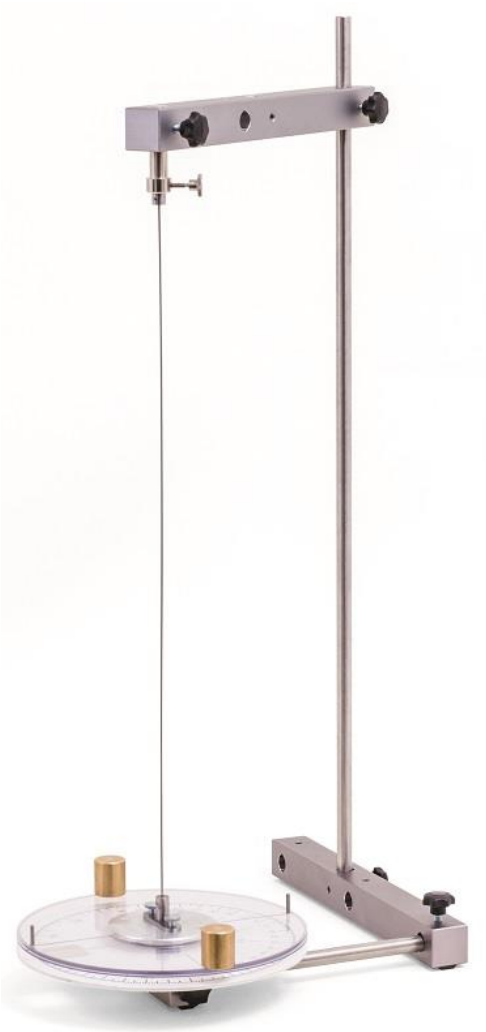
3B SCIENTIFIC® PHYSICS

...going one step further

Torsionsgerät 1018550
Erweiterungssatz zum Torsionsgerät 1018787

Bedienungsanleitung

11/15 TL/UD



1. Beschreibung

Das Torsionsgerät dient zur Bestimmung der Winkelrichtgröße und des Schubmoduls von Metall-Rundstäben aus statischen Messungen des Torsionswinkels und der Torsionskraft sowie aus dynamischen Messungen der Schwingungsdauer des Torsionspendels.

Die Torsionskraft wird über eine Pendelscheibe auf die eingespannte Materialprobe übertragen und der Torsionswinkel und die Torsionskraft mit Hilfe der Skalenscheibe und einem Federkraftmesser bzw. die Schwingungsdauer mit Hilfe einer Lichtschranke und einem Digitalzähler gemessen.

2. Lieferumfang

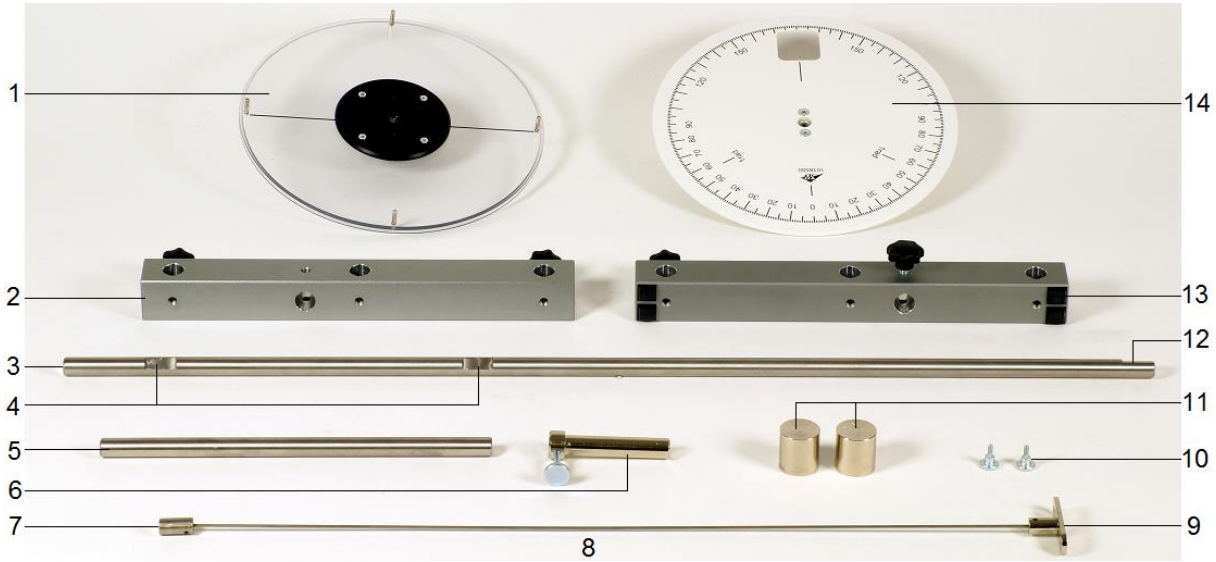


Fig. 1: Lieferumfang.

