

# UNTERSUCHUNG ÜBER DIE ELASTIZITÄT VON GARN UND GEWEBE UNTER DEN BEANSPRUCHUNGEN AUF DER WEBMASCHINE

Von

M. JEDERÁN

Lehrstuhl für Textiltechnologie und Leichtindustrie, Technische Universität, Budapest

Vorgelegt von Prof. Dr. A. VÉKÁSSY

(Eingegangen am 30. Juli 1971)

Die Beanspruchungen des Garns während des Webens sind von sich zyklisch wiederholender Natur, wobei deren Höhe neben den technologischen Parametern vorwiegend durch die Elastizität von Garn und Gewebe bestimmt wird. Die Untersuchung der Elastizität ist wegen der viskoelastischen Eigenschaften von Garn und Gewebe eine verwickelte Aufgabe, da die elastische Dehnung eine Funktion der nicht-linearen Charakteristik und der Beanspruchungsverhältnisse (Größe und Wiederholung der Beanspruchungen) ist. Dies ist der Grund dafür, daß aus der in den Textilnormen als qualifizierender Kennwert vorgeschriebenen mittleren Reißkraft und aus der als orientierender (jedoch nicht vorgeschriebener) Kennwert angegebenen Bruchdehnung über die Elastizität des Materials während der Verarbeitung keine eindeutigen Folgerungen gezogen werden können.

Bereits REJTŐ [1] hat auf die Bedeutung des elastischen Verhaltens der Textilmaterialien hingewiesen, das von ihm als ein der Reißkraft beigeordneter Kennwert betrachtet wurde. REJTŐ hob die Arbeitsfähigkeit hervor, die er durch den Bereich unter der Reißkurve als Haltbarkeit (beim Garn durch die auf die Gewichtseinheit bezogene Reißarbeit, d. h. durch die Gütezahl des Garns, beim Gewebe durch die auf 1 kg Gewicht bezogene Reißarbeit, d. h. durch die Güte des Gewebes) definierte.

Auch die Textilforschung von heute zeigt großes Interesse für die Untersuchung der Elastizität der Textilmaterialien. Zur Bestimmung der Elastizität werden sowohl die klassischen (quasistatischen) Versuchsmethoden, als auch die neueren, dynamischen Versuche<sup>1</sup> angewendet, die die bei der Verarbeitung und im Gebrauch auftretenden Beanspruchungen besser wiedergeben.

<sup>1</sup> Dem allgemeinen textiltechnischen Wortgebrauch entsprechend, wird unter dem Ausdruck »dynamisch« eine Versuchsmethode (oder ein dadurch bestimmter Kennwert) verstanden, die unter zyklisch wiederholten Beanspruchungen erfolgt, deren Höhe um einen gewissen Gleichgewichts-Spannungszustand des Probestückes liegen. Die klassischen Reißversuche bzw. die dadurch bestimmten Kennwerte werden dagegen als »quasi-statisch« bezeichnet.

Nach den klassischen Versuchsmethoden werden die Belastungs-Dehnungs-Diagramme oder die Diagramme der sich unter gegebenen Bedingungen wiederholenden Beanspruchungen bestimmt und aus dem entsprechenden Kurvenabschnitt die Proportionalitätsmoduln ermittelt.

Infolge der viskoelastischen Eigenschaften der Textilmaterialien sowie der Versuchsbedingungen, die von den Beanspruchungsbedingungen bei der Verarbeitung oder bei bestimmungsgemäßer Verwendung vollkommen unterschiedlich sind, ist die Elastizität des Materials unter dynamischen Verhältnissen durch die Proportionalitätsmoduln nicht gekennzeichnet.

Das primäre Ziel der dynamischen Elastizitätsversuche ist dagegen — von einigen Ausnahmen abgesehen — die Untersuchung der Molekularstruktur der Elementarfasern. Der Elastizitätsmodul und der innere Viskositätsfaktor wurden zur Vergleichung der physikalischen Kennwerte der Textilmaterialien oder zum Zweck der Untersuchung der molekularen Orientierung der Fasern bzw. der infolge mechanischer oder chemischer Behandlung eintretenden Änderungen bestimmt.

Ein ähnlicher Anspruch zeigt sich auch auf die Untersuchung des Elastizitätsmoduls von Garn und Gewebe aus der Sicht der Verarbeitung, und von einigen Forschern wurden diesbezüglich Ergebnisse veröffentlicht [2—5].

Bei der Bestimmung des Elastizitätsmoduls erweist sich jedoch die Definition des Querschnitts von Garn und Gewebe problematisch. BORO-DOWSKI [6] und GORDEIEW [7] halten deshalb zur Kennzeichnung des Garnverhaltens während des Webens den »linearen zyklischen Modul«<sup>2</sup> bzw. die Federkonstante für geeignet.

Bei unserer Forschungsarbeit wurde die dynamische Elastizität der Textilmaterialien, vor allem aber die von Garn und Gewebe (während des Webens), aufgrund folgender Erwägungen durch die Federkonstante gekennzeichnet.

Das auf der Webmaschine verarbeitete Garn sowie das herzustellende Gewebe entstehen nicht durch einfache Addition der Fasern, sondern die Fasern werden im Garn durch die Reibung zusammengehalten, während das Gewebe durch die Kreuzung der beiden Fadensysteme gebildet wird. Also erweist sich bereits die innere Struktur des Rohgarns — im Vergleich zu den Fasern — sowohl hinsichtlich des Aufbaus als auch des Verhaltens unter der Wirkung einer äußeren Kraft — als inhomogen. Die Strukturkennwerte des Garns (Faser, Drehung, Feinheit) spielen in der Inhomogenität der Garnstruktur auch einzeln eine bestimmende Rolle. Deshalb, aber auch wegen des sich unter zyklischen Belastungen ändernden Garnquerschnitts, kann im

<sup>2</sup> Unter linearem, zyklischem Modul versteht man die Garmlänge, die sich unter der Wirkung des Eigengewichtes um 0,1% dehnt.

vorliegenden Falle der Elastizitätsmodul nicht als brauchbarer Kennwert gelten.

Außer den obigen Ausführungen ist es auch deshalb begründet, sich der Federkonstante zu bedienen, da die Kette und das Gewebe auf der Webmaschine ein gemeinsames elastisches System bilden, das aufgrund der Federkonstanten der Elemente einfacher zu modellieren ist.

