

Zur Frage des Ausdehnungskoeffizienten der nationalen Meterprototype

Autor(en): **König, E. / Buchmüller, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **2 (1929)**

Heft III

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-109445>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Zur Frage des Ausdehnungskoeffizienten der nationalen Meterprototype

von E. König und F. Buchmüller.

(Mitteilung des Eidg. Amtes für Mass und Gewicht in Bern.)

(21. V. 29.)

Inhalt: Mit grösster Wahrscheinlichkeit liegen allfällige Differenzen in den Ausdehnungskoeffizienten der grossen Serie der nationalen Meterprototype innerhalb der erreichbaren absoluten Präzision mit der Komparatormethode. Die von der I. Generalkonferenz über Mass und Gewicht in Paris im Jahre 1889 sanktionierten Certifikate bedürfen daher einer Berichtigung. Die vorliegende Arbeit versucht, einen Beitrag zur Festsetzung eines der Wahrheit möglichst nahe kommenden Mittelwertes zu liefern.

I. Einleitung.

Gemäss Art. 5 des Bundesgesetzes über Mass und Gewicht vom 24. Juni 1909 wird die Längeneinheit wie folgt festgesetzt:

„Die Einheit der Länge ist der Meter. Er ist bestimmt durch die Länge bei 0° des internationalen Prototyps M, welches durch die internationale Generalkonferenz für Mass und Gewicht vom Jahre 1889 als solches sanktioniert wurde und im internationalen Bureau für Mass und Gewicht in Sèvres aufbewahrt wird.

Das schweizerische Urmass des Meters ist die Kopie Nr. 2 des internationalen Prototyps, welches, wie dieses, aus einer Legierung aus 90% Platin und 10% Iridium besteht und auf dem eidgenössischen Amt für Mass und Gewicht aufbewahrt wird. Die Länge dieses Urmasses ist festgestellt durch das Certifikat des internationalen Bureaus für Mass und Gewicht.“

Nach dem genannten Certifikat vom 28. September 1889 beträgt gemäss den Messungen der HH. R. BENOÎT und CH. GUILLAUME der Abstand der Mittelstriche bei 0°: $1 \text{ m} - 1,5 \mu \pm 0,1 \mu$. Der Temperaturkoeffizient zwischen 0,1 und 37,6 Grad wurde

gefunden zu 10^{-9} ($8665 + 1.00 t$), wobei t die Temperatur in der internationalen Wasserstoffskala bedeutet. Die Gleichung des Prototyps beträgt somit: $1 \text{ m} - 1,5 \mu + 8,665 t + 0,00100 t^2 \pm 0,2 \mu$. Bei Anlass der VII. Generalkonferenz über Mass und Gewicht in Paris im Jahre 1927 verlangte die österreichische Delegation die Ergänzung der Meterdefinition¹⁾. Die Wirkung des Druckes auf die Länge eines Stabes aus Platin-Iridium beträgt 0,46 Milliontel pro Atmosphäre. Ein Stab aus Platin-Iridium von 1 m Länge variiert zwischen der horizontalen Lage und der vertikalen Lage um $+0,65 \mu$ und $-0,65 \mu$, je nachdem der Stab an einem Ende aufgehängt oder am andern Ende unterstützt wird. Werden die Unterstützungsrollen symmetrisch in einer horizontalen Ebene in der Distanz von 571 mm von einander angebracht, so differiert die Länge eines Stabes von 1 m aus Platin-Iridium von dem Querschnitt, wie ihn die Meterprototype aufweisen, gemessen in der neutralen Fläche, um weniger als $0,001 \mu$ von der horizontalen Projektion. Auf Empfehlung des Comité International des Poids et Mesures adoptierte daher die Generalkonferenz für Mass und Gewicht in der Sitzung vom 30. September 1927 folgende Definition:²⁾ „Die Einheit der Länge ist der Meter, definiert bei 0^0 durch die Distanz der Achsen der beiden Mittelstriche auf dem im Bureau International des Poids et Mesures in Sèvres deponierten und als Prototyp des Meters durch die I. Generalkonferenz über Mass und Gewicht erklärten Stabe, wenn dieser Stab unter atmosphärischem Normaldruck steht und unterstützt ist durch zwei Rollen von wenigstens 1 cm Durchmesser, die symmetrisch und in derselben horizontalen Ebene in der Distanz von 571 mm von einander gelagert sind.“

Bei Anlass der I. Generalkonferenz im Jahre 1889 wurden folgende Werte sanktioniert:

Prototype der Serie Johnson, Matthey & Cie.