1 Pendelscheibe mit 4 Aufsatzstiften
2 Obere Traverse
3 Vertikalstange
4 Ausfräsungen für obere Traverse (für Rundstäbe mit L: 500 mm, 300 mm)
5 Querstange
6 Spannhülse
7 Spannhülsenzylinder
8 Rundstab aus Stahl (∅: 2 mm, L: 500 mm)
9 Arretierbügel für Rundstab
10 Befestigungsschrauben für Arretierbügel
11 Aufsatzmassen
12 Ausfräsung für untere Traverse
13 Untere Traverse (mit Gummifüßen)
14 Skalenscheibe

Standplatte für Lichtschranke 1000563 (ohne Abb.)

Das Gerät besteht aus einer Skalenscheibe mit aufgesetzter Pendelscheibe, die über eine Querstange und eine untere Traverse mit einer Vertikalstange verbunden ist. Eine obere Traverse dient zusammen mit einer Spannhülse als Pendelaufhängung. Die Vertikalstange ist mit Ausfräsungen versehen, die als Spannflächen für die Arretierschrauben der Traversen dienen. Obere und untere Traverse richten sich so automatisch in der richtigen Position zueinander aus. Die Pendelscheibe ist mit vier Aufsatzstiften versehen, auf die paarweise symmetrisch die beiden Aufsatzmassen gesetzt werden können.

Die Materialprobe ist ein Rundstab aus Stahl, der an einem Ende mit einem Arretierbügel zur Befestigung an der Pendelscheibe versehen ist, und am anderen Ende mit einem Spannhülsenzylinder zur Befestigung in der Spannhülse. Arretierbügel und Spannhülsenzylinder sind jeweils mit zwei Innensechskantschrauben am Rundstab befestigt.

3. Zusätzlich empfohlen

Erweiterungssatz zum Torsionsgerät 1018787

Lieferumfang:

1 Rundstab aus Stahl (∅: 2 mm, L: 300 mm)
6 Rundstäbe aus Messing / Kupfer / Aluminium (∅: 2 mm, L: 300 / 500 mm)
2 Rundstäbe aus Aluminium (∅: 3 / 4 mm, L: 500 mm)

4. Zusätzlich erforderliche Geräte

1	Präzisions-Kraftmesser, 2 N	1003105
1	Präzisions-Kraftmesser, 5 N	1003106
1	Lichtschranke	1000563
1	Digitalzähler @230 V	1001033
oder		
1	Digitalzähler @115 V	1001032

5. Technische Daten

Torsionsgerät

Rundstab	
Material:	Stahl
Länge:	500 mm
Durchmesser:	2 mm
Aufsatzmasse	
Höhe:	27 mm
Durchmesser:	24 mm
Masse:	100 g
Abmessungen:	ca. 700x400x400 mm^3
Masse:	ca. 2,9 kg

Erweiterungssatz

Material	Durchmesser	Längen
Messing Kupfer Aluminium	2 mm	300 / 500 mm
Aluminium	3 / 4 mm	500 mm

Fig. 3: Montage der Vertikalstange.

6. Inbetriebnahme

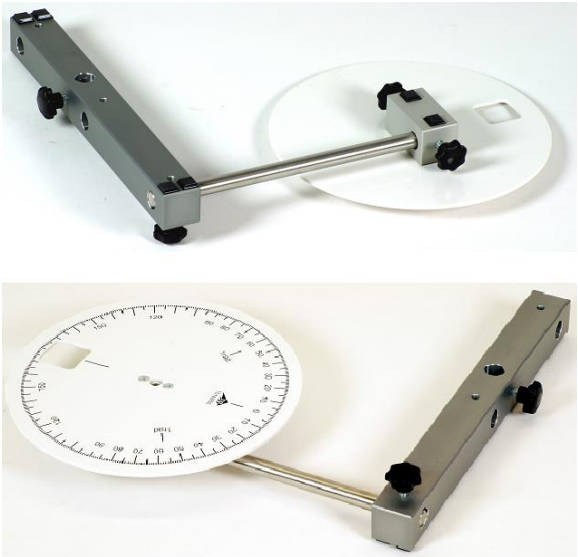


Fig. 2: Montage von Skalenscheibe und unterer Traverse an der Querstange.

Fig. 4: Montage von oberer Traverse (für Rundstab mit L: 500 mm), Spannhülse und Pendelscheibe.