## 1. Das Meßgerät

Die Elastizität der Textilmaterialien (ihr Elastizitätsmodul oder ihre dynamische Federkonstante) ist ein von vielen Faktoren (von der Grundbelastung, der Amplitude der Beanspruchungen usw.) abhängiger Wert. Da unserer Zielsetzung gemäß das elastische Verhalten von Garn und Gewebe unter Verhältnissen untersucht wurde, die für die Beanspruchungen während des Webens auf der Webmaschine kennzeichnend sind, wurden sowohl der Meßvorgang als auch das Meßgerät in der Weise entwickelt, daß die zahlreichen Parameter erfaßt werden können.

Das Gerät beruht auf dem Prinzip der erregten Schwingungen. Das Probestück wird zuerst mit bekannter Belastung vorgespannt, und diese Vorspannung durch eine sinusoidale zyklische Deformation überlagert. Die durch die zyklische Deformation erzeugte Kraft wird in Abhängigkeit von der Deformation aufgezeichnet.

Die erzeugte Kraft ist von gleicher Form (sinusförmig) wie die bei der Untersuchung angewendete Deformation, jedoch weichen diese voneinander um einen bestimmten Phasenwinkel ab. Die Kraft-Dehnungs-Beziehung hat also die Form einer Schleifenkurve (Hysteresiskurve).

Den Bedingungen des Webens entsprechend eignet sich das Meßgerät nicht für die Untersuchung von Einzelfäden, sondern von Fadenbündeln, wo sich die unterschiedlichen Einzelwerte der einzelnen Fäden einem Durchschnittswert nähern und daher mit geringer Streuung reproduzierbare Werte ergeben.

Das Arbeitprinzip des Meßgeräts ist in Abb. 1 gezeigt.

Das Probestück wird am einen Ende in den Vibrator, am anderen in die Einspannklemme des Meßkopfes eingespannt. Der an den Meßkopf befestigte Eisenkern bewegt sich in einer Spule, die die zwei benachbarten Zweige der Wechselstrombrücke des Meßgeräts bildet. Das Meßgerät wird mit 8 kHz Trägerfrequenz gespeist, die durch den sich in der Spule bewegendem Eisenkern moduliert wird. Das modulierte Signal gelangt über eine Vor- und Endverstärkerstufe und einen Phasendetektor zur Meßschleife des Oszillographen. Der durch Kraftmessung geeichte Milliampereometer (A) ist zwischen dem Phasendetektor und dem Oszillographen der Schleife parallel gekoppelt.

Der Pendelspiegel des Oszillographen wurde mit einem Schwinghebel-Kurbelgetriebe mit praktisch unendlich langer Schubstange von der Kurbelwelle des Vibrators angetrieben. Die Kraft-Dehnungs-Hysteresiskurve wurde mit Hilfe der Schleife auf einem Planfilm registriert.

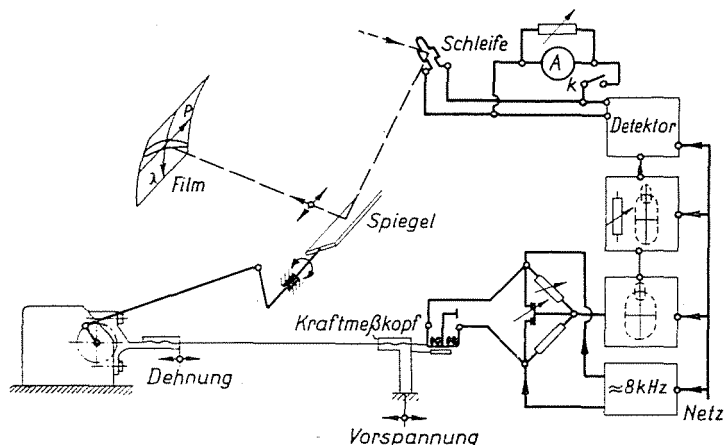


Abb. 1. Arbeitsprinzip des Gerätes zur Messung der Fadenkonstante

Am Vibrator kann der Hub mittels eines Zahnradgetriebes zwischen 2—180 Hz Frequenz und zwischen 0—5 mm stufenlos regelbar eingestellt werden.

Durch die Bewegung des Oszillatorspiegels ergeben sich — vom Hub des Vibrators unabhängig — gleiche Lichtstrahlverschiebungen. Das Schwinghebel-Kurbelgetriebe ist axial und infolge seiner Abmessungen ergibt der Unterschied der Sehnen- und Bogenlängen — im Vergleich zur Sehne — zwischen den beiden Endstellungen des Schwinghebels nur einen Fehler von 0,299%.

Das Verhältnis Kurbellänge—Kurbelstangenlänge beträgt 0,024, womit das Kurbelgerät mit unendlich langer Schubstange gut angenähert wird.

Die Phasentreue des Geräts wurde bei der Untersuchung jedes neuen Parameters durch Versuche mit Klavierdraht  $\varnothing$  0,2 mm kontrolliert. Da der Draht vollkommen elastisch ist, ergibt sich für die Belastungs-Dehnungs-Beziehung jeweils eine Gerade.

## 2. Theorie der Messung der Federkonstante

In einem gegebenen Beanspruchungsintervall kann jedes Textilmaterial mit guter Näherung als linear viskoelastisch aufgefaßt werden, dessen Modell in Abb. 2 dargestellt ist. Durch die auf das aus masselosen Elementen

bestehende Modell wirkende Kraft wird teils die Feder mit der Konstante  $c$  verformt

$$\Delta P_1 = c \Delta q,$$

teils die der Geschwindigkeit proportionale Dämpfung überwunden

$$\Delta P_2 = k_c \Delta \dot{q}.$$

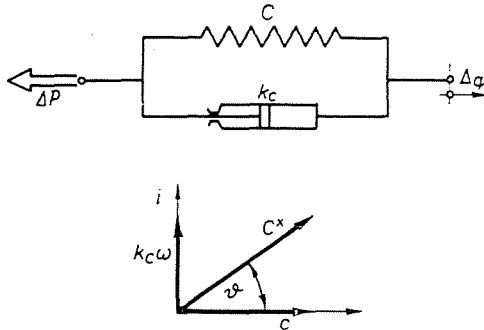


Abb. 2. Lineares viskoelastisches Modell

Die im Modell wirkenden Kräfte lassen sich daher in folgender Form aufschreiben:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = c \Delta q + k_c \Delta \dot{q}. \tag{1}$$

Das eingespannte Probestück wird im Meßgerät durch eine Dehnung harmonischen Verlaufs verformt:

$$\Delta q = \Delta q_0 \sin \omega t. \tag{2}$$

Setzt man Beziehung (2) sowie deren Differentialquotienten in Beziehung (1) ein, so ergibt sich für die Kraft in dem Probestück:

$$\Delta P = \Delta q_0 (c \sin \omega t + k_c \omega \cos \omega t). \tag{3}$$

Wird nun der Ausdruck in Klammern in Beziehung (3) als eine komplexe Zahl aufgefaßt, so sind  $c$  und  $k\omega$  die Komponenten einer komplexen Zahl mit einem Absolutwert

$$c^* = \sqrt{c^2 + k_c^2 \omega^2}, \tag{4}$$

die analog zum von NOLLE<sup>3</sup> eingeführten komplexen Elastizitätsmodul »kom-

<sup>3</sup> J. Appl. Phys. 19, 753 (1948).

plexe Federkonstante« genannt werden soll. Der Realteil der komplexen Federkonstante ist ein für die momentane Elastizität (Federkonstante) des Materials charakteristischer Wert, während der imaginäre Teil derselben ein für die Dämpfung kennzeichnender Wert ist.