Internationales Prototyp M	=	1 m	+	8,651 μ	t	+	0,00100 μt^2	
Prov. Etalon I ₂	=	1 m	+	6,0 μ	+	8,644 μt	+	0,00100 μt^2
				μ		μ		
Italien No. 1	=	1 m	-	1,1	+	8,657 t	+	0,00100 t^2
Schweiz No. 2	=	1 m	-	1,5	+	8,665 t		„
Norwegen No. 3	=	1 m	+	0,5	+	8,642 t		„
Frankreich No. 4	=	1 m	-	0,8	+	8,632 t		„
Finnland No. 5	=	1 m	+	2,3	+	8,647 t		„

¹⁾ Comité International des Poids et Mesures, Procès-Verbaux 1927, p. 61 ff.

²⁾ Comptes Rendus des Séances de la VIIème Conférence Générale des Poids et Mesures, Paris, 1927, p. 49.

No. 6 als internationales Prototyp (M) erklärt, da seine Länge dem Archivmeter am nächsten kam.

Bayern No. 7	= 1 m + 0,3	+ 8,649	t + 0,00100 t ²
Frankreich No. 8	= 1 m - 0,4	+ 8,648	t „
Italien No. 9	= 1 m - 1,2	+ 8,643	t „
Portugal No. 10	= 1 m - 0,8	+ 8,659	t „
Akad. Petersburg 11	= 1 m - 0,5	+ 8,650	t „
Belgien No. 12	= 1 m - 0,3	+ 8,638	t „
Bureau Internat. 13	= 1 m + 0,3	+ 8,647	t „
Ungarn No. 14	= 1 m - 1,3	+ 8,646	t „
Österreich No. 15	= 1 m + 0,9	+ 8,655	t „
Grossbritannien No. 16	= 1 m - 0,6	+ 8,653	t „
Spanien No. 17	= 1 m + 0,9	+ 8,653	t „
Deutschland No. 18	= 1 m - 1,0	+ 8,642	t „
Österreich No. 19	= 1 m + 1,1	+ 8,655	t „
Frankreich No. 20	= 1 m + 0,8	+ 8,673	t „
U. S. A. No. 21	= 1 m + 2,5	+ 8,665	t „
Japan No. 22	= 1 m - 1,3	+ 8,667	t „
Belgien No. 23	= 1 m - 1,0	+ 8,661	t „
Spanien No. 24	= 1 m + 1,8	+ 8,670	t „
Mexiko No. 25	= 1 m + 0,7	+ 8,648	t „
Bureau Internat. 26	= 1 m + 0,9	+ 8,647	t „
U. S. A. No. 27	= 1 m - 1,6	+ 8,657	t „
Russland No. 28	= 1 m + 0,5	+ 8,650	t „
Schweden No. 29	= 1 m - 2,8	+ 8,674	t „
Serbien No. 30	= 1 m + 2,8	+ 8,638	t „
Frankreich No. 31	= 1 m + 0,6	+ 8,658	t „
Mittel:		<u>8,653</u>	

Im Jahre 1914 war (nach 25 Jahren) gemäss Art. 6 der Meterkonvention vom 20. Mai 1875 die erstmalige Revision der nationalen Meterprototype fällig geworden. Das schweizerische Prototyp No. 2 wurde am 27. April 1914 dem internationalen Bureau von den Referenten übergeben. Es gelangte am 30. August 1920 wieder in den Besitz des Amtes zurück. Infolge des Weltkrieges konnten die Vergleichen in Sèvres erst im Jahre 1919 begonnen werden. Die ersten Messungen der Prototype No. 2 (Schweiz), No. 3 (Norwegen), No. 17 und 24 (Spanien) mit den Gebrauchsnormalen No. 26 und T_3 des Bureau International ergaben das unwahrscheinliche Resultat, dass die vorerwähnten nationalen Prototype kürzer geworden waren. Die später eingelangten Prototype No. 12 (Belgien), No. 25 (Mexiko), No. 29 (Schweden) usw. bestätigten das erste Ergebnis. Erst die Beziehung des

provisorischen Meters I_2 und des Stabes No. 13, sowie des internationalen Prototyps M ergaben die Aufklärung, dass die Gebrauchsstäbe No. 26 und T_3 des internationalen Bureaus eine scheinbare Längenvergrößerung zeigten, aus zur Zeit nicht völlig aufgeklärten Ursachen, vermutlich aber infolge Änderung der Strichdefinition durch die Reinigung der die Striche tragenden Endflächen.