Fig. 5: Aufschrauben des Rundstabs auf die Pendelscheibe mit Hilfe des Arretierbügels und Überstülpen der Spannhülse über den Spannhülsenzylinder.

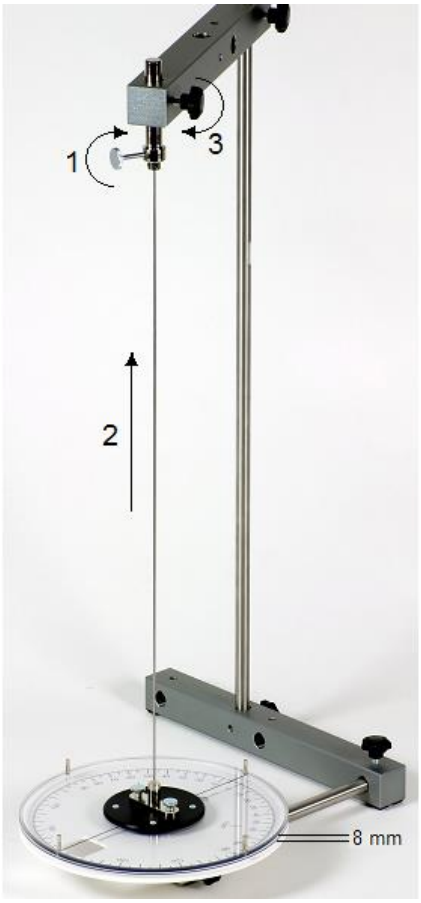


Fig. 6: Fixieren des Rundstabs in der Spannhülse und Einstellung des Arbeitsabstands (≈ 8 mm) zwischen Pendel- und Skalenscheibe.

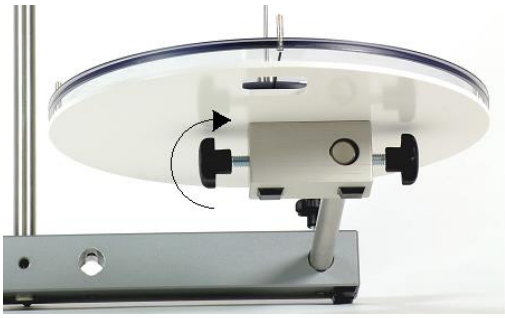


Fig. 7: Fixieren der Pendelscheibe.

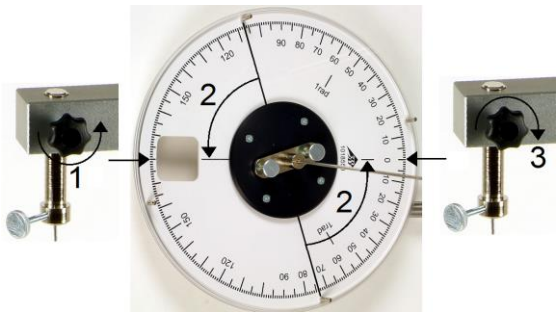


Fig. 8: Justage der Nullstellung der Pendelscheibe.

Wechsel der Rundstäbe

Der Ausbau von Rundstäben am betriebsbereit aufgebauten Torsionsgerät erfolgt umgekehrt zu den in Fig. 6 und Fig. 5 gezeigten Arbeitsschritten, der Wiedereinbau erfolgt genau so wie in Fig. 5 und Fig. 6 gezeigt. Der einmal eingestellte Arbeitsabstand (Arbeitsschritt 2 in Fig. 6) braucht dabei nicht jedes Mal neu eingestellt werden, weil er sich wegen der einmal fixierten Pendelscheibe (Fig. 7) nicht mehr ändert.

7. Bedienung

7.1 Statische Messung

Bei der statischen Messung wird mit Hilfe des Federkraftmessers ein tangential wirkendes Drehmoment auf die Pendelscheibe übertragen.

- Nullpunkt des Federkraftmessers 5 N abgleichen.
- Federkraftmesser 5 N in den Aufsatzstift an der Pendelscheibe einhängen, der sich bei der 0°-Markierung der Skalenscheibe befindet.
- Am Federkraftmesser ziehen, bis die Markierung auf der Pendelscheibe mit der 1 rad – Markierung der Skalenscheibe zur Deckung kommt (Fig. 9). Darauf achten, dass die durch den Federkraftmesser auf die Pendelscheibe ausgeübte Kraft tangential wirkt. Die Markierung auf der Pendelscheibe und die Achse des Federkraftmessers müssen dazu einen 90°-Winkel einschließen.
- Wert für die aufgewendete Kraft am Federkraftmesser ablesen und notieren.

