



## Kalibrierschein

Calibration Certificate

**Gegenstand:** Laserinterferometer für Längenmessungen  
*Object:*

**Hersteller:** attocube systems AG  
*Manufacturer:*

**Typ:** IDS 3010  
*Type:*

**Kennnummer:** siehe Punkt 1  
*Serial number:*

**Auftraggeber:** attocube systems AG  
*Applicant:* Königinstr. 11a  
80539 München

**Anzahl der Seiten:** 5  
*Number of pages:*

**Geschäftszeichen:** PTB-5.42-4078116  
*Reference No.:*

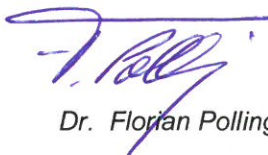
**Kalibrierzeichen:** 54012 PTB 15  
*Calibration mark:*

**Datum der Kalibrierung:** vom 15.12.2015 bis 21.01.2016  
*Date of calibration:*

**Im Auftrag** Braunschweig, 20.05.2016  
*On behalf of PTB*

**Siegel**  
*Seal*

**Im Auftrag**  
*On behalf of PTB*

  
Dr. Florian Pollinger



  
Tobias Meyer

## 1. Kalibriergegenstand

Laserinterferometer für Längenmessungen IDS 3010, Hersteller Fa. attocube GmbH, bestehend aus:

Bezeichnung	Type	Seriennummer
Sensorkopf:	IDS 3010	IDS 3010-A01-0009
Kompensationseinheit:	IDS ECU	ECU-A01-0009

In die Kalibrierung wurde die Kompensation der Einflüsse der Brechzahl der Luft einbezogen.

## 2. Kalibrierverfahren

Zur Kalibrierung werden Vergleichsmessungen zwischen dem zu kalibrierenden Laserinterferometer (im Folgenden "LI" genannt) und einem Normal-LI der PTB durchgeführt. Hierbei werden die Längen der beiden Messstrahlen um den gleichen Betrag und frei von sog. Abbefehlern variiert. Dies geschieht mit Hilfe eines Komparators, der eine spezielle optische Messanordnung aufweist. Kernstück dieser Anordnung ist ein auf einem Messwagen montierter großer Tripelspiegel. Der Strahlengang beider LI ist gefaltet. Die beiden Messstrahlen werden so justiert, dass sie parallel zueinander auf diesen Tripelspiegel auftreffen, dann zu ihren jeweiligen feststehenden Mess-Tripelprismen antiparallel reflektiert werden und schließlich wieder über den großen Tripelspiegel zu den entsprechenden Empfängern der LI geführt werden. Bei dieser Messanordnung verlaufen die beiden zu vergleichenden Messstrahlen quasi im gleichen Strahlkorridor, so dass auf die beiden LI die gleiche Brechzahl und die gleiche thermische Ausdehnung einwirken.

Zur Kalibriereinrichtung gehören von der PTB kalibrierte Präzisionsmessgeräte mit Sensoren zur Bestimmung der Luftparameter (Temperatur, Druck, Feuchte) sowie der Körpertemperatur. Die Temperatursensoren werden in einem thermostatisierten Kupfergehäuse montiert und auf die entsprechende Messtemperatur gebracht.

Die Messwertaufnahme erfolgt statisch in einem Arbeitsbereich von etwa 10 m und in Schritten von 200 mm. Dabei werden die jeweiligen gemessenen Längen beider LI synchron mit Hilfe von externen Triggerimpulsen registriert. Die Luftparameter und die Körpertemperaturen werden synchron dazu aufgenommen.

Aus den dem Normal-LI zugeordneten Luftparametern wird zu jedem Messpunkt die aktuelle absolute Brechzahl der Luft und aus den entsprechenden Körpertemperaturen und dem linearen Ausdehnungskoeffizienten  $\alpha$  die jeweilige thermische Ausdehnung bestimmt. Die korrigierten Längenmesswerte des Normal-LI werden dann aus den gemessenen Inkrementen, der kalibrierten Vakuumwellenlänge, der jeweiligen Brechzahl der Luft und der thermischen Ausdehnung berechnet.

Die mittlere längenabhängige systematische Messabweichung  $\overline{\Delta l}$  des zu kalibrierenden LI wurde mittels der Methode der linearen Regression aus allen Wertepaaren  $[l_{Normal}; \Delta l]$  berechnet.



### 3. Kalibrierbedingungen

Im Zeitraum der durchgeführten Messungen änderten sich am Komparator Luftdruck und relative Feuchte in den folgenden Bereichen:

Luftdruck  $p$ :  $979,1 \text{ hPa} \leq p \leq 1043,2 \text{ hPa}$   
 Luftfeuchte  $rf$ :  $15,6 \% \leq rf \leq 47,7 \%$

Lufttemperatur wurde auf jeweils drei feste Temperaturen eingestellt:

Lufttemperatur  $t_L$ :  $19,09 \text{ °C} ; 20,16 \text{ °C} ; 21,42 \text{ °C}$

Insgesamt wurden bei den drei angegebenen Temperaturen 30 Messreihen á 10 m in 200 mm - Schritten durchgeführt.

