**XI. Ueber den Einfluss der elastischen Nachwirkung und der dauernden Deformation auf Messungen mit Torsionselasticität;
von W. Negbaur.**

Bei Gelegenheit von Untersuchungen über Torsionselasticität, welche angestellt wurden, um die für Zuverlässigkeit (Constanz des Moduls) geeignetsten Bedingungen auszufinden, haben sich einige Resultate allgemeinerer Art ergeben, die ich im Folgenden kurz zusammengestellt und, wo es mir nothwendig erschien, mit einigen Zahlenangaben belegt habe.

1) An Stahl-, Neusilber- und Nickeldrähten erwies sich der Torsionsmodul in weiten Grenzen als unabhängig von dauernden Deformationen. Es wird somit durch Drillung des Drahtes, d. h. durch Verdrehung seiner Endquerschnitte gegeneinander der Modul, welcher durch den individuellen Charakter des Objects einmal gegeben ist, nicht geändert. Die Drehungsmomente wurden an einem horizontal gespannten Drahte ermittelt. Derselbe war in eine Messingröhre eingezogen, an beiden Enden war er eingelöthet; in seiner Mitte trug er eine Scheibe; an der Peripherie derselben wirkte ein mittelst eines Coconfadens angehängtes Gewicht tordirend. Die Winkel wurden mit Fernrohr und Scala gemessen. Nach Bestimmung der Ruhelage und der Spiegelablenkung für eine gewisse Belastung des einen Hebelarms wurde der Draht deformirt. Die neue Gleichgewichtslage war um den Winkel D der dauernden Deformation von der früheren Ruhelage verschoben. Durch Drehung des Gehäuses, womit gleichzeitig der Draht bewegt wurde, konnte die Spiegelebene wieder senkrecht zur Fernrohraxe gestellt werden. Alsdann wurde die Grösse der Spiegelablenkung für dieselbe Belastung von neuem bestimmt. Durch dieses Zurückdrehen des Gehäuses mit dem Draht wird die Beobachtungsweise unabhängig von einer etwaigen Schwerpunktsverlegung.

Folgende Beobachtungsreihe hat sich an einem Neusilberdraht ergeben. In Spalte 2 sind die dauernden Deformationen in Bezug auf die ursprüngliche Ruhelage (absolut), in Spalte 3 in Bezug auf die jeweilig vorausgegangene Ruhelage (relativ) angegeben. Die letzte Columnne enthält die Spiegelablesungen bei der Belastung des einen Hebelarms mit 1 g.

Nr.	Dauernde Deformation in Graden		Anzahl der Scalentheile in mm
	absolut	relativ	
1.	0	0	355,1
2.	"	"	355,1
3.	"	"	355,2
4.	"	"	355,1
5.	0,151	0,151	355,2
6.	"	"	355,2
7.	0,607	0,456	355,3
8.	"	"	355,3
9.	3,917	3,31	356,0
10.	"	"	355,9
11.	9,557	5,64	355,8
12.	"	"	355,6
13.	17,727	8,17	355,6
14.	"	"	355,9
15.	38	20	356,0
16.	"	"	356,0
17.	"	"	356,1
18.	63	25	356,0
19.	"	"	355,5
20.	55,95	-7,05	355,1
21.	"	"	355,3
22.	50,649	-5,301	355,7
23.	"	"	355,5
24.	25	-25	355,5
25.	"	"	355,5
26.	-20	-45	356,0
27.	"	"	355,8
28.	-110	-90	355,6
29.	"	"	355,4
30.	-20	+90	355,5
31.	—	+20	356,0

Bei anderen Versuchsreihen wurde mit demselben Erfolg der Einfluss von Deformationen bis 270° geprüft. Bei Stahldrähten nimmt nach den ersten grösseren Deformationen der Spiegelausschlag um ein geringes zu.

2) An einem und demselben Draht lassen sich in zweckmässiger Behandlung durch gewisse, periodisch wiederkehrende Torsionen dieselben Endzustände sowohl in Bezug auf dauernde

Deformation, als auch auf elastische Nachwirkung herstellen.