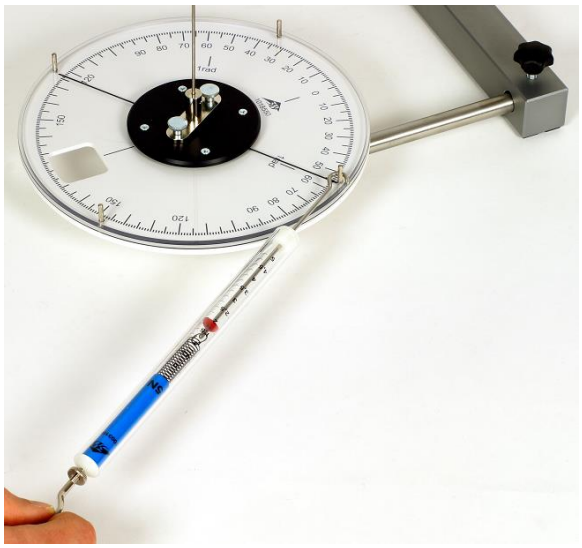


Fig. 9: Statische Messung mit einem Federkraftmesser.

Hinweise:
Nach jeder Messung prüfen, ob die Markierung auf der Pendelscheibe noch mit der 0°-Markierung der Skalenscheibe zur Deckung kommt. Die Pendelscheibe ggf. nachjustieren.

Bei Verwendung von Rundstäben aus dem Erweiterungssatz empfiehlt es sich je nach Länge und Durchmesser der Rundstäbe, eine kleinere Auslenkung zu wählen.

7.2 Dynamische Messung

- Lichtschranke 1000563 auf die Standplatte für Lichtschranke schrauben. Lichtschranke mit daran montierter Standplatte über der Ausfräsung an der Skalenscheibe etwas links oder rechts von der Markierung auf der Pendelscheibe positionieren (Fig. 10).
- Lichtschranke an den Eingang A des Digitalzählers anschließen. Am Digitalzähler den Wahlschalter für die Betriebsart auf das Symbol zur Messung der Periodendauer eines Pendels stellen.
- Pendelscheibe ohne Aufsatzmassen so auslenken, dass die Markierung auf der Pendelscheibe mit der 1 rad – Markierung der Skalenscheibe zur Deckung kommt.
- Am Digitalzähler „Start“ drücken und die Pendelscheibe loslassen. Den ersten aufgenommenen Messwert für die Periodendauer T_0 auf der Anzeige des Digitalzählers ablesen und notieren.

Hinweise:
Bei Verwendung von Rundstäben aus dem Erweiterungssatz empfiehlt es sich je nach Länge und Durchmesser der Rundstäbe, eine kleinere Auslenkung zu wählen.

Die Torsionsschwingungen sind, abhängig von Länge und Durchmesser der Rundstäbe, stark gedämpft, so dass es sich empfiehlt, als Messwert jeweils den ersten vom Digitalzähler aufgenommenen und angezeigten Wert für die Auswertung zu verwenden.

- Die Aufsatzmassen jeweils auf die Aufsatzstifte an der Pendelscheibe setzen, die sich bei den 90°-Markierungen der Skalenscheibe befinden und die oben beschriebende Messung wiederholen. Die Periodendauer T_{02m} des Torsionspendels mit aufgesetzten Massen auf der Anzeige des Digitalzählers ablesen und notieren.

Fig. 10: Dynamische Messung mit einer Lichtschranke und einem Digitalzähler.

8. Messbeispiel

Vom Federkraftmesser ausgeübte Kraft F, um die Pendelscheibe um 1 rad auszulenken:	2,05 N
Periodendauer T_0 des Torsionspendels ohne aufgesetzte Massen:	461 ms
Periodendauer T_{02m} des Torsionspendels mit aufgesetzten Massen:	767 ms

9. Auswertung

9.1 Trägheitsmomente der Aufsatzmassen

Die Aufsatzmassen können in sehr guter Näherung als Vollzylinder betrachtet werden, da die Bohrungen für die Aufsatzstifte vernachlässigbar sind. Das Trägheitsmoment J eines Vollzylinders ist gegeben durch

(1) $J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$.

m: Masse des Vollzylinders
r: Radius des Vollzylinders

Die Trägheitsmomente J_m der Aufsatzmassen folgen aus dem Steiner'schen Satz, da die Aufsatzmassen im Abstand R = 10 cm um die Pendelachse schwingen:

(2)
$$\begin{aligned} J_m &= J + m \cdot R^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 + m \cdot R^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r^2 + 2 \cdot R^2) \end{aligned} .$$

Das Trägheitsmoment J_{2m} beider Aufsatzmassen zusammen ist doppelt so groß:

(3)
$$\begin{aligned} J_{2m} &= 2 \cdot J_m = m \cdot (r^2 + 2 \cdot R^2) \\ &= 100\,\text{g} \cdot ((12\,\text{mm})^2 + 2 \cdot (10\,\text{cm})^2) . \\ &= 0{,}002\,\text{kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

9.2 Statische Messung

Der Federkraftmesser übt im Abstand R = 10 cm von der Pendelachse eine tangential wirkende Kraft F aus und erzeugt so ein Drehmoment M:

(4) $M = R \cdot F$.

Das Drehmoment M ist direkt proportional zur Auslenkung des Torsionspendels um den Winkel φ. Die Proportionalitätskonstante ist die Winkelrichtgröße D:

(5) $M = D \cdot \varphi$.

Aus den Gleichungen (4) und (5) und dem Messwert aus 8. folgt:

(6) $D = \frac{R \cdot F}{\varphi} = \frac{10\,\text{cm} \cdot 2{,}05\,\text{N}}{1\,\text{rad}} = 0{,}205\,\text{Nm}$.

Der Schubmodul G ist eine Materialkonstante, die die lineare, elastische Verformung eines Materials durch eine Scherkraft oder eine Schubspannung quantitativ beschreibt. Er ist für einen Rundstab mit Länge L und Durchmesser d wie folgt gegeben:

(7) $G = \frac{2 \cdot L \cdot D}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^4}$.

Für den Rundstab aus Stahl ergibt sich damit:

(8) $G = \frac{2 \cdot 500\,\text{mm} \cdot 0{,}205\,\text{Nm}}{\pi \cdot \left(\frac{2\,\text{mm}}{2}\right)^4} = 65{,}3\,\text{GPa}$.

Der Wert liegt in der Größenordnung des Literaturwerts (≈ 80 GPa je nach Stahlsorte).

9.3 Dynamische Messung

Die Periodendauer T des Torsionspendels ist allgemein wie folgt gegeben:

(9) $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}} \Leftrightarrow D = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{J}{T^2}$.

J: Trägheitsmoment
D: Winkelrichtgröße

Da das Trägheitsmoment der Pendelscheibe unbekannt ist, wird die Winkelrichtgröße aus der Messung der Periodendauern T_0 und T_{02m} ohne und mit Aufsatzmassen ermittelt (s. 7.2 und 8), bei bekanntem Trägheitsmoment der Aufsatzmassen (s. 9.1). Aus Gleichung (9) folgt:

(10) $D = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{J_{2m}}{T_{02m}{}^2 - T_0{}^2}$.

J_{2m}: Trägheitsmoment der Aufsatzmassen
T_{02m}: Periodendauer mit aufgesetzten Massen
T_0: Periodendauer ohne aufgesetzte Massen

Mit dem in 9.1 berechneten Trägheitsmoment der Aufsatzmassen und den Messwerten aus 8. ergibt sich durch Einsetzen in Gleichung (10):

(11) $D = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{0{,}002\,\text{kg} \cdot \text{m}^2}{(767\,\text{ms})^2 - (461\,\text{ms})^2}$.
$= 0{,}210\,\text{Nm}$

Der Schubmodul folgt aus Gleichung (7):

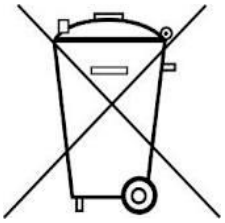
(12) $G = \frac{2 \cdot 500\,\text{mm} \cdot 0{,}210\,\text{Nm}}{\pi \cdot \left(\frac{2\,\text{mm}}{2}\right)^4} = 66{,}8\,\text{GPa}$.

Der Wert liegt in der Größenordnung des Literaturwerts (≈ 80 GPa je nach Stahlsorte).

Die aus der statischen und der dynamischen Messung bestimmten Werte für die Winkelrichtgröße D und den Schubmodul G stimmen bis auf ca. 2% überein.

10. Aufbewahrung, Reinigung, Entsorgung

- Gerät an einem sauberen, trockenen und staubfreien Platz aufbewahren.
- Zur Reinigung keine aggressiven Reiniger oder Lösungsmittel verwenden.
- Zum Reinigen ein weiches, feuchtes Tuch benutzen.
- Die Verpackung ist bei den örtlichen Recyclingstellen zu entsorgen.
- Sofern das Gerät selbst verschrottet werden soll, so gehört dieses nicht in den normalen Hausmüll. Es sind die lokalen Vorschriften einzuhalten.



© Copyright 2015 3B Scientific GmbH