

LEHMANN & MICHELS

HAMBURG-ALTONA

Erste Spezialfabrik für technische
Meßgeräte und Fein-Armaturen



Telegr.-Adr.: Indikatormann Altona
Fernsprecher: D 3 Holstein 0941-42

Torsionsindikator und Leistungsmesser

nach Prof. Dr.-Ing. H. Föttinger

zur Messung des Drehmoments und der Leistung rotierender Wellen

(D. R. P. und D. R. P. a.)



Entstehung des »Torsionsindikators«. Um die Wende des Jahrhunderts steigerte sich das Bedürfnis, für die Messung der Effektivleistung von Kolbenmaschinen und Dampfturbinen ein dem alten Dampfdruckindikator ebenbürtiges Verfahren zu finden, andererseits den genauen Verlauf der gefährlichen Torsionsschwingungen und zugehörigen Wellenbeanspruchungen messend zu verfolgen. Anfängliche Versuche, diese mechanischen Größen durch physikalische und elektro-chemische Verfahren zu bestimmen, wurden bald durch eine Erfindung überholt, deren Einzelheiten auch heute noch in größerem oder geringerem Umfange allen ähnlichen Geräten des In- und Auslandes zugrunde liegen.

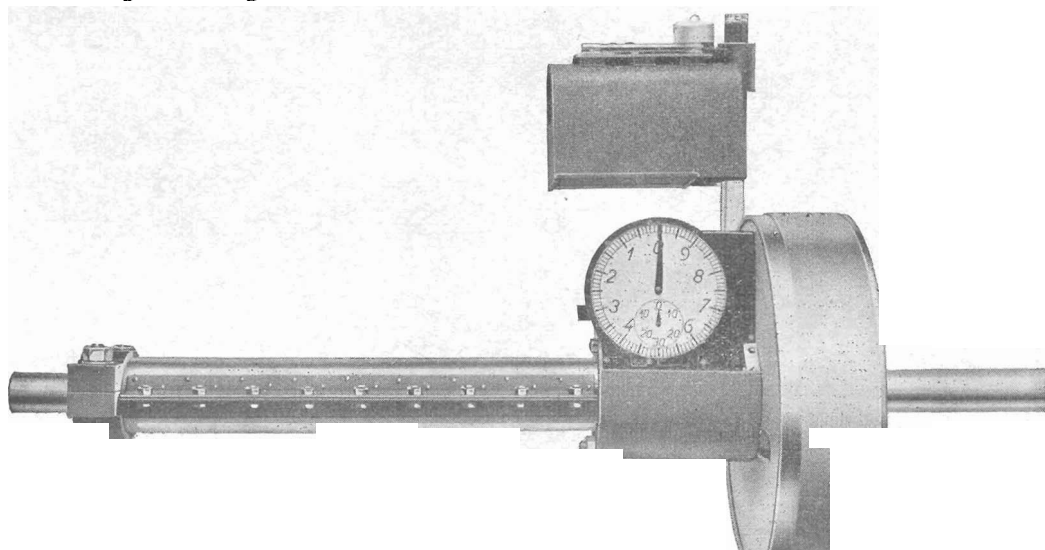


Abb. 1.

Es war der 1901 geschaffene Torsionsindikator von Professor Föttinger, damals Konstrukteur der Stettiner Vulcan-Werft. Dieser Apparat löste die Aufgabe, je nach Wunsch das resultierende Drehmoment oder den Verlauf seiner Schwankungen und Beanspruchungen selbsttätig, ohne Zuhilfenahme von Meßfedern oder Einschalt-Dynamometern, einfach aus der Verdrehung (Torsion) der Betriebswellen, an einer Skala oder in Form eines Indikator-Diagrammes mit einer Genauigkeit und Einfachheit aufzuzeichnen, welche die des

Dampfindikators wesentlich übertraf. Durch die Benutzung der Betriebswelle als Meßfeder fiel jede Wellenunterbrechung, jeder Einbau von federnden Zwischengliedern, Bändern oder Zahnrädern, und damit auch jeder Energieverlust und jede Störungsmöglichkeit durch solche Teile von vornherein weg.