Über die Ergebnisse der Vergleichen des internationalen Bureaus in den Jahren 1920 bis 1925 gegenüber den Messungen in den Jahren 1888 und 1889 verweisen wir auf die Zusammenstellung im Bericht des Herrn Guillaume anlässlich der Generalkonferenz über Mass und Gewicht in Paris im Jahre 1927. Von besonderem Interesse ist der Umstand; dass das serbische Prototyp (No. 30) keine wesentliche Änderung erlitten hatte, trotz der mehr als unsanften Behandlung¹⁾ bei dem Transport auf dem Rückzug der serbischen Armee.

Die Ausdehnungskoeffizienten der nationalen Prototype waren in den Jahren 1887 und 1888 durch Vergleichung mit dem Meter No. 6, welches zum internationalen Prototyp erklärt wurde, durch die Herren Benoît und Guillaume bestimmt worden. Es hatte sich damals die Schlussfolgerung ergeben, dass wahrscheinlich sehr geringe aber messbare Differenzen zwischen den Ausdehnungskoeffizienten der einzelnen Stäbe bestehen. Spätere Untersuchungen des internationalen Bureaus mit verbesserten Hilfsmitteln und den in 30 Jahren metrologischer Praxis gewonnenen Erfahrungen führten das internationale Bureau zu der Ansicht, dass allfällig bestehende Differenzen in den Ausdehnungskoeffizienten der Stäbe der grossen Serie (Johnson, Matthey & Cie.) innerhalb der Grenzen der erreichbaren absoluten Präzision mit der Komparatormethode liegen. Bereits in der VI. Generalkonferenz im Jahre 1921 gelangte die Frage zur Sprache, aber auch die VII. Generalkonferenz im Jahre 1927 war noch nicht in der Lage, eine definitive Entscheidung über einen endgültigen gemeinsamen Wert des Ausdehnungskoeffizienten zu treffen. Sie musste sich darauf beschränken, festzustellen, dass ergänzende Untersuchungen abgewartet werden müssen und beauftragte das Comité International des Poids et Mesures, mit den Untersuchungen im Laufe der Jahre 1928 und 1929 fortzufahren; sie gab dem Comité International Vollmacht, an den ursprünglichen Certifikaten, eventuell in der Sitzung im Jahre 1929 die erforderlichen Korrekturen vorzunehmen.

¹⁾ Comité International, Procès-Verbaux 1925, Annexe p. 82.

Gleichzeitig wurde darauf hingewiesen, dass in den nationalen Laboratorien an den Prototypen durchgeführte Ausdehnungsmessungen dem internationalen Bureau für seine definitiven Entschliessungen nützlich sein könnten. Dieser Anregung gemäss wurden von den Referenten Ausdehnungsmessungen am schweizerischen Prototyp durchgeführt, über deren Ergebnisse in nachfolgendem kurz berichtet sei.

II. Methode und instrumentelle Hilfsmittel.

Temperatureinheit. — Nach Art. 9 des Bundesgesetzes über Mass und Gewicht vom 24. Juni 1909 ist „die im schweizerischen Mass- und Gewichtsdienst angenommene thermometrische Skala die hundertteilige Skala des Wasserstoffthermometers, welche als Fixpunkte die Temperatur des schmelzenden Eises (0°) und diejenige des Dampfes des siedenden Wassers bei dem atmosphärischen Normaldruck (100°) besitzt.

Der atmosphärische Normaldruck wird dargestellt durch den Druck einer Quecksilbersäule von der Dichte 13,59593, von 760 mm Höhe und unter dem Normaldruck der Schwere.

g_{45} (mittlere geographische Breite) $9,8067 \text{ m/sec}^2$ “.

Nachdem die VII. Generalkonferenz über Mass und Gewicht in Paris am 4. Oktober 1927 den gemeinsamen Entwurf der drei grossen nationalen Institute, der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg, des Bureau of Standards in Washington, des National Physical Laboratory in Teddington, für eine internationale Temperaturskala angenommen und demselben somit internationale Geltung verschafft hatte, passte das Amt seine thermometrischen Normalen diesen Beschlüssen an.

Vom Eispunkt bis zu 660° C gilt die Skala des Platin-Widerstandsthermometers nach der Formel

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) \quad t = ^{\circ}\text{C (Int.)}.$$

Die Konstanten R_0 , A und B sind bestimmt durch die Vergleichen am Eispunkt, Dampfunkt und Schwefelpunkt, gemäss den speziellen detaillierten Spezifikationen¹⁾ für die Herstellung der genannten Fixpunkte.

