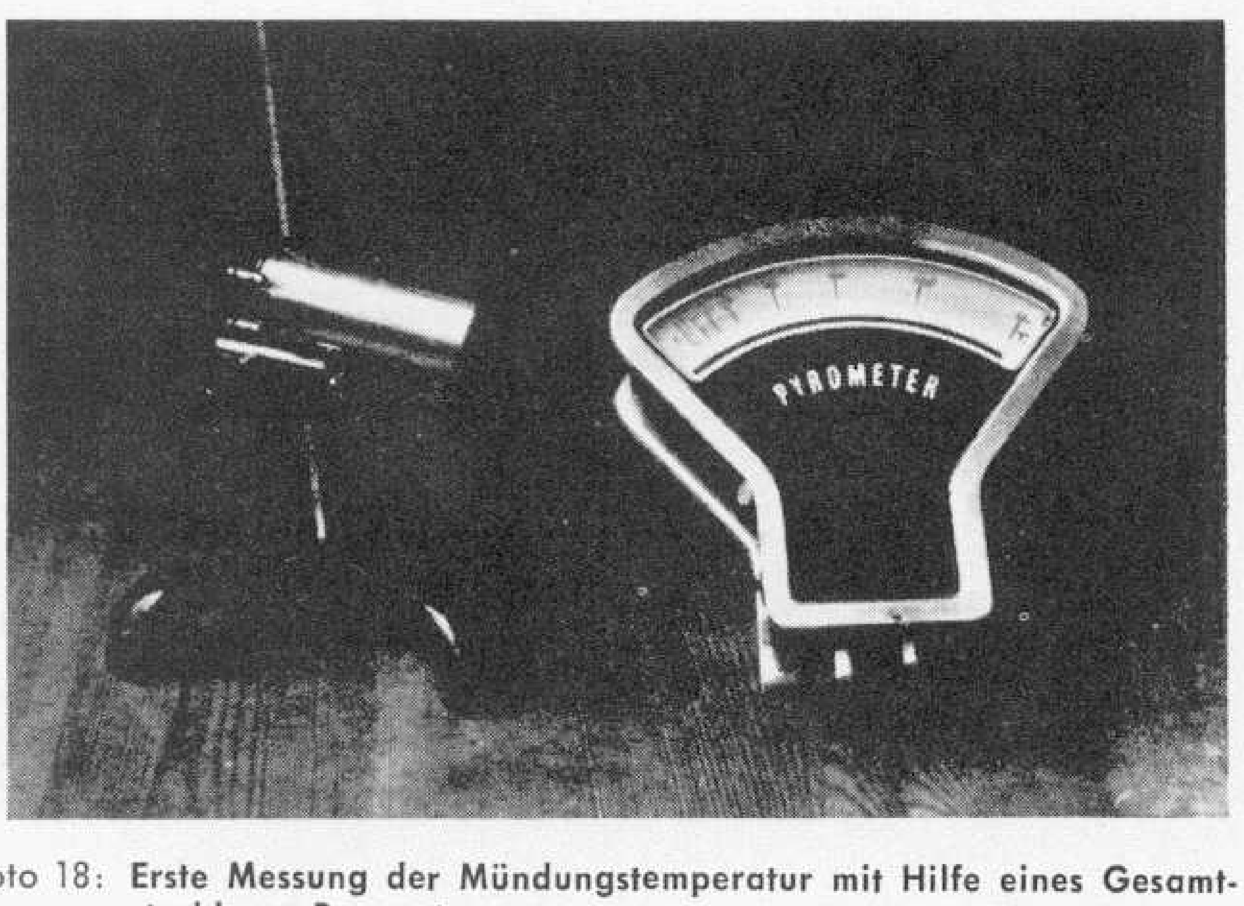

Photo 18: **Erste Messung der Mündungstemperatur mit Hilfe eines Gesamtstrahlungs-Pyrometers**

Mit Hilfe dieses Geräts konnten verschiedene eindeutige Temperaturmessungen durchgeführt werden (vgl. hierzu Versuchsberichte).

Auch diese Meßmethode hat indessen einen prinzipiellen Meßfehler. In allen Fällen nämlich, wo der zu messende Strahler nicht völlig im physikalischen Sinne schwarz strahlt, wird nämlich eine zu niedrige Temperatur gemessen. Man hat aber eine Möglichkeit, bei Kenntnis des Absorptionsverhältnisses A_{Fl} des Strahlers diesen Fehler wieder herauszurechnen. Es ist dazu aber erforderlich, das Durchlaßvermögen D_{Fl} der Flamme zu bestimmen. Es ist dann

$$D_{Fl} + A_{Fl} = 1\,.$$

Nun ist nach dem Planckchen Gesetz

$$\log A_{Fl} = \frac{14300 \cdot 0{,}4343}{\lambda}\left(\frac{1}{T_w} - \frac{1}{T_{beob.}}\right),$$