Nach ausführlichen Vergleichsversuchen (vgl. Literaturangabe am Schluß) mit elektrischen, optischen und mechanischen Anzeigevorrichtungen entschied sich Prof. Dr. Föttinger für den mechanischen Torsionsindikator, der an Uebersichtlichkeit, Genauigkeit und Unempfindlichkeit im rohesten Betriebe alle anderen Möglichkeiten weit übertraf. Die Montage, Justierung, Instandhaltung und Ablesung des Gerätes kann von jedem Fabrik-schlosser leicht und schnell bewerkstelligt werden.

Auf Grund dieser Konstruktionsidee haben sich, zum Teil unter anderen Bezeichnungen, die Föttinger-schen Torsionsindikatoren in Tausenden von Ausführungen in Deutschland, England, Amerika, Japan und anderen Industrieländern seit 25 Jahren glänzend bewährt. Es wurden mit ihnen eine Reihe wichtiger und grundlegender Untersuchungen auf Kriegs- und Handelsschiffen an Kolbenmaschinen und Turbinen vor-genommen, und in den folgenden Jahren zahlreiche Schiffe der deutschen und ausländischen Kriegs- und Handelsmarine mit ihnen als Standard-Gerät ausgerüstet, sowie Hochschulen, Laboratorien, Prüffelder, Maschinen-bauanstalten und Walzwerke beliefert. Sie haben es in erster Linie ermöglicht, daß seitdem die effektive Maschinenleistung als Norm anstelle der früheren indizierten Leistung getreten ist.

Neue Aufgabenstellungen haben sich aus den wirtschaftlichen Nöten der Nachkriegsjahre ergeben: In der verschärften Betriebskontrolle durch übersichtlich anzeigende Instrumente hat man eines der grundlegenden Mittel zur Hebung der Wirtschaftlichkeit der Betriebe erkannt. **Wie merkwürdig aber,** daß die kleinsten Lichtanlagen über elektrische Leistungszähler, vielfach auch über Strom-Meßgeräte verfügen, während größte Betriebe den effektiven Leistungsbedarf ihrer verschiedenen Transmissionsstränge, ihrer Einzelmaschinen bis heute unkontrolliert lassen! Von systematischer Zählung des effektiven Verbrauches garnicht zu reden!

Zweifellos war dieser Mangel bisher zum Teil in den zu teuren Konstruktionsformen der Torsions-indikatoren und Leistungsmesser begründet. Dem Bedürfnis nach verbesserter Betriebskontrolle entsprechend hat daher Professor Föttinger in den letzten Jahren die Originalkonstruktionen wesentlich vereinfacht und ver-billigt und zunächst einen verbesserten Leistungsmesser, in schwierigen Fällen mit regulierbarer Mittelwert-vorrichtung, herausgebracht, dem bald auch ein Torsionsleistungszähler folgen wird.

Der neue verbesserte Apparat (Abb. 1) faßt 30-jährige Konstruktions-, Herstellungs- und Betriebs-erfahrungen mit neuartigen Ideen zusammen. Für das gesamte in Frage kommende Gebiet mit Wellen-durchmessern von 50 bis 625 mm sind 9 Größen vorgesehen, deren Einzelteile, zum Beispiel Skalen, Meß-gehäuse, Gestänge usw. unter einander weitgehend vereinheitlicht sind, um Serienherstellung zu ermöglichen.

Sämtliche Teile, einschließlich Skalen, laufen mit der Welle um. Dadurch entfallen die teuren Funda-mente für feste Anzeigevorrichtungen, die Rücksichten auf örtliche Verhältnisse, auf Verlagerung der Wellen durch Wärmedehnung, Längsverschiebung durch Schraubenschub und Schwingungen oder Schlagen der Wellen, endlich ein erheblicher Teil der Montagekosten. Die Messung wird gegen diese Einflüsse unempfindlicher und daher genauer.

Durch geschickte Ausbildung der Gußteile wird ein geschlossenes, gefälliges Aeußere erzielt und ein teures Schutzgehäuse vermieden. Es genügt dafür ein einfaches Geländer im Bereiche der Skala. Die Aus-führung der Gußteile in Leichtmetall (Silumin bzw. Elektron) verringert das Gewicht noch weiter und erhöht andererseits die Eigenschwingungszahl der Apparate selbst auf über 7000 bis 20000 pro Minute, auf Wunsch noch höher.

Originell ist die höchst einfache Ablesung der umlaufenden Skala; sie beruht auf der Beobachtung, daß auch fliegende Geschosse an denjenigen Punkten ihrer Bahn mit bloßem Auge bequem sichtbar sind, an denen sie angenähert tangential auf das Auge zu oder von ihm weg fliegen. Gegenüber der üblichen

»Stroboskop-Ablesung« mancher Torsionsmesser und Dynamometer ist die Zeit, in der das Bild der Skala für den Beobachter sichtbar ist, beim vorliegenden System auf das 100 bis 1000fache erhöht, die Ermüdung des Auges daher beseitigt. Außer einem Beleuchtungsschirm mit normaler Osram-Soffittenlampe kommen keinerlei optische Hilfsmittel, wie Linsen, Prismen oder Fernrohre zur Verwendung. Die Genauigkeit der Ablesung ist durch Aufteilung in eine Haupt- und eine Dezimalskala erhöht.

Die Gesamtausführung des Apparates ist, den Erfahrungen des Erfinders im Schiffsbetriebe entsprechend, äußerst solide und robust; zum Unterschied von anderen empfindlich gebauten Meßgeräten ist er allen Anforderungen groben Betriebes und allen Zufällen bei Versand und Montage gewachsen. Der durch Jahrzehnte begründete Weltruf der Herstellungsfirma auf dem Gebiete des Präzisions-Instrumentenbaues bürgt für gewissenhafteste Ausführung, Verwendung hochwertigster Materialien, sowie modernste Herstellungsverfahren und gewährleistet Zuverlässigkeit, Güte und hohe Lebensdauer der Apparate.

Beschreibung und Wirkungsweise. Das Prinzip des Föttinger-Indikators beruht darauf, die Verdrehung eines Wellenstückes von ca. 0,5 bis 2 m Länge mechanisch zu vergrößern und im festen Raume sichtbar zu machen. Der Verdrehungsbogen ist nach den Gesetzen der Festigkeitslehre bei allen Sorten schmiedbaren Eisens und Stahles dem wirkenden Drehmoment genau proportional. Der Schubmodul des Materials ist durch zahlreiche, übereinstimmende Versuche in allen Ländern genau bekannt (vgl. Literaturangaben).

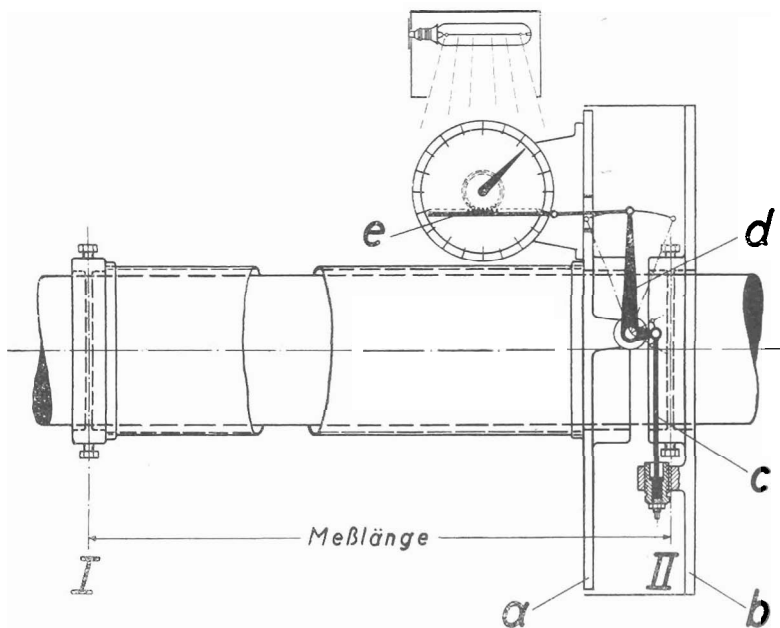


Abb. 2.

Die Wirkungsweise der Apparate geht aus der schematischen Abbildung 2 hervor. Ein steifes Meßrohr von bestimmter Länge ist bei *I* fest auf die Welle geklemmt und überträgt die augenblickliche Stellung des Wellenquerschnittes *I* auf die am freien Ende befindliche Scheibe *a*. Unmittelbar daneben ist bei *II* die Scheibe *b* auf der Welle befestigt. Verwindet sich die Welle nun unter dem Einfluß einer Belastung, so wird die Relativverdrehung der Wellenquerschnitte *I* und *II* an den Scheiben *a* und *b* sichtbar. Der Verdrehungsbogen wird durch den Gabelhebel *c* aufgenommen, durch den ungleicharmigen Winkelhebel *d* im Verhältnis 1 : 7 vergrößert und auf die Zahnstange *e* übertragen, die in ein Ritzel der Zeigerwelle

eingreift und einen Ausschlag des Zeigers hervorruft. Bei der wirklichen Ausführung der Apparate ist die Skala, wie erwähnt, zur Erhöhung der Meßgenauigkeit in eine Haupt- und eine Dezimalskala unterteilt. Der große Zeiger gibt die Einer und die erste Dezimale an, während der kleine die Zehner anzeigt.

Je nach dem Standort des Beobachters und dem Drehsinn der Welle wird die Beschriftung der großen Skala im Drehsinne des Uhrzeigers oder entgegengesetzt angeordnet (vgl. den beigegefügte Fragebogen). In jedem Falle schlagen die Zeiger naturgemäß nach der anderen Seite aus, sobald die Welle ungesteuert wird (Rückwärtsfahrt von Schiffen). Der kleine Zeiger bestreicht dann die Ziffern 0, 10, 20, 30 auf der anderen Hälfte der kleinen Skala. Auch für den großen Zeiger könnte eine zweite Beschriftung, entgegengesetzt der ersten von 0 bis 9 angebracht sein. Da die Ablesung jedoch bei Rückwärtsfahrt nur in sehr seltenen Fällen vorgenommen wird, ist hierauf verzichtet, wodurch ein klareres und deutlicheres Bild der Skala erhalten bleibt. Es muß daher beim großen Zeiger bei Rückwärtsfahrt die Differenz gegen 100 gebildet werden.

Mittelwertindikatoren für besonders stark schwankendes Drehmoment. Für Anlagen mit besonders ungleichförmigem Drehmoment, erzeugt durch die Antriebsseite (Kolbendampf- oder Dieselmachine) oder durch die Arbeitsseite (Pumpe, Propeller) oder auch beide, erhält der Apparat einfache Einrichtungen mit verstellbarer Anpassung an den Betrieb mit starken Stößen oder Torsionsschwingungen, die es ermöglichen, am Zeiger das mittlere Drehmoment einer oder mehrerer Umdrehungen abzulesen. Der vom Erfinder entwickelte verbesserte Mittelwertindikator besitzt eine auswechselbare elastische Uebertragung, ein beschleunigt laufendes Schwungrad und eine Sicherheitseinrichtung, die auch bei stärksten Schwingungen und Torsionsstößen unzulässige Beanspruchungen verhindert. Sämtliche Teile sind gegenüber älteren Modellen wesentlich vervollkommenet und so kompendiös durchgebildet, daß sie nachträglich in das Ablesegehäuse eingebaut und ebenso leicht wieder entfernt werden können. Durch den neuen Indikator werden die unvermeidlichen Meßfehler der elektrischen und optischen Torsionsmesser mit Punktablesung völlig beseitigt.

Raumbedarf. Den Raumbedarf der mit der Welle umlaufenden Teile gibt die nachstehende Zahlentafel mit der zugehörigen Abbildung 3 an. Die Maße L bzw. L_B müssen jedoch durch besondere Anfrage mittels des beiliegenden Fragebogens festgestellt werden.

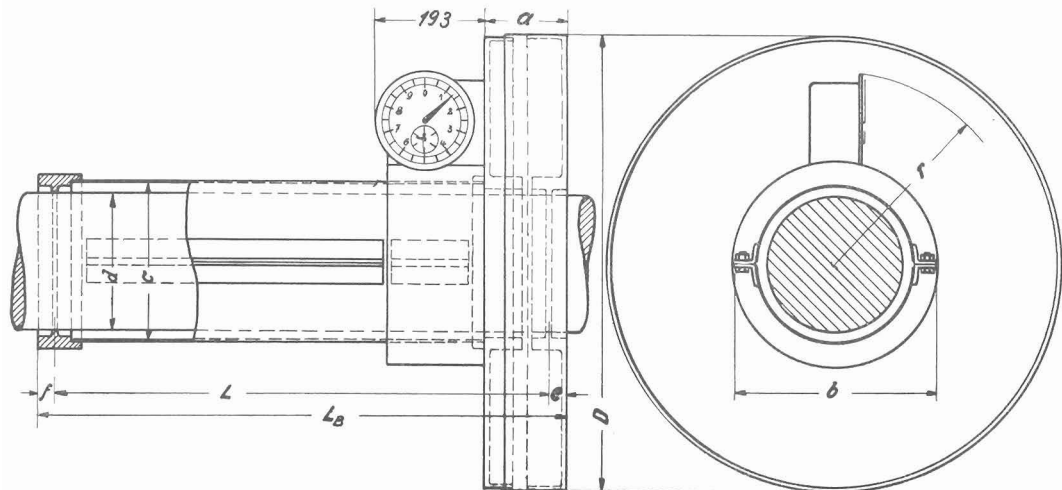


Abb. 3.

Größe	Wellen $\varnothing d$	D	a	b	c	e	f	r
1	50—70	420	100	138	88	21	18	210
2	70—100	560	100	170	120	24	21	238
3	100—140	720	130	220	160	24	21	258
4	140—190	860	130	270	210	27	24	326
5	190—250	1020	140	360	280	34	30	316
6	250—320	1150	140	430	350	34	30	375
7	320—400	1280	160	510	430	40	35	425
8	400—500	1360	160	610	530	40	35	465
9	500—625	1440	160	740	660	40	35	505

Formeln und Auswertung. Auf dem Nummernschild des Apparates ist eine durch Eichung genau ermittelte Konstante C angegeben. Wird bei der minutlichen Drehzahl n der Zeigerausschlag A abgelesen, so ist die übertragene effektive Leistung

$$N = C \times n \times A \text{ in PS}$$

z. B. $C = 0,007$; bei $n = 400$ wird abgelesen $A = 21,7$; dann ist

$$N = 0,007 \times 400 \times 21,7 = 60,8 \text{ PS}$$

oder $C = 6,3$; bei $n = 200$ wird abgelesen $A = 26,2$; dann ist

$$N = 6,3 \times 200 \times 26,2 = 33000 \text{ PS.}$$

Bei Anlagen mit nahezu konstanter Drehzahl faßt man C mit n zusammen zu

$$C_1 = C \times n$$

und erhält

$$N = C_1 \times A \text{ in PS.}$$

Der Apparat kann daher in diesem Falle auch unmittelbar zur Anzeige der übertragenen effektiven Pferdestärken oder Kilowatt eingerichtet werden.

Das übertragene Drehmoment ergibt sich aus

$$M_d = 716 \times C \times A \text{ in mkg.}$$

Sonderausführungen. Für Laboratorien und Prüfstände können Sonderausführungen mit auswechselbaren Einsätzen geliefert werden, die das Anpassen an jeden beliebigen Wellendurchmesser ermöglichen. Zur selbsttätigen Aufzeichnung besonders stark schwankender Drehmomente, z.B. im Falle der Einzelerforschung von Torsionsschwingungen oder Anfahrvorgängen, können die bewährten Apparate mit Diagrammaufzeichnung in verbesserter Form bezogen werden. Für Motorprüfstände usw. können zur Mittelwerteinrichtung auswechselbare Teile zur Anpassung an die verschiedenen Betriebsverhältnisse geliefert werden.

Zusammenfassung der Vorteile.

1. Messung direkt aus der Verdrehung der Betriebswelle, ohne Unterbrechung oder Zwischenschaltung von Federn, elastischen Bändern, Zahnrädern usw., daher keine Energieverluste, kein Vernichten der Leistung wie bei Bremsen.
2. Keine Kraftübertragung durch den Apparat, daher keine Betriebsstörung (Wellenbruch, Durchgehen) durch ihn möglich.
3. Sämtliche Teile mit der Welle umlaufend, keine Verbindung mit dem ruhenden Raum, daher billige Montage, kein Einfluß von Verlagerungen.
4. Einfachste Ablesung durch den Maschinisten an einer Skala, ohne Diagrammschreiben und Auswerten, ohne photographische, optische oder elektrische Hilfsmittel, die komplizierend wirken und Versagerquellen sind.
5. Anzeige des mittleren Drehmomentes auch bei stärkeren periodischen Schwankungen.
6. Aufteilung in Haupt- und Dezimalskalen, daher große Genauigkeit der Ablesung.
7. Beschädigung des Uebertragungswerkes durch eingebaute Sicherheitsvorrichtungen unmöglich.
8. Robuste, maschinenmäßige Bauart, allen Zufällen des Transportes, der Montage oder groben Betriebes gewachsen.
9. Geringstes Gewicht, da Leichtmetallguß.
10. Zweiteilung des Apparates, daher leichte Montage auf jeder Betriebswelle ohne Ausbau derselben.
11. Vorbildung des Personals für Montage und Ablesung nicht erforderlich.
12. Lieferbar für jeden Wellendurchmesser zwischen 50 und 625 mm.

Versand und Montage. Die Apparate werden vor dem Versand geeicht, fertig eingestellt und darauf durch Passbolzen justiert und in zwei Teile zerlegt, die sich auf die fertig eingebaute Betriebswelle aufsetzen lassen. Der Zusammenbau kann von jedem geschickten Schlosser oder Maschinisten anhand der ausführlichen Montagevorschrift vorgenommen werden. Die weitere Montage erstreckt sich lediglich auf die Anbringung eines einfachen Schutzgeländers und des mitgelieferten Beleuchtungsschirmes mit Anschluß an das Lichtnetz.

Literatur.

1. Föttinger, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1903: „Effektive Maschinenleistung und effektives Drehmoment und deren experimentelle Bestimmung“. Auszug in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 1902, Heft 49, Seite 1868.
 2. Föttinger, Dissertation gleichen Titels, erschienen als Forschungsheft Nr. 25 des Vereins Deutscher Ingenieure.
 3. Föttinger, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1905: „Die neuesten Konstruktionen des Torsionsindikators und deren Versuchsergebnisse“. Auszug in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1904, Heft 48, Seite 1825.
 4. Föttinger, Zuschrift über Verdrehungsschwankungen bei Turbinenschiffen, Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 1908, Heft 23, Seite 937.
Betr. Messung des Schubmoduls vergl.: 2) Anhang S. 93; 3) Jahrbuch S. 171; ferner auch
 5. Frahm, „Neue Untersuchungen über die dynamischen Vorgänge in den Wellenleitungen von Schiffsmaschinen mit besonderer Berücksichtigung der Resonanzschwingungen“, Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 1902, Seite 801.
-