Der atmosphärische Normaldruck wird dargestellt durch den Druck einer Quecksilbersäule von 760 cm, von der Masse 13,595 g pro cm^3 und unter dem Normaldruck der Schwere ($g_{45} = 980,665$

¹⁾ Comptes Rendus des Séances de la VIIème Conférence Générale des Poids et Mesures, Paris, 1927, p. 94 ff.

cm/sec² entsprechend 1013250 Dyn/cm²). Diese fundamentalen Temperatur-Fixpunkte der internationalen Skala sind in dem in Frage stehenden Temperaturintervall:

Gleichgewichtstemperatur zwischen Eis und luftgesättigtem Wasser bei dem Druck einer normalen Atmosphäre
(Eispunkt) 0,000°

Gleichgewichtstemperatur zwischen Wasser und seinem Dampf bei dem Druck einer normalen Atmosphäre
(Dampfpunkt) 100,000°

$$t_p = t_{760} + 0,0367 (p - 760) - 0,000023 (p - 760)^2$$

Gleichgewichtstemperatur zwischen flüssigem Schwefel und seinem Dampf bei dem Druck einer normalen Atmosphäre
(Schwefelpunkt) 444,60°

$$t_p = t_{760} + 0,0909 (p - 760) - 0,000048 (p - 760)^2.$$

Platinthermometer. — Der Platindraht von 0,1 mm Durchmesser wurde von HERAEUS in Hanau bezogen, unter Angabe des Zweckes mit Anforderung möglicher Reinheit. Damit der Widerstandsdraht die Temperatur über die ganze Länge des Platinprototyps integriert, erhielt das Thermometer die Länge von 100 cm. Bei der ersten Konstruktion wurde ein Isolierstab mit eingedrehten Schraubenwindungen versehen und der Draht lose, unter möglicher Vermeidung jeder Spannung, in den Rillen eingelegt. Das so hergestellte Instrument erwies sich als unbrauchbar wegen nicht ausreichender Konstanz des Nullpunktes, offenbar infolge nicht zu beseitigender Reibungserscheinungen des Drahtes in den Schraubengängen bei wechselnder Temperatur. Die definitive Ausführung bestand aus 6 auf Glimmerkreuze spannungsfrei aufgewickelten in Serie geschalteten Abteilungen von je ca. 10 cm Länge, gleichmässig verteilt auf die Gesamtlänge von 1 m. Die Enden der einzelnen Abteilungen waren miteinander verschmolzen. Die vier Strom- und Spannungsleitungen bestanden aus Golddraht von 0,4 mm Durchmesser und führten zu kupfernen Klemmen. Als Träger für die Glimmerkreuze dienten gläserne Kapillaren; der gemeinschaftliche gläserne Schutzmantel berührt den Platindraht an keiner Stelle. Das fertige Instrument wurde in üblicher Weise durch Erhitzen des Drahtes bis 700° gealtert. Da nur der Eispunkt und der Dampfpunkt für das Instrument zugänglich waren, nicht aber der Schwefelpunkt, wurde aus dem gleichen Draht ein Hilfsthermometer hergestellt und dessen Konstanten in üblicher Weise bestimmt zu:

$$R_t = R_0 (1 + 0,00395078 t - 0,00000058416 t^2).$$

Wie sich aus der Formel ergibt, entspricht der Quotient R_{100}/R_0

und $R_{444.6}/R_0$ nicht vollständig, aber nahezu den verschärften internationalen Anforderungen der Werte 1,390 bzw. 2,645. Der Widerstand des Hauptthermometers beträgt bei 0° 301,37 Ohm. Als Vergleichswiderstand diente ein um einige Prozent grösserer Manganin-Normalwiderstand mit dem Temperaturkoeffizienten $12,5 \times 10^{-6}$.

