

Title	Der Einfluss der Probenlänge bei der Lebensdauerprüfung von Federmaterial (im Sinne der Längenabmessungseffekte allein)
Sub Title	
Author	水野, 正夫(Mizuno, Masao)
Publisher	慶應義塾大学藤原記念工学部
Publication year	1959
Jtitle	Proceedings of the Fujihara Memorial Faculty of Engineering Keio University Vol.12, No.47 (1959. ) ,p.222(46)- 226(50)
JaLC DOI	
Abstract	It was as usual that to the investigation of the size effect of material testing, geometrically similar test pieces were used. In this paper, the author describes the statistical method explaining size effect of length only, and ascertained this method with the experimental fatigue test results of the material of the mainsprings for clocks.
Notes	The twentieth anniversary memorial volume
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001004-00120047-0046">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001004-00120047-0046</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

# Der Einfluss der Probenlänge bei der Lebensdauerprüfung von Federmaterial (im Sinne der Längenabmessungseffekte allein)\*

(Received Feb. 11, 1960)

Masao MIZUNO\*\*

## Abstract

It was as usual that to the investigation of the size effect of material testing, geometrically similar test pieces were used. In this paper, the author describes the statistical method explaining size effect of length only, and ascertained this method with the experimental fatigue test results of the material of the main-springs for clocks.

## I. Einleitung

Die Feder in einem gegebenen Raum eine möglichst grosse Formänderung aufnehmen kann, werden ihre Blätter oder sonstigen Elemente entsprechend lang; ferner gehen die Fortschritte des modernen Entwurfes dahin, die im Betrieb auftretende Wechsellastspannung auf die ganze Länge gleichförmig zu verteilen. Dabei ist als theoretische Verknüpfung der Dauerfestigkeit der Feder und der Ergebnisse der Dauerprüfung der Elemente die statistische Untersuchung der Wirkung der Längenabmessungen allein vorteilhaft. Bis jetzt gibt es in der Untersuchung über die Wirkung der Abmessungen kein Beispiel für die getrennte Untersuchung der Querabmessungen und der Länge. Natürlich hat auch die Methode ihre Vorteile, sämtliche Abmessungen ähnlich zu vergrössern und die Abnahme der Festigkeit experimentell zu untersuchen; jedoch lassen sich bei der Wirkung der Querabmessungen unterschiedliche Bedingungen der Herstellung und der Wärmebehandlung von Stück zu Stück kaum vermeiden, und auch in Hinsicht auf die Tatsache, dass man den Einfluss der Oberflächenfestigkeit und der Spannungsverteilung und andere komplizierte Faktoren berücksichtigen muss, hat sich aus der Untersuchung des Verfassers die Einsicht ergeben, dass in gewissem Grade eine rechnerische Behandlung möglich ist, wenn man nur den Einfluss der Länge betrachtet und diesen statistisch untersucht.

---

\* Original report (in Japanese) has been published in the J. of Japan Spring Makers Assosiation, vol. 5 (1959) 215

\*\* 水野正夫 Dr.-Ing., a. o. Professor an der Keio-Universität

## II. Beziehungen zwischen den Abmessungseffekten, der Zeitfestigkeit von Federmaterial und der Probenlänge bei der Materialprüfung

Es ist allgemein bekannt, daß bei ein und demselben Material mit der Vergrößerung der Abmessungen des Prüfteils der Proben die Festigkeitswerte, z. B. Zugfestigkeit, Dauerfestigkeit u. s. w., geringere Meßwerte ergeben, und diese Tatsache wird als "Abmessungseffekt in der Materialprüfung" bezeichnet.<sup>1)</sup> Als Abmessungen, die auf die Festigkeit des Prüfteils Einfluß ausüben, sind Querschnitt und Länge zu betrachten, und bezüglich der Querschnittsabmessungen müssen Oberflächenfestigkeit, Spannungsverteilung und andere komplizierte Faktoren berücksichtigt werden, jedoch wird bei solchen Untersuchungen gewöhnlich ohne Trennung von Quer- und Längsabmessungen mit dem sog. Ähnlichkeitsprinzip gearbeitet. Es ist anzunehmen, daß durch alleinige Berücksichtigung der Längeneffekte unabhängig vom Querschnitt in gewissem Grade eine theoretische Behandlung auf der Grundlage statistischer Untersuchungen möglich wird.<sup>2)</sup> Nun ist die Feder ein Maschinenelement, das die Ausnutzung der Materialelastizität bezweckt, und das Federmaterial wird im Bereich der scheinbaren Elastizität betrieben, unter den mechanischen Faktoren spielt die Gesamtformänderung die größte Rolle. Folglich sind sowohl bei blattförmigen wie auch bei spulenförmigen Federn die Fälle zahlreich, daß die Querabmessungen der Blätter bzw. Drähte mit denen der Proben üblicher Festigkeitsuntersuchungen in etwa übereinstimmen, die Längsabmessungen jedoch beträchtlich größer sind. Außerdem wird beim modernen Federentwurf die Betriebswechselspannung über die ganze Länge gleich gemacht, und es besteht Interesse daran, die Abmessungseffekte bei der Materialprüfung nach Länge und Querschnitt getrennt zu betrachten und die Längeneffekte allein zu untersuchen. Darüberhinaus soll der direkte Zusammenhang zwischen festigkeitsmäßigem Federentwurf und Materialprüfungsergebnissen hergestellt werden, was auch für die Praxis Fortschritte in der Richtung einschließen wird, die Prüfung von Federn zu vereinfachen.