Die bekannten Erscheinungen der Accomodation wurden eingehend verfolgt. Wird ein Draht eine bestimmte Zeit hindurch um einen constanten Winkel $+\alpha$ tordirt, so nimmt er nach Ablauf dieser Zeit nicht direct seine neue Ruhelage ein, sondern durchwandert eine erste Strecke schnell, alsdann den Rest der elastischen Nachwirkungsdeformation in verhältnissmässig langer Zeit, um schliesslich seine neue Ruhelage, die um den Winkel D der dauernden Deformation von der ursprünglichen Ruhelage entfernt ist, einzunehmen. Werden die Torsionen um den Winkel $+\alpha$ wiederholt, so wird der Winkel D stets um einen immer kleiner werdenden Zuwachs vergrössert¹⁾, ausserdem wird das Gebiet der elastischen Nachwirkung stets verkleinert und die Geschwindigkeit, mit der sie verläuft, nimmt ab. Nach einer gewissen Anzahl von Torsionen $+\alpha$ ändert sich der Winkel D nicht mehr, alsdann ist auch meistens der Winkel N der elastischen Nachwirkung schon sehr klein geworden. Die Accomodation ist eingetreten. Die Winkel D und N sind jederzeit durch eine bestimmte Anzahl Torsionen α wieder zu erlangen. Es kommen daher einem jeden Torsionswinkel α ganz bestimmte Winkel D und N zu.

Zur Beobachtung war ein Draht belastet vertical aufgehängt. Mit Fernrohr und kreisförmig gebogener Scala konnten Winkel bis 70° beobachtet werden. Torsionen in der Richtung $+\alpha$ um Winkel, die kleiner als α selbst sind beeinflussen die Werthe D und N nicht, solche, die grösser sind, vergrössern D und N . Eine geringe Torsion in der $+\alpha$ entgegengesetzten Richtung verschiebt den jeweiligen Accomodationszustand und ist daher zu vermeiden. Durch eine starke Oeldämpfung habe ich eine Schwingungsbewegung des Drahtes über seine ursprüngliche Ruhelage hinaus verhindert.

3) Geringe Constanz der Accomodation. Bleibt ein accomodirter Draht mit derselben Belastung in derjenigen

1) Die Winkel α und D sind von der ursprünglichen Ruhelage aus gerechnet.

Lage, in welcher er accomodirt worden, so ändern sich die Accomodationswerthe mit der Zeit kaum merklich. Jede Lagenänderung aber, sowie jede Verringerung der Belastung hebt die Accomodation ganz oder zum Theil wieder auf.

4) Durch sehr lange fortgesetzte Torsionen um den Winkel α ist es mir gelungen, die elastische Nachwirkung ganz zum Verschwinden zu bringen. Alsdann ist Winkel $N=0$ und der Draht dreht sich nach Aufhebung der Torsion sofort in seine neue Ruhelage D .

Der von F. Braun¹⁾ aufgestellte Satz: „Ein Körper, welcher gleichzeitig zwei temporäre Deformationen nach zwei voneinander unabhängigen Richtungen A und B erfährt, behält eine grössere permanente Deformation nach der Richtung A , als wenn nur die temporäre Deformation in der Richtung A allein gewirkt hätte“, ist somit für das ganze Gebiet der elastischen Nachwirkung gültig. Die Auffassung von G. Wiedemann²⁾, dass dieser Satz sich wohl nur auf die Accomodationsperiode beziehen könne, fällt nun mit obiger zusammen.

5) Drähte von gleichen Dimensionen und gleichem Material lassen sich bezüglich der Nachwirkung nicht auf gleiche Zustände bringen. Selbst die dauernden Deformationen zeigten an fünf aus einem einzigen Stück Neusilberdraht hergestellten Versuchsobjecte Differenzen von 5–10 Proc. Jedes Drahtstück ist daher als ein Individuum aufzufassen, welches sich auf eine ihm eigenthümliche Weise accomodirt.

6) Die Anzahl der Torsionen α , welche nothwendig sind, um einen Draht zu accomodiren, ist unabhängig von seinem Durchmesser.