Kompensationsapparat. — Als Kompensationsapparat diente ein 5 Dekaden-Kurbelkondensator von 16 000 Ohm Widerstand von OTTO WOLFF in Berlin. Die Fehler der Widerstände, soweit sie nicht aus der Rechnung herausfallen, wurden auf 1/10000 genau bestimmt. Der Betriebsstrom im Kompensator betrug 0,1 mA, derjenige im Thermometer 3 bis 4 mA, sodass ca. 1 Volt an den Potentialklemmen des Widerstandsthermometers herrschte bei 12 Volt Betriebsspannung. Das Spiegelgalvanometer von HARTMANN & BRAUN von 850 Ohm Systemwiderstand, einer Empfindlichkeit von 1×10^{-9} Ampère pro 1 mm und 1 m Skalenabstand arbeitete unter den angewandten Verhältnissen im aperiodischen Grenzwiderstand. Eine Temperaturänderung von $0,0001^\circ$ gab einen gerade noch deutlich sichtbaren Ausschlag.

Bei einer Serie von Messungen wurden vergleichsweise die dem Prototyp seinerzeit beigegebenen Tonnelot-Thermometer 4320 und 4318 mitgenommen. Das Mittel der Angaben beider Quecksilberthermometer zeigte gegenüber dem Widerstandsthermometer eine Differenz von $0,002^\circ$, die reichlich innerhalb der bei der Vergleichung zweier gut untersuchter Tonnelot-Thermometer untereinander zu erwartenden Differenz lag. Die Kaliberkorrekturen, sowie diejenigen für den innern und äussern Druck und das Fundamentalintervall waren dabei den Originalcertifikaten des Bureau International entnommen, nachdem die Kontrolle des Fundamentalintervalls bei den Tonnelot-Thermometern 4320, 4318, 4546, 4539 Werte ergeben hatte, die innerhalb der bei diesen Messungen zu erwartenden Fehlergrenzen noch übereinstimmten mit den im Jahre 1885, resp. 1887 von Herrn CH. GUILLAUME im internationalen Bureau ausgeführten Bestimmungen.

Komparator. — Der für die Messungen benützte Dilatationskomparator wurde im Jahre 1914 von der SOCIÉTÉ GENEVOISE in Genf konstruiert. Die Mikroskop-Optik stammt von GOERZ in Berlin. Als Temperaturbad im innern Trog diente Petrol; der äussere Trog enthielt Wasser. Die durch einen Elektromotor angetriebenen Rührturbinen sorgen für so intensive Rührung, dass innerhalb einer Minute der gesamte Inhalt der Petrolfüllung die Turbinen passiert. Zur Heizung des Bades befinden sich im

äussern Wasserbad mit Öl gefüllte Röhren mit zwei Widerständen, die parallel und in Serie geschaltet werden können. Durch passende Vorwiderstände lässt sich die Petroltemperatur während einer 20 Minuten dauernden Mess-Serie bei der Temperatur 37° auf wenige Hundertstel Grad konstant halten. Die Messungen erfolgten bei ca. 2, ca. 18 und ca. 37 Grad. Die Temperatur 2° wurde durch passendes Regulieren einer speziellen technischen Kelvinator-Kühlmaschine hervorgebracht. Das gekühlte Wasser des Kelvinators strömt unter konstantem Druck in den äussern Trog des Komparators; das am Überlauf des Troges abfliessende Wasser wird durch eine elektrisch betriebene Pumpe in die Kühlmaschine zurückbefördert. Die Dilatationsbestimmung erfolgte durch Vergleichung des Prototyps bei den genannten drei Temperaturen mit einem Invarmeter, welches sich auf dem zweiten Tisch des Komparators in Luft, aber mit den erforderlichen Schutzhüllen, befand. Zur Temperaturmessung des Invarstabes dienten Quecksilberthermometer, welche derart in Metallklötze eingebettet waren, dass ein inniger Kontakt mit dem Invarmeter gesichert war. Die Umrechnung auf 18° erfolgte mit dem genau bestimmten Koeffizienten $\alpha_{18} = 1,110 \times 10^{-6}$.

Der als Vergleichsmass benützte Strichabstand am Invarstab beträgt zur Zeit bei 18°: 1 m + 37,7 μ . Der Stab ist 16 Jahre alt; die Längenvergrösserung pro Jahr beträgt nur noch Bruchteile von Mikron, sodass für die Dauer der Messungen die Bezugslänge als konstant betrachtet werden konnte.

Die Mikroskopvergrösserung betrug ca. 90; der Objekt-Objektivabstand ca. 9 cm. Zur Bestimmung der Schraubenwerte der beiden Mikroskope *R* und *L* dienten die ½mm-Intervalle links und rechts der beiden Hauptstriche des Prototyps unter Zugrundelegung der Prototypcertifikatwerte. Es ergaben sich die Schraubenwerte für Mikrometer *L* $1 p = 1,0013_7 \mu$
Mikrometer *R* $1 p = 1,0017_9 \mu$

Die beiden Mikrometerschrauben sind so vorzüglich gearbeitet, dass im Intervall der für die Messungen benützten Schraubenrevolutionen die progressiven Fehler an keiner Stelle den mittleren Fehler von 5 Stricheinstellungen überschreiten.