### 4. Kalibrierergebnis

Die mit dem IDS 3010 gemessenen Längen weisen gegenüber dem Normal-LI im gemessenen Temperatur- und Luftdruckbereich eine mittlere systematische Messabweichung von

$$\overline{\Delta l} = \begin{cases} 0,0 \cdot 10^{-6} \cdot l & \text{für } l \leq 3 \text{ m} \\ 0,27 \cdot 10^{-6} \cdot (l - 3 \text{ m}) & \text{für } 3 \text{ m} < l \leq 10 \text{ m} \end{cases}$$

auf. Das positive Vorzeichen bedeutet, dass die vom kalibrierten IDS 3010 gemessenen Längen größer sind als die mit dem Normal-LI ermittelten Messwerte. Die erweiterte Messunsicherheit der vom IDS 3010 angezeigten Länge beträgt:

$$U_{\text{Anzeige}} = \begin{cases} \sqrt{(0,084 \mu\text{m})^2 + (0,28 \cdot 10^{-6} \cdot l)^2} & \text{für } l \leq 3 \text{ m} \\ \sqrt{(0,84 \mu\text{m})^2 + (0,42 \cdot 10^{-6} \cdot (l - 3 \text{ m}))^2} & \text{für } 3 \text{ m} < l \leq 10 \text{ m.} \end{cases}$$

Die Messunsicherheit des IDS 3010 lässt sich reduzieren, indem an die angezeigten Messwerte eine Korrektur angebracht wird. Wird die Länge  $l$  aus dem angezeigten Messwert  $l_{\text{Anzeige}}$  mit der Gleichung

$$l = l_{\text{Anzeige}} - \begin{cases} 0,0 \cdot 10^{-6} \cdot l_{\text{Anzeige}} & \text{für } l \leq 3 \text{ m} \\ 0,27 \cdot 10^{-6} \cdot (l_{\text{Anzeige}} - 3 \text{ m}) & \text{für } 3 \text{ m} < l \leq 10 \text{ m} \end{cases}$$

berechnet, so ergibt sich eine erweiterte Messunsicherheit für  $l$  von

$$U_l = \begin{cases} \sqrt{(0,084 \mu\text{m})^2 + (0,28 \cdot 10^{-6} \cdot l)^2} & \text{für } l \leq 3 \text{ m} \\ \sqrt{(0,84 \mu\text{m})^2 + (0,36 \cdot 10^{-6} \cdot (l - 3 \text{ m}))^2} & \text{für } 3 \text{ m} < l \leq 10 \text{ m.} \end{cases}$$

Angegeben ist jeweils die erweiterte Messunsicherheit  $U$ , die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor  $k = 2$  ergibt. Sie entspricht bei einer Normalverteilung

Seite 4 zum Kalibrierschein vom 20.05.2016, Kalibrierzeichen: 54012 PTB 15

*Page 4 of the Calibration Certificate dated 20.05.2016, Calibration mark: 54012 PTB 15*

einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von etwa 95% und wurde gemäß "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" (ISO, 1995) berechnet.

### **Hinweis:**

Die oben angegebenen Messunsicherheiten gelten nur in sehr stabilen Umgebungsbedingungen insbesondere bezüglich der Temperatur. Das hier kalibrierte IDS 3010 besitzt nur einen Temperaturfühler für die Lufttemperatur. Falls entlang des Messweges Temperaturgradienten auftreten, sind diese in der Messunsicherheit zu berücksichtigen.

Dazu folgendes Beispiel: ist der Lufttemperatursensor des IDS 3010 an einer Stelle angebracht, deren Temperatur um 1°C höher liegt als die im Strahlengang effektiv vorhandene, so ergibt sich eine Abweichung der angezeigten Länge von ca.  $-10^{-6}$ .



**Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)** in Braunschweig und Berlin ist das nationale Metrologieinstitut und die technische Oberbehörde der Bundesrepublik Deutschland für das Messwesen. Die PTB gehört zum Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Sie erfüllt die Anforderungen an Kalibrier- und Prüflaboratorien auf der Grundlage der DIN EN ISO/IEC 17025.

Zentrale Aufgabe der PTB ist es, die gesetzlichen Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI) darzustellen, zu bewahren und weiterzugeben. Die PTB steht damit an oberster Stelle der metrologischen Hierarchie in Deutschland. Die Kalibrierscheine der PTB dokumentieren eine auf nationale Normale rückgeführte Kalibrierung.

Zur Sicherstellung der weltweiten Einheitlichkeit der Maßeinheiten arbeitet die PTB mit anderen nationalen metrologischen Instituten auf regionaler europäischer Ebene in EURAMET und auf internationaler Ebene im Rahmen der Meterkonvention zusammen. Dieses Ziel wird durch einen intensiven Austausch von Forschungsergebnissen und durch umfangreiche internationale Vergleichsmessungen erreicht.

**The Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig and Berlin** is the National Metrology Institute and the supreme technical authority of the Federal Republic of Germany for metrology. The PTB comes under the auspices of the Federal Ministry of Economics and Energy. It meets the requirements for calibration and testing laboratories as defined in DIN EN ISO/IEC 17025.

*The central task of PTB is to realize, to maintain and to disseminate the legal units in compliance with the International System of Units (SI). PTB thus is at the top of the metrological hierarchy in Germany. The calibration certificates issued by PTB document a calibration traceable to national measurement standards.*

*PTB cooperates with other national metrology institutes - at the regional European level within EURAMET and at the international level within the framework of the Metre Convention - with the aim of ensuring the worldwide coherence of the measurement units. This aim is achieved by an intensive exchange of the results of research work and by comprehensive international comparison measurements.*