Die komplexe Federkonstante bildet mit der reellen Achse (Abb. 2) den Winkel

$$\vartheta = \text{arc tg } \frac{k_c \omega}{c}, \quad (5)$$

der mit der von NOLLE definierten sog. Verlusttangente identisch ist.

Setzen wir nun die komplexe Federkonstante in Beziehung (3) ein:

$$\Delta P = \Delta q_0 c^* \left( \frac{c}{c^*} \sin \omega t + \frac{k_c \omega}{c^*} \cos \omega t \right), \quad (6)$$

oder berücksichtigen die Verhältnisse in Abb. 2, so gilt

$$\Delta P = \Delta q_0 c^* (\cos \vartheta \sin \omega t + \sin \vartheta \cos \omega t) = \Delta P_0 \sin(\omega t + \vartheta), \quad (7)$$

wobei sich unter Berücksichtigung von (4) die maximale Amplitude der im Material anfallenden Kraft zu

$$\Delta P_0 = \Delta q_0 \sqrt{c^2 + k_c^2 \omega^2} \quad (8)$$

ergibt.

Die während des Beanspruchungszyklus verbrauchte Energie beträgt

$$\Delta E = \oint \Delta P d(\Delta q) \quad (9)$$

bzw. nach Einsetzung der Differentialquotienten von (3) und (2)

$$\Delta E = (\Delta q_0)^2 \int (c \sin \omega t + k_c \omega \cos \omega t) \cos \omega t dt.$$

Nach Integration:

$$\Delta E = (\Delta q_0)^2 \left[ \frac{c}{2} \sin \omega t + k_c \omega \left( \frac{1}{2} \omega t + \frac{1}{4} \sin 2\omega t \right) \right]_{t=0}^{t=\frac{2\pi}{\omega}}$$

schließlich erhält man durch Einsetzung der Integralgrenzen:

$$\Delta E = (\Delta q_0)^2 k_c \omega \pi. \quad (10)$$

Unter Anwendung des beschriebenen Meßgeräts ergibt sich eine Hysteresiskurve gemäß Abb. 3, deren Fläche den Energieverlust  $\Delta E$  zeigt.

Aus der Hysteresiskurve können auch die Werte  $\Delta q_0$  und  $\Delta P_0$  bestimmt werden. Unter Anwendung dieser Werte lassen sich aus den Beziehungen (8) und (10) mit Hilfe der Beziehung

$$c = \sqrt{\frac{(\Delta P_0)^2}{(\Delta q_0)^2} + \frac{\Delta E^2}{(\Delta q_0)^4 \pi^2}} \tag{11}$$

die Federkonstante, und mit Hilfe der Beziehung

$$k_c = \frac{\Delta E}{(\Delta q_0)^2 \omega \pi} \tag{12}$$

der Dämpfungsfaktor errechnen.

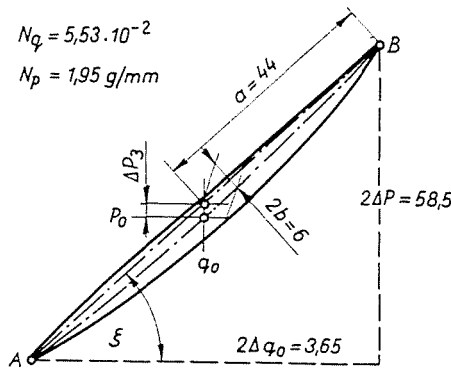


Abb. 3. Kraft-Dehnungs-Beziehung für geschlichtetes Baumwollgarn unter wiederholten Beanspruchungen

### 3. Auswertung der Meßergebnisse

#### Die spezifische Federkonstante

Durch das für die Untersuchung der Federkonstante entwickelte Meßgerät werden die zusammengehörenden Kraft-Dehnungs-Werte in Form zyklischer polarer Schwingungen (Hysteresisschleife) aufgezeichnet.

Im Falle eines Probestückes, das sich als ungedämpftes, federndes Material verhält, verformt sich die Hysteresisschleife zu einer Geraden. Dieser Umstand wurde für die Kontrolle der Phasentreue des Meßgeräts benützt.

Bei der Untersuchung von Textilgut (Garn, Gewebe) bildet die Hysteresiskurve infolge des Phasenunterschieds zwischen Belastung und Dehnung im vorliegenden Fall fast eine Ellipse, kann jedoch auch von der Form einer Ellipse wesentlich abweichen (Abb. 3). Bei der Auswertung der Versuche begeht man einen geringeren Fehler, falls — unter Einhaltung der sonstigen Genauigkeitserfordernisse der Messung — die Fläche der Hysteresiskurve

vernachlässigt wird. Diese Möglichkeit ergibt sich aus unseren Versuchsbedingungen.

Die Belastungs-Dehnungsbeziehung des Probestückes wurde jeweils nach 1000 vorangehenden Beanspruchungszyklen registriert. In diesem Fall ist im Probestück die den Belastungsbedingungen entsprechende elastische Dehnungskomponente dominant und daher ist die Fläche der Hysteresiskurve minimal.

Abb. 3 stellt eine Hysteresisschleife dar, die für ein geschlichtetes Kettfadenbündel aus 50 Fäden der Feinheit Nm 50 aufgenommen wurde.

Die genaue Fläche der Hysteresiskurve läßt sich planimetrisch bestimmen. Die einschlägigen Versuche von NEUMANN [8] zeigen jedoch, daß die Differenz, die sich zwischen der mit Hilfe des kleinen und großen Durchmessers der Hysteresiskurve errechneten Ellipsenfläche und der planimetrierten Fläche sogar für Kordgarne großer Dämpfung ergeben, innerhalb der Grenzen der Meßgenauigkeit bleiben, oder sind die berechneten Werte etwas höher.

Mit den Abmessungen in Abb. 3 ist die Fläche der Hysteresisschleife:  $a b \pi$ . Sind die Belastung  $\Delta P$ , die in mm angegebene Dehnung  $\Delta q$  und der Belastungs- bzw. Dehnungsmaßstab  $N_p$  bzw.  $N_q$ , so beträgt die Fläche der Hysteresiskurve

$$\Delta E = N_p N_q a b \pi = 14,9 \text{ p mm}^{-1},$$

womit sich der Wert des zweiten Gliedes unter dem Wurzelzeichen in Beziehung (11) zu 3,225 ergibt. Wird dieser vernachlässigt, ändert sich der Wert der Federkonstante nur um 0,33%. Deshalb wurde die Federkonstante aus den Werten  $\Delta P$  und  $\Delta q$  in Abb. 3 bestimmt.

Die bei der Verarbeitung beanspruchten Garn- oder Gewebelängen weichen meistens von den Versuchslängen ab. Daher wird die Federkonstante unter Berücksichtigung der jeweiligen Versuchslänge ( $l'$ ) mit der auf 1 m Länge bezogenen spezifischen Federkonstante angegeben.

Die spezifische Federkonstante ist:

$$c' = \frac{\Delta P}{\Delta q} l' [p \text{ mm}^{-1} \text{ m}], \quad (13)$$

wobei  $\Delta P$  in p,  $\Delta q$  in mm und  $l'$  in m einzusetzen sind.

#### 4. Die Genauigkeit der Meßergebnisse

##### *Die mittlere und die lokale Federkonstante*

Die Beziehung Belastung/elastische Dehnung der Textilmaterialien ist nicht-linear. Abb. 4 zeigt für geschlichtetes Garn den Anfangsabschnitt der Belastungs-Dehnungs-Beziehung, der der Zone der beim Weben auftretenden



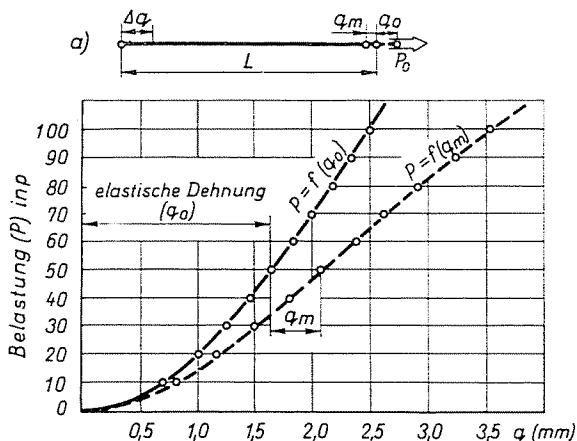


Abb. 4. Belastungs-Dehnungs-Beziehung für geschichtetes Baumwollgarn ( $q_0$  — elastische Dehnung,  $q_m$  — bleibende Dehnung)

Beanspruchungen entspricht [9]. Wegen der nicht-linearen Charakteristik wird der genaue Wert der Federkonstante durch die gegebene Belastung  $P_0$  oder die Tangente (den Differentialquotienten) im zum Dehnungswert  $q_0$  gehörenden Kurvenpunkt angegeben (Abb. 5):

$$c = \operatorname{tg} \xi = \frac{dP}{dq_0} .$$

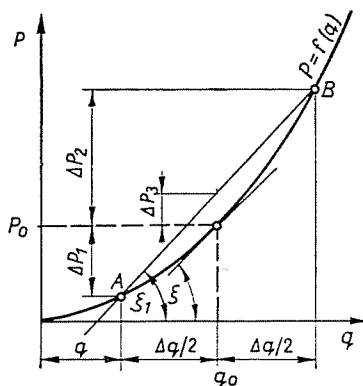


Abb. 5. Deutung der mittleren und lokalen Federkonstante

Der Wert der Federkonstante ändert sich also die Kurve entlang von Punkt zu Punkt. Die aus der Hysteresiskurve eines Textilmaterials — dessen Charakteristik als linear vorausgesetzt wird — bestimmte Federkonstante kann daher nur als Näherung betrachtet werden. Die Genauigkeit der Messung hängt vom Intervall  $\Delta q$  ab.

Aus Abb. 5 ist klar ersichtlich, daß die Symmetrieachse der mit den gegebenen Parametern  $P_0$  oder  $q_0$  aufgenommenen Hysteresiskurve keine Gerade ist, sondern der Funktion  $P = f(q)$  folgt, und daß die Richtungstangente der Sekante  $A-B$

$$c_1 = \operatorname{tg} \xi_1 = \frac{\Delta P}{\Delta q}$$

nur die auf den untersuchten Abschnitt  $\Delta q$  fallende mittlere Federkonstante ergibt.

Der genaue Wert der Federkonstante ist der Differentialquotient

$$c = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta q},$$

der als die zur Deformation  $q_0$  gehörende lokale Federkonstante definiert werden kann.

Um zwischen der mittleren und der lokalen Federkonstante eine womöglich geringe Abweichung zu erzielen, wurde bei unseren Messungen das Intervall der wiederholten Dehnungen auf einen spezifischen Dehnungswert von  $\varepsilon = \frac{\Delta q}{l'} < 0,1\%$  beschränkt. In diesem Fall läßt sich der Meßfehler — wie es weiter unten bewiesen wird — vernachlässigen.

Die nach Abb. 4 zwischen den Beanspruchungsgrenzen 0—100 p je Garn aufgenommene Beziehung  $P = f(q_0)$  kann durch die mit der Methode der kleinsten Quadrate bestimmte, empirische Formel [10]

$$P = 1,878 q + 20,3732 q^2 - 1,989 q^3 \quad (14)$$

gut angenähert werden. Damit beträgt z. B. die zu den Dehnungswerten  $P_0 = 40$  p und  $q_0 = 1,46$  gehörende mittlere Federkonstante bei der gegebenen, sich wiederholenden Dehnungsamplitude von  $\Delta q = 0,48$  mm

$$c_1 = \frac{\Delta P}{\Delta q} = 48,5 \text{ p mm}^{-1}.$$

Die lokale Federkonstante wird durch den Differentialquotienten in der Beziehung (14) angegeben, und beträgt bei  $q_0 = 1,46$

$$c = 48,656 \text{ p mm}^{-1}.$$

Der Wert der lokalen Federkonstante ist also nur um  $\Delta c = 0,156$  p mm<sup>-1</sup> (um 0,322%) höher als der der mittleren Federkonstante.

Gleichzeitig beträgt die bei einer Belastung  $P_0 = 40$  p gemessene Federkonstante  $c = 49,1$  p mm<sup>-1</sup>. Auch im Vergleich dieser ist der Wert der mittleren Federkonstante nur um 0,6 p mm<sup>-1</sup>, also um 1,22% geringer. Unter der Bedingung  $\varepsilon < 0,1\%$  erhält man demnach die Federkonstante mit einer Genauigkeit, die innerhalb des üblichen Meßfehlers bleibt.

### 5. Änderung der Federkonstante in Abhängigkeit von der spezifischen Dehnung. Der Meßfehler

Die Änderung der unter dynamischen Bedingungen bestimmten Elastizitätskennwerte (Elastizitätsmodul, Federkonstante, zyklischer linearer Modul) wurde in Abhängigkeit von der Höhe der Beanspruchungsamplituden von vielen Forschern untersucht.

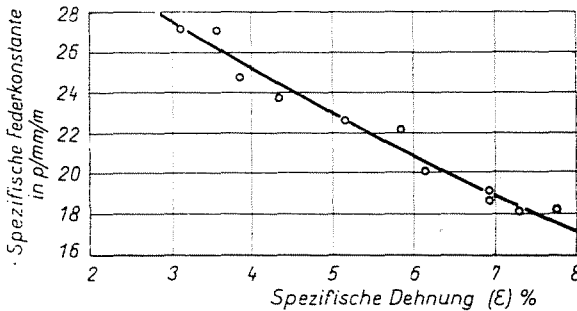


Abb. 6. Verringerung der Federkonstante des geschichteten Baumwollgarns der Feinheit N 50 in Abhängigkeit von der bei wiederholten Beanspruchungen auftretenden spezifischen Dehnung

Bei der Untersuchung der Elastizitätsmoduln von Elementarfasern wurde beobachtet, daß sich der Modul mit der Zunahme der Beanspruchungsamplituden verringert [6, 11, 12]. BORODOWSKI gab den stabilisierten Wert des zyklischen linearen Moduls für geschlichtetes Baumwollgarn N 40 bei einer Beanspruchungsamplitude  $\varepsilon = 0,5\%$  zu  $E_c = 445$ , und bei  $\varepsilon = 1\%$  zu  $E_c = 400$  m an, woraus auf die Verringerung der Garnelastizität mit zunehmender Beanspruchungsamplitude zu schließen ist.

Von den genannten Forschern wurde die mit der Zunahme der spezifischen Dehnung ( $\varepsilon$ ) beobachtete Elastizitätsverringerng eindeutig als eine Garncharakteristik betrachtet.

Unsere Versuche über die Wirkung der spezifischen Dehnung führten zu einem mit dem obigen übereinstimmenden formellen Ergebnis. Die für geschlichtetes Baumwollgarn N 50 ermittelten Meßergebnisse sind in Abb. 6 dargestellt.

Aus einer eingehenderen Analyse dieser Erscheinung ist jedoch zu erkennen, daß die Verringerung der Federkonstante nur scheinbar ist, was sich folgenderweise erklären läßt:

Wie bereits erwähnt, erhält man aus der für das lineare viskoelastische Modell abgeleiteten Beziehung anstatt des zu der gegebenen Dehnung  $q_0$  gehörenden Differentialquotienten die durch die in der Zone des Punktes

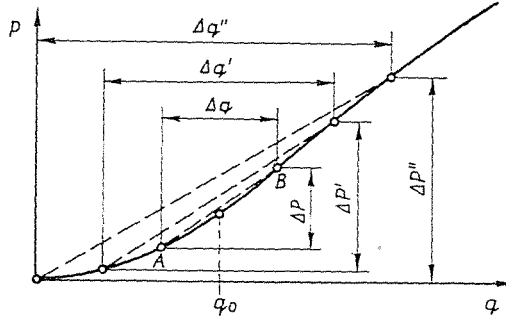


Abb. 7. Erklärung zur Funktion Federkonstante/spezifische Dehnung

$q_0$  mit dem Dehnungswert  $\Delta q$  bezeichnete Richtungstangente der Sekante  $A-B$  definierte Federkonstante. Bei gleicher Versuchslänge  $l'$  steigt  $\Delta q$  mit der Erhöhung von  $\varepsilon$  an. Wie dies aus Abb. 7 festgestellt werden kann, nimmt  $\Delta q$  bei dem gegebenen Mittelwert  $q_0$  zu, und die Endpunkte der Sekanten entfernen sich. Gleichzeitig verringert sich jedoch auch die Richtungstangente derselben.

Letzte Feststellung läßt sich auch durch eine konkrete Analyse bestätigen.

Es wurden mit einer Beanspruchungsamplitudenerhöhung  $\Delta q$  berechnete mittlere Federkonstanten mit der in (14) gegebenen empirischen Formel Belastung/elastische Dehnung für geschlichtetes Baumwollgarn der Feinheit N 50, unter Annahme einer konstanten Vordehnung von  $q_0 = 1,46$  mm, bestimmt. Die Ergebnisse sind für die Versuchslänge  $l' = 453$  mm wie folgt:

$\varepsilon$ (%)	0,1	0,2	0,4	0,6
$c$ ( $\text{p mm}^{-1}\text{m}^{-1}$ )	22	21,82	20,95	20,1
	100%	99,4%	95,4%	91,5%

Mit der Erhöhung der spezifischen Dehnung nimmt also die mittlere Federkonstante ab, ein Ergebnis, das sowohl mit den angeführten als auch mit unseren Versuchsergebnissen übereinstimmt.

Die spezifische elastische Dehnung ist demnach als Parameter zur Untersuchung der Federkonstante nicht geeignet, da der aus der Auswertungsmethode herrührende Fehler zu einer scheinbaren Verminderung der Federkonstante führt.

## 6. Die Wirkung der Beanspruchungsfrequenz auf die Federkonstante

Die Wirkung der Beanspruchungsfrequenz wurde mit Hilfe von Untersuchungen der Elastizität der Elementarfaser, der Garne und Gewebe von vielen Forschern analysiert. Die Versuche bewiesen, daß der Elastizitätsmodul in einem breiten Frequenzbereich konstant ist. Diese Beständigkeit wurde z. B. für verschiedene Viskoseseiden von FUJINO und Mitarbeitern im Bereich  $3 - 4 \cdot 10^2$  Hz [15], von DISCHKA und HAJMÁSSY im Bereich 20—75 Hz [16], von TIPTON im Bereich 25—350 Hz [14] und für Monofilament von EYRING und Mitarbeitern im Bereich 0,35—5,8 Hz [17] untersucht.

Auch unsere Kontrollmessungen zeigten, daß die Elastizität von der Beanspruchungsfrequenz unabhängig ist. Unsere an geschlichteten Baumwollgarnen durchgeführten Versuche ergaben für die Dimensionen der Hysteresisschleife im Bereich 2—86 Hz keine signifikanten Abweichungen. Bei den weiteren Untersuchungen wurde daher der Frequenzparameter außer acht gelassen.

## 7. Die Wirkung der Zahl der Beanspruchungszyklen auf die Federkonstante. Die Erscheinung der mechanischen Konditionierung

Bei der Bestimmung der Versuchsbedingungen der Federkonstante von Garnen und Geweben ist die anfängliche transiente Charakteristik der Federkonstante in Betracht zu ziehen.

Von BORODOWSKI wurde die Elastizität von rohen und geschlichteten Garnen untersucht [6] und gezeigt, daß sich unter dynamischen Beanspruchungen der zyklische lineare Modul der Garne mit der Anzahl der Beanspruchungen erhöht. Werden die Garne mit einer Beanspruchung unter der Fließgrenze belastet, erhöht sich anfangs der Modul und stabilisiert sich als Folge des mechanischen Konditionierungsvorgangs. Als Grund dafür gab BORODOWSKI die unter wiederholten Beanspruchungen eintretende Stabilisation der Garnstruktur an.

Von BORODOWSKI wurde an geschlichtetem Baumwollgarn 40/1 die Stabilisation bei einer relativen Beanspruchungsdehnung von  $\varepsilon < 0,5$  nach einer Beanspruchungsperiode von  $n = 50$ , und bei  $\varepsilon < 1\%$  nach  $n = 500$  beobachtet. Seinen Versuchen gemäß tritt die Stabilisation für Baumwollgarne nur bei Beanspruchungen mit Dehnungsgrenzwerten unter  $\varepsilon < 1,5\%$ , und für Wollgarne bei Beanspruchungen mit Dehnungsgrenzwerten unter  $\varepsilon < 4,5\%$  ein. Über diesen Grenzwerten zeigt sich keine Stabilisation.

EYRING [17] berichtet, daß in den an Monofilamenten durchgeführten Versuchen nach einer frequenzunabhängigen charakteristischen Beanspruchungszykluszahl jedes Probestück in einen stabilisierten Zustand gelangte, in dem die Energieabsorption während der Beanspruchung (die Fläche der Hysteresiskurve) stabilisiert war.

Die Stabilisation der mechanischen Eigenschaften von Kettfäden auf der Webmaschine wurde von BRÖCKEL [5] mit Hilfe von Versuchen gezeigt. An das auf der Webmaschine laufende Garn wurde ein Kraft- und Dehnungsmeßgeber angeordnet. Durch die der Garnspannung bzw. -dehnung proportionalen Signale der beiden Meßgeber wurden die registrierenden Lichtstrahlen in aufeinander vertikale Richtung ausgelenkt.

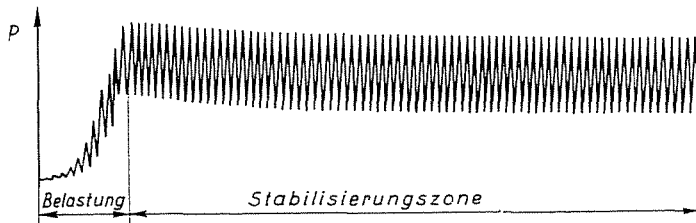


Abb. 8. Die mechanische Konditionierung beim geschlichteten Baumwollgarn der Feinheit N 50

Nach BRÖCKEL zeigt die Kette während des Webens keine Hysteresisschleife, verhält sich also als ein absolut elastischer Körper. Seinen Ergebnissen gemäß ließ sich eine minimale Hysterisis nur bei sehr hohen Belastungen beobachten (z. B. wenn die Belastung des Baumwollgarns 50/2 über 100 g ist). Die Hysterisis ist jedoch auch in diesem Fall vernachlässigbar gering.

Bei unseren Messungen wurde die Erscheinung der mechanischen Konditionierung berücksichtigt. Den Erfahrungen gemäß hängt die mechanische Konditionierung von der Größe der Beanspruchung (der Vorspannung) ab. Bei einer Belastung  $P_0 = 100$  p/Garn, wobei sich die untersuchte Probe als ein vollkommen elastisches Element verhält, erfolgt jedoch die Konditionierung bei Baumwoll- und synthetischen Garnen praktisch innerhalb 500 Belastungszyklen. Diese Erscheinung wird in Abb. 8 am Oszillogramm der in Baumwollgarn N 50 entstehenden Kräfte gezeigt. Nach Abb. 8 ist im vorliegenden Falle der Stabilisationsvorgang, d. h. die Änderung des Verhältnisses der elastischen zu den bleibenden Deformationen, besonders innerhalb der ersten hundert Beanspruchungszyklen sehr stark. Im weiteren bleibt die Probe praktisch unverändert.

Diesem Umstand Rechnung tragend, wurden unsere Elastizitätsmessungen nach 1000 vorherigen Beanspruchungszyklen durchgeführt.

### 8. Änderung der Federkonstante in Abhängigkeit von der Grundbelastung

Die Elastizität von Kette und Gewebe hängt von der Grundbelastung ab. Die Abhängigkeit der dynamischen Federkonstante von der statischen Belastung wurde von mehreren Forschern bewiesen.

Nach den Ergebnissen von ZILAHİ [13] ändert sich die in  $\text{cmkp}^{-1}$ -Einheiten ausgedrückte dynamische Federkonstante eines geschichteten Baumwollgarns N 34 in Abhängigkeit von der Belastung  $P$  nach der Beziehung

$$c = 8,2 e^{-0,018 P} + 2,83.$$

TRIPTON [14] untersuchte den Elastizitätsmodul von 23 Garnen (aus verschiedenen Rohstoffen und von verschiedener Zusammensetzung) und stellte fest, daß mit der statischen Deformation während des Versuchs auch der Elastizitätsmodul (in grober Näherung linear) zunimmt.

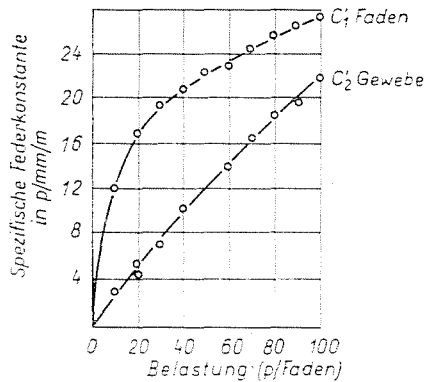


Abb. 9. Verlauf der spezifischen Federkonstanten eines geschichteten Baumwollgarns der Feinheit N 50 und eines Gewebes der Einstellung 307/280 in Abhängigkeit von der Grundbelastung

Bei unseren Versuchen wurde die von der Grundbelastung abhängige Änderung der Federkonstante von Textilien eindeutig beobachtet.

Der unmittelbare Grund für die Zunahme liegt im nicht-linearen Charakter der Beziehung Belastung/Dehnung, der mit der Änderung der geometrischen Struktur des gedrehten Garns (und Gewebes) unter wiederholten Beanspruchungen zusammenhängt. Von PONOMAREW [19] wurde diese Erscheinung mit Hilfe eines Federbündels als ideales Modell eines aus elastischen unendlichen Elementarfasern aufgebauten, gedrehten Garns, gut veranschaulicht.

Abb. 9 zeigt den Verlauf der spezifischen Federkonstante für ein geschichtetes Baumwollgarn N 50 und für ein Gewebe der Einstellung 50/50, 307/280 innerhalb den Beanspruchungsgrenzen auf der Webmaschine, unter den obenangegebenen Versuchsbedingungen.

Aus der Abbildung ist der verfestigende Charakter von Garn und Gewebe zu erkennen, weiterhin kann festgestellt werden, daß der elastische Charakter des Kettgarns durch die Gewebestruktur erheblich verändert wird. Die aus

der Gewebestruktur herrührende Änderung der Federkonstante steht in jedem Falle in engem Zusammenhang mit den Gewebeeinstellungsparametern.

### 9. Die Wirkung der Einstellungsparameter auf die Federkonstante

Die Wirkung der Einstellungsparameter des Gewebes auf die Federkonstante wurde an Polyester-Viskosegarnen untersucht und die spezifische Federkonstante des Gewebes in Abhängigkeit von der Belastung für eine Gewebeprobe aus 100 Kettfäden bestimmt.

**Tabelle 1**

Einstellungskennwerte der untersuchten Polyester/Viskosegewebe

Garnfeinheit		Dichte/cm		
Kette $N_t$	Schuß $N_r$	Kette ( $s_t$ )	Schuß ( $s_r$ )	
60	40	32	29	
	60			
	70			
	85			
	60	60	33	31
			40	
			46	
		60	40	26
				28
				30
		31		
		32		

Die Einstellungskennwerte der untersuchten Gewebe sind in Tabelle 1 angegeben.

Von den Meßergebnissen stellen Abb. 10 die Wirkung der Schußfadenfeinheit auf die Federkonstante des Gewebes, Abb. 11 die der Schußdichte und Abb. 12 die der Kettichte dar.

Aus Abb. 10 und 12 kann festgestellt werden, daß die Federkonstante des Gewebes im untersuchten Belastungsabschnitt zur Verfestigung neigt. Der Grund hierfür ist, daß die Elastizität des Gewebes neben der Elastizität der Kett- bzw. der Schußfäden auch von der Kettichte, der geometrischen Gewebestruktur (Gewebebindung) und der Schußdichte abhängig ist.



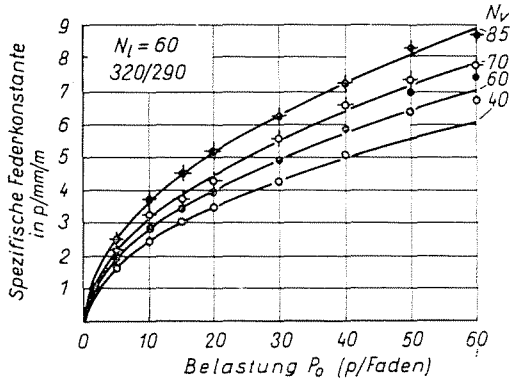


Abb. 10. Verlauf der spezifischen Federkonstante eines Polyester-Viskosegewebes in Abhängigkeit von der Belastung mit der Schußfeinheit ( $N_v$ ) als Parameter

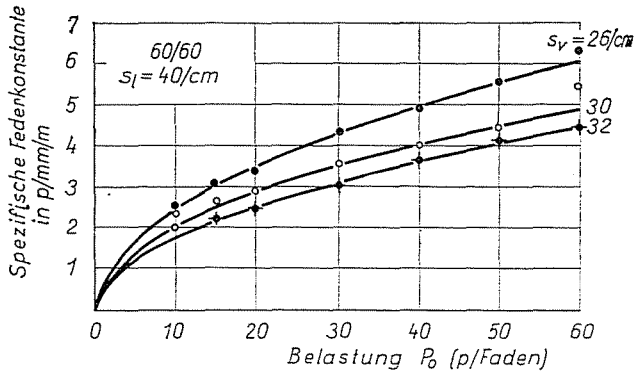


Abb. 11. Verlauf der Federkonstante eines Polyester-Viskosegewebes in Abhängigkeit von der Belastung mit der Schußdicke ( $S_v$ ) als Parameter

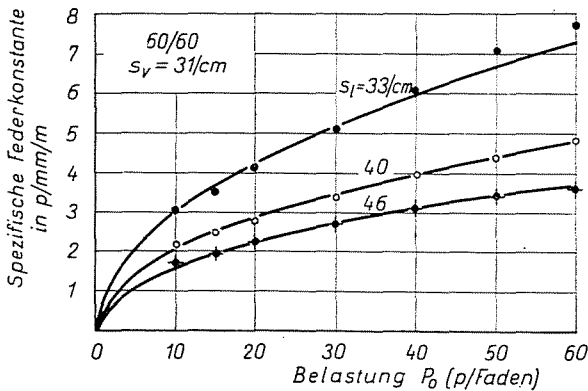


Abb. 12. Verlauf der Federkonstante eines Polyester-Viskosegewebes in Abhängigkeit von der Belastung mit der Kettdicke ( $S_l$ ) als Parameter

Aus den Abbildungen ist es eindeutig ersichtlich, daß sich mit abnehmender Schußfadenfeinheit oder mit größerer Schußdichte die Federkonstante des Gewebes verringert. Auch eine der Kettdichte proportionale Verringerung der Federkonstante wird beobachtet.

Die aus den Meßergebnissen erhaltenen Kurvenscharen lassen sich durch die Funktion

$$c'_2 = k \sqrt{S} \quad (15)$$

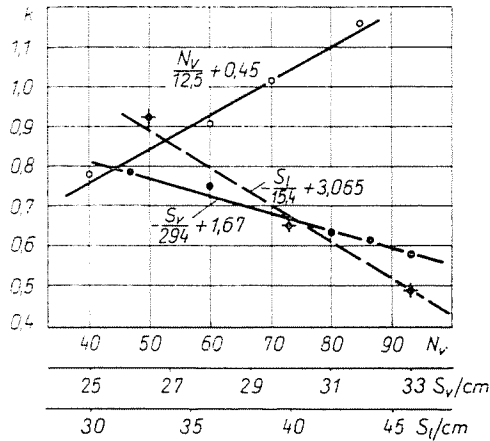


Abb. 13. Konstanten der Beziehung (15) in Abhängigkeit von den Einstellungsparametern des Gewebes

gut annähern. (Die Kurven in den Abbildungen wurden auf Grund der mit dieser Funktion errechneten Werte aufgetragen.) Abb. 13 zeigt die Konstanten der Funktion in Abhängigkeit von den Einstellungsparametern der Gewebe.

Nach Abb. 13 läßt sich die spezifische Federkonstante in Abhängigkeit von den einzelnen Einstellungsparametern im untersuchten Bereich durch die Beziehungen angeben:

Für die Schußfeinheit:

$$c'_2 = \left( \frac{N_v}{12,5} + 0,45 \right) \sqrt{S}. \quad (16)$$

Für die Schußdichte:

$$c'_2 = \left( - \frac{S_v}{294} + 1,67 \right) \sqrt{S}. \quad (17)$$

Für die Kettdichte:

$$c_2' = \left( -\frac{S}{15,4} + 3,065 \right) \sqrt{S}. \quad (18)$$

## 10. Zusammenfassung

Die Untersuchungen des Verfassers über die Gewebebildung zeigen, daß die Elastizität von Garn und Gewebe die Garnbeanspruchungen bestimmende wichtige Parameter sind.

Sowohl das Garn als auch das Gewebe weisen viskoelastische Eigenschaften auf und ihre Charakteristik ist innerhalb der Beanspruchungsgrenzen während des Webens von sich verfestigender Natur. Daher ist der Proportionalitätsmodul für die Kennzeichnung ihrer Elastizität nicht geeignet.

Nach der vom Verfasser für die Untersuchung der Elastizität ausgearbeiteten Methode wird das vorgespannte Probestück wiederholt beansprucht und die Elastizität von Garn und Gewebe mit der spezifischen (auf 1 m Länge bezogenen) Federkonstante angegeben. Der Wert der Federkonstante ergibt sich — unter Berücksichtigung der Abmessungen der bei harmonisch verlaufender wiederholter Dehnung erhaltenen Hysteresisschleife sowie der Versuchslänge und unter Vernachlässigung des Dämpfungsfaktors — mit einem minimalen Fehler.

Es wird gezeigt, daß sich mit der Erhöhung der Amplitude der wiederholten Beanspruchungen die Federkonstante verringert. Dies ist jedoch keine Materialeigenschaft, sondern ein Meßfehler zufolge der sich verfestigenden Charakteristik. Es wird bewiesen, daß — den Wert der spezifischen Dehnung während der Untersuchung auf  $\varepsilon < 0,1\%$  begrenzt — durch die Federkonstante die zu einem gegebenen Punkt der linearen Charakteristik gehörende lokale Federkonstante gut angenähert wird.

Es wurden die Frequenzempfindlichkeit von Garn und Gewebe sowie die Erscheinung der mechanischen Konditionierung untersucht. Nach den Ergebnissen wird die Federkonstante innerhalb der auf der Webmaschine vorkommenden Beanspruchungs-Frequenzgrenzen durch die Frequenz nicht beeinflusst. Die mechanische Konditionierung, die Stabilisierung der mechanischen Eigenschaften, tritt nach 500—1000 Beanspruchungszyklen ein.

Es wurden die Zusammenhänge der Federkonstanten von Garn und Gewebe analysiert und es wurde festgestellt, daß durch gewisse Einstellungsparameter des Gewebes die strukturellen Eigenschaften desselben geändert werden und dadurch die Federkonstante mit sich verfestigender Charakteristik parametrisch beeinflusst wird.

## Literatur

1. REJTŐ, S.: Grundprinzipien der theoretischen mechanischen Technologie, IV. Textiltechnologie. Budapest, 1923 (in ungarischer Sprache).
2. PLATT, N. M.: Text. Res. J. **10**, 665—667 (1950).
3. HAMBURGER, W. J.—BLATT, N. H.—MORGAN, H. M.: Text. Res. J. **11**, 696—728 (1952).
4. WEGENER, W.: Melliand Textilberichte **4**, 371—374 (1954).
5. BRÖCKEL, G.: Hysteresis Phänomene. DFT Reutlingen.
6. BORODOWSKI, M. S.: Faserforschung und Textiltechnik **4**, 146—155 (1952).
7. GORDEJEW, V. A.: Sowjetische Textil-Presseschau. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1955. Okt. 96—104 (in ungarischer Sprache).
8. NEUMANN, H.: Faserforschung und Textiltechnik **9**, 444—456 (1960).
9. JEDERÁN, M.: Gewebebildung und Untersuchung der die Beanspruchung des Garns während des Webens bestimmenden technologischen Parameter. Dissertation, 1967 (in ungarischer Sprache).
10. BJEZIKOWITS, J. S.: Näherungsrechnungen (in ungarischer Sprache). Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.
11. DISCHKA, V.: Faserforschung u. Textiltechnik **2**, 75—84 (1960).
12. HOFFMANN, W.: Faserforschung und Textiltechnik **9**, 433—443 (1960).
13. ZILAHÍ, M.: Untersuchung der Spannung von Baumwoll-Kettsystemen während des Webens. Dissertation, 1955.

14. TIPTON, H.: *Journal of the Textile Institute* T 322—361 (1955).
15. FUJINO, K.—HORINO, H.: *Text. Res. J.* 8, 722—737 (1955).
16. DISCHKA, GY.—HAJMÁSSY, T.: Untersuchung des statischen und des dynamischen Elastizitätsmoduls von Fasermaterialien unter besonderer Berücksichtigung der Faserstruktur. Schlußbericht des Ung. Textilforschungsinstituts, 1957 (in ungarischer Sprache).
17. EYRING, H.—ALDER, M. G.: *Text. Res. J.* 4, 223—246 (1952).
18. BRÖCKEL, G.: Die Messung der Kettfadenspannung. Reutlingen, DFT, 50—59.
19. PONOMAREW, S. D.: Festigkeitsberechnungen, Band 