die wahre Temperatur ist also

$$T_w = \frac{6200}{\lambda \log A_{Fl} + \frac{6200}{T_{beob.}}}\,. \tag{70}$$

Die Bestimmung des Durchlasses der Flamme erfordert nun noch eine Vergleichspyrometrierung mit einem Hilfsstrahler, z. B. einer Wolframbandlampe: Man nimmt einmal den Ausschlag der Lampe allein auf und mißt dann denjenigen Ausschlag, den man bekommt, wenn man die Lampe durch die zu messende Gasflamme hindurch pyrometriert. In diesem Falle bekommt man die Gesamtstrahlung der Flamme Fl, zuzüglich den durchgelassenen Strahlungsanteil der Lampe $D_{Fl} \cdot L$, d. h. den Wert $Fl + D_{Fl}$. Zieht man hiervon die Strahlung der Flamme allein ab, so hat man $D_{Fl} \cdot L$. Dividiert man diesen Wert durch L, so hat man das Durchlaßvermögen D_{Fl} und damit das Absorptionsverhältnis $1 - D_{Fl}$.

Besonders störend an dieser Meßmethode ist auch hier wieder die hohe thermische Trägheit des Meßsystems.

Daneben bleibt aber auch nach erfolgter Korrektur des Meßwertes durch Gl. (70) noch ein Fehler bestehen, der darin begründet ist, daß die gemessene Strahlung nicht monochromatischer Natur ist. In Gl. (70) kann daher für λ nur ein Mittelwert eingesetzt werden. Nach dem Wienschen Gesetz über die Energieverteilung der Strahlung ist dieses mittlere λ von der Temperatur abhängig; für kälteres Gas ist λ_{mittl} größer (überwiegend infraroter Anteil) als bei wärmerem Gas (zunehmender optischer Anteil). λ_{mittl} kann nur näherungsweise ermittelt werden.

Man kann nun auch den hierdurch entstandenen Fehler noch beseitigen, wenn man nicht die Gesamtstrahlung der Flamme, sondern nur einen monochromatischen Anteil davon pyrometriert. Es ist hierzu erforderlich, die von der Flamme einfallende Strahlung im Prisma zu zerlegen und bis auf eine einzelne Bande das Spektrum abzublenden. Pyrometriert man dann diese Bande allein, so bekommt man ein mathematisch völlig exaktes Ergebnis.

Bei der praktischen Durchführung dieser Meßmethode wurde ein Wanner-Pyrometer benutzt, in das zu diesem Zweck eine spektrale Abblendung eingebaut wurde. Wegen der günstigen Sichtbarkeitsverhältnisse wurde als Beobachtungsbande die gelbe Natrium-D-Linie gewählt. Durch Drehen eines Absorptionskegels gegen einen zweiten beleuchteten Vergleichskegel wurde dann die scheinbare Temperatur T_{beob} abgelesen. Es mußte daraufhin wieder das Absorptionsverhältnis bestimmt und mit Gl. (70) die wahre Temperatur T_w ermittelt werden; dabei war $\lambda = 0{,}589\ \mu$ zu setzen.

BEISPIEL:

Für die Mündungstemperatur ergab sich in einem praktischen Falle als scheinbare $T_{a\,beob} = 1040°$ abs. Die Winkelstellung des Absorptionskegels betrug dabei auf der Ableseskala $\alpha_2 = 33{,}5°$. Es wurde nun die Vergleichslampe eingeschaltet und die Summe von Flammen- und Lampenstrahlung bestimmt. Die Helligkeit der beiden Kegel stimmte jetzt bei einer Winkelstellung von $\alpha_3 = 39°$ überein. Nach dem Brennversuch wurde endlich die Lampe allein gemessen; es ergab sich hierfür $\alpha_1 = 32{,}6°$.

Die Flächenhelligkeit (Intensität) ist nun beim Wanner-Pyrometer proportional $tg^2\,\alpha$. Es ist also $L = tg^2\,\alpha_1 = 0{,}409$, $Fl = tg^2\,\alpha_2 = 0{,}438$, $L + D_{Fl} \cdot L = tg^2\,\alpha_3 = 0{,}656$. Der Strahlungsanteil der Flamme beträgt daher $Fl - D_{Fl}\,L/L = 0{,}656 - 0{,}438 = 0{,}218$, der Durchlaß somit

$$D_{Fl} = \frac{D_{Fl}\,L}{L} = \frac{0{,}218}{0{,}409} = 0{,}534\,.$$

Das Absorptionsverhältnis ist also

$$A_{Fl} = 1 - D_{Fl} = 0{,}466$$

und die wahre Temperatur somit nach Gl. (70)