Durchmesser	0,27	0,31	0,4	0,43	0,52	0,6	0,7	0,8	0,9
Anzahl der Torsionen α }	6 u. 7	6 u. 7	9 u. 10	7 u. 8	6 u. 7	6 u. 7	7 u. 8	6 u. 7	6 u. 7

Als Zeichen der eingetretenen Accomodation wurde der erste constante Werth der dauernden Deformation an-

1) F. Braun, Pogg. Ann. 159. p. 382 u. f. 1876.

2) G. Wiedemann, Wied. Ann. 6. p. 509. 1879.

genommen. Zum Beispiel änderte sich der Werth D des Drahtes vom Durchmesser 0,27 nach der sechsten Torsion nicht mehr. In diesem Accomodationszustand besitzt die elastische Nachwirkung noch eine gewisse Grösse, die aber in erster Linie von dem Charakter des Drahtes abhängt, somit bei Anwendung verschiedener Drähte kein Maass für die Accomodation abgeben kann. Nach 4) ist der Accomodationswerth der Nachwirkung selbst = 0.

7) Die dauernden Deformationen eines Drahtes sind seinem Querschnitt proportional. Für einen Torsionswinkel $\alpha = 140^\circ$ sind in der folgenden Tabelle die Beobachtungen wiedergegeben. In Spalte 2 sind für jeden Durchmesser drei Werthe der Spiegelablenkungen verzeichnet. In Columne 3 ist der Mittelwerth der drei Beobachtungen in Grade umgerechnet angegeben.

Draht- durchmesser	Ausschlag in cm			Mittelwerth in Graden
0,135	3,8;	3,9;	5,1	1,2
0,215	4,0;	3,9;	2,5	0,9
0,255	11,1;	11,3;	10,1	3,1
0,355	19,0;	18,0;	18,3	5,1
0,412	29,9;	28,2;	28,5	8,2
0,450	42,4;	34,0;	36,8	10,8
0,525	56,9;	56,7;	56,1	16,0
0,575	55,7;	55,6;	55,9	15,9
0,701	92,8;	91,8;	93,2	26,1
0,725	108,4;	105 ;	104,6	29,6
0,805	117,0;	116,8;	119,9	33,2
0,850	130,1;	128,9;	130,2	37,1
0,925	150,2;	150,0;	149,8	42,8

Grössere Uebereinstimmung der Einzelbeobachtungen, sowie der Werthe D liess sich trotz vieler Versuche nicht erzielen. Für einen Torsionswinkel $\alpha = 125^\circ$ ergab sich eine Bestätigung des Gesetzes.

8) Bei Messungen mit Torsionselasticität wird man zweckmässig so verfahren. Man hänge den Neusilber- oder Nickeldraht, der, wenn möglich, von geringem Querschnitt sein soll, für die Dauer von einigen Tagen mit dem doppelten oder mehrfachen Betrag desjenigen Gewichtes, welches er bei der Messung selbst tragen soll, belastet auf. Vor der Beobachtung tordire man den Draht 2—3 mal abwechselnd um einen bedeutenden Winkel nach beiden Seiten. Hierdurch macht man sich von den kleinen Störungen unabhängig, die oft durch unregelmässige Molecüllagerung, eine kleine Verletzung der Drahtoberfläche¹⁾ und aus anderen ähnlichen Ursachen entstehen. Die Grösse der Torsion hängt von Länge und Querschnitt ab. Ich habe einen 50 cm langen, 0,37 cm dicken Draht mit wahrnehmbarem Erfolg um 45° tordirt. Es ist aber nothwendig, dass die letzte Torsion in demselben Sinne vor sich geht, wie bei der endgültigen Beobachtung. Wird der Draht längere Zeit nicht verwendet, so ist es zweckmässig, ihn nur mit geringem Gewicht zu belasten, doch so weit wie möglich in der Lage zu erhalten, die er bei den Messungen einnimmt.

Tübingen, Physikal. Inst., Februar 1891.

1) Zum Beispiel an den Stellen, wo der Draht eingeklemmt oder gelöthet ist.