Barometer usw. — Das Hauptnormalbarometer entspricht dem Typus des internationalen Bureaus in Sèvres. Es wurde von der SOCIÉTÉ GENEVOISE bezogen mit Ausnahme des Barometerrohres, welches im Jahre 1915 von Herrn P. CHAPPUIS vermittelt wurde. Die Reinigung des Quecksilbers, sowie die Rohrfüllung wurde von Herrn CHAPPUIS zusammen mit dem einen Referenten

vorgenommen. Der innere Durchmesser des geschlossenen Schenkels des Barometerrohres beträgt an der Messtelle 36 mm. Die Schwerebeschleunigung wurde auf Grund von Messungen von Herrn NIETHAMMER mit dem Wert

$$\frac{g(\text{Amt})}{g_{45}} = \frac{980,620}{980,665} = 0,999955$$

eingesetzt. Die Ablesung des Barometers geschah mit Kathetometer und Normalstab. Die Temperaturbestimmung der Quecksilbersäule erfolgte in neben dem Barometerrohr angebrachten, mit Quecksilber gefüllten Glasgefässen von gleichem Durchmesser wie das Hauptrohr, an 3 über die gesamte Rohrlänge gleichmässig verteilten Stellen. Die Prüfung des Vakuums erfolgte durch die im obern Teil des Barometerrohres eingeschmolzenen Hilfsglas spitzen. Das vorstehend beschriebene Instrument diente zur Bestimmung der Korrekturen des für die Siedepunktsbestimmungen ausschliesslich benützten Normalbarometers, System Wild-Fuess, von R. FUESS in Berlin (Rohrweite 14 mm). Die Fehler der Druckmessung bei den Siedepunktsbestimmungen sind kleiner als 0,05 mm einzuschätzen. Für die Druckkorrekturen beim Wassersiedepunkt wurde der Dampfüberdruck in der Mitte des Siederohres entsprechend der Höhenlage des Platinthermometers zu Grunde gelegt.

Die zur Herstellung des Eises für die Nullpunktsbestimmung benützte Eismaschine besitzt Petrol als Kältebad zur Vermeidung der Verunreinigung des Eises durch dissoziierte Lösungen. Im Schwefelsiedeapparat wurden Aluminiumzylinder als Strahlungsschutz verwendet in der Ausführung entsprechend den bereits erwähnten internationalen Spezifikationen.

III. Messresultate.

Für die Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten wurden 50 Mess-Serien ausgeführt; 22 Serien bei 18°, die übrigen 28 Serien verteilt auf die Temperaturen 2 und 37°. Sämtliche Serien wurden von den 2 Beobachtern (den Referenten) unabhängig durchgeführt. Die Resultate zeigen bei allen Temperaturen eine systematische Differenz in stets gleichem Sinn, im mittleren Betrage von 0,09 Mikron, offenbar herrührend von verschiedener Strichauffassung. Die Mittelwerte wurden den Rechnungen zu Grunde gelegt. Bei jeder ca. 20 Minuten dauernden Serie wurde das Prototyp 5 Mal, der Invarstab 4 Mal unter die Mikroskope gebracht; eine Erhöhung der Zahl der Vergleichen einer Serie vermindert infolge Er-

müdung des Auges den mittlern Fehler kaum mehr. Während der Seriemessungen wurde der Widerstand des Thermometers ununterbrochen gemessen, unter stetiger Kommutierung des Betriebsstromes. Der Mittelwert dieser Temperaturmessungen wurde der Serie zu Grunde gelegt. Es wurden somit im ganzen das Prototyp 300 Mal und der Vergleichsstab 250 Mal unter die Mikroskope gebracht. Als Resultat ergab sich der Temperaturkoeffizient im Intervall $2 - 37^{\circ}$ zu:

$$(860_3 + 2 \cdot 3_3 t) 10^{-9} \quad (t \text{ in der int. Temperaturskala } ^{\circ}\text{C [Int.]})$$

in befriedigender Übereinstimmung mit den Messungen der Herren PÉRARD und MAUDET am neuen Komparator des Bureau International mit den Prototypen No. 20 und 26.

Bern, den 16. Mai 1929.