## III. Die Dauerfestigkeitsprüfung von Spiralfedermaterial

(1) Wenn man vom oben dargelegten Standpunkt den Einfluß der Federmateriallänge allein auf die Dauerfestigkeit untersuchen will, erweisen sich bisher übliche Einrichtungen zur Dauerfestigkeitsprüfung meist als ungeeignet, weil hier die Größenordnung der Probenabmessungen festgelegt ist. Deshalb wurde nach Arbeiten über die Blattfederprüfung<sup>3)</sup> eine Einrichtung zur Dauerprüfung von Spiralfedern labormäßig aufgebaut. In Abb. 1 ist ihr Prinzip dargestellt. Die Feder wird auf 2 Stützen im Abstand  $L$  aufgelegt und von einer Kreisscheibe mit Durchmesser  $D$

1) N. Daviaenkov et al.; J. Appl. Mech., 14-1 (1947) p. A-63

2) B. Epstein; J. Appl. Phys., 19, Feb. (1948) p. 140

3) R. L. Matison et al.; Metal Prog., May (1954) p. 108

wiederholt um  $s$  nach unten durchgebogen. Durch Änderung von  $L$  und  $s$  kann man die Anschmieglänge  $l$  ändern, durch die die der Maximalwert der auftretenden Spannung gegeben ist. Bei diesem Versuch wurde die Prüflänge  $l$  durch  $s$  geändert. Daß die Wellenform der Spannung  $\sigma=f(t)$  nicht überall gleich ist, ist ein Nachteil dieser Anordnung, z. B.

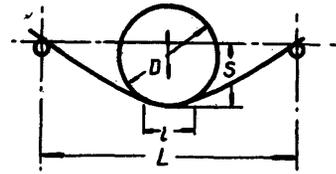


Abb. 1.

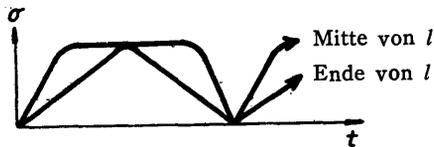


Abb. 2.

sind in Abb. 2 die Wellenformen für Mitte und Ende von  $l$  aufgezeichnet. Jedoch sind Bruchstellen überall längs  $l$  aufgetreten, und eine Tendenz zur Konzentration der Bruchstellen an einer bestimmten Stelle am Ende

oder in der Mitte war absolut nicht zu erkennen. Es wurde deshalb angenommen, daß die Anordnung in dieser Form den Anforderungen hinreichend genügt, und die folgenden Untersuchungen wurden damit ausgeführt.

(2) Das untersuchte Federmaterial wird für Triebfedern von Weckern benutzt. Die chemische Zusammensetzung entspricht JIS SK4, es wurde bei 800/850°C im Öl ausgelöscht und bei 380/400°C angelassen.

Die Abmessungen sind: Breite  $b=3,00$  mm, Dicke  $h=0,255$  mm.

Einstellung der Prüfmaschine:  $D=25$  mm,  $L=30$  mm, und

Maximalspannung:  $\sigma=Eh/D=214,2$  kg/mm<sup>2</sup>.

Hierbei ergibt sich aus einfachen Berechnungen als Zusammenhang zwischen  $s$ ,  $L$ ,  $l$  und  $D$

$$s=(L^2+Ll-l^2/2)/6D,$$

aus der Annahme, daß die Krümmung des Teils  $l$  der Feder gleich der der Kreisscheibe ist, und daß die Gegenkraft an den beiden Enden gleich der von der Kreisscheibe übetragene Kraft ist. Hieraus wurden für  $l=18, 9, 4,5$  mm die entsprechenden  $s$ -Werte bestimmt und für diese 3 Fälle mit je 30 Versuchsstücken Lebensdaueruntersuchungen durchgeführt.

(3) Wenn man die aus der Daueruntersuchung erhaltenen Periodenzahlen  $N$  bis zum Bruch ordnet und für jeden Fall den Parameter  $p$  für die Überlebens-Wahrscheinlichkeit als Ordinate über der Belastungswiederholung  $N$  als Abszisse aufträgt, ergibt sich Abb. 3. Trägt man über dem Parameter  $l$  als Abszisse die durchschnittliche Perodenzahl  $m$  bzw. die Varianz  $D^2$  der Periobenzahl als Ordinate auf, so ergeben sich Abb. 4 und 5.

In Abb. 4 und 5 liegen die Ergebnisse der drei Versuchsreihen auf einer geraden Linie, aus deren Neigungen  $-0,316$  bzw.  $-0,609=0,3045 \times 2$  sich die Zusammenhänge

$$m \sim \text{Exp.}(-1/\beta), \quad D \sim \text{Exp.}(-2/\beta)$$

ergeben, und als Mittelwert für  $\beta$  aus beiden

$$\beta=(3,165+3,284):2=3,2$$

Dies zeigt, daß die Lebensdauerverteilung der Muttergruppe nach der von Weibull<sup>4)</sup> angegebenen Festigkeitsverteilung verläuft. Andererseits ersieht man aus Abb. 3, daß sich mit Änderung der Versuchslänge der Mittelwert der Meßpunkte im wesentlichen in Abszissenrichtung verschiebt, das bedeutet, daß sich nur die Ermüdungserscheinungen während der anfänglichen Perioden ändern.

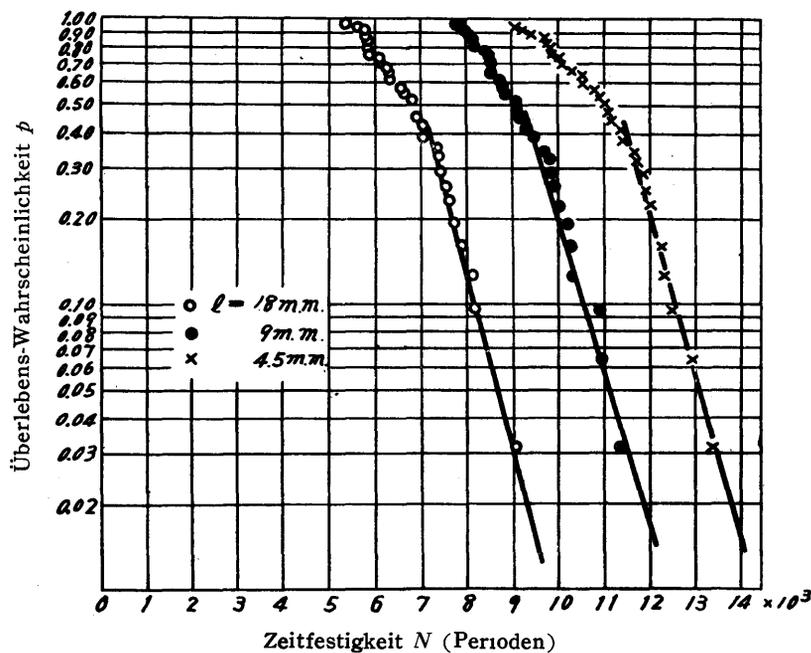


Abb. 3.

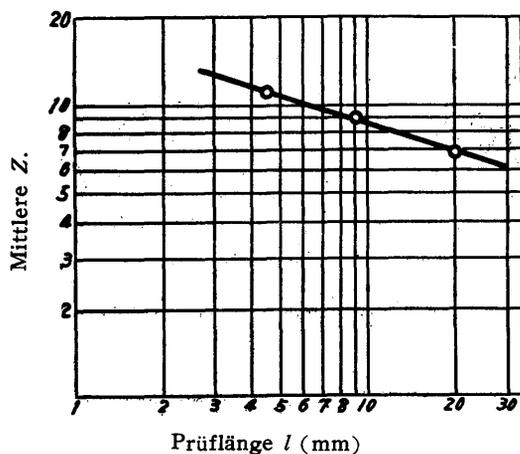


Abb. 4.

4) W. Weibull; Trans. Roy. Inst. Tech. Stockholm, No. 121 (1952) s. 3

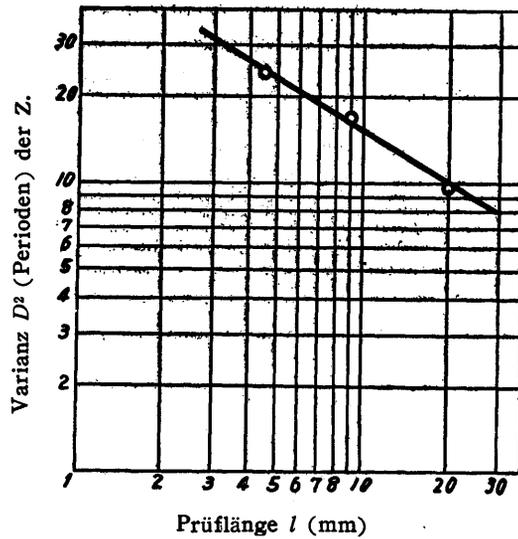


Abb. 5.

Die Webiull' sche Verteilung beruht auf der Berücksichtigung innerer Unvollkommenheiten des Materials, und da auch die anfängliche Ermüdung von inneren Fehlern abstammt, wird vermutet, daß der Einfluß der Längenabmessungen allein den Hauptgrund dafür bildet, daß sich vor allem die Extremwerte und die Streuung der inneren Fehler auf die Materialgröße auswirken.

Praktisch bringen Abb. 4 und 5 die Erkenntnis, in welcherweise der Mittelwert und die Streuung der Zeitfestigkeit von der Probenlänge abhängen. Für die Festlegung der Spannung beim Entwurf von Feder gemäß der Zeitfestigkeit werden solche Meßwerte als unbedingt Nötig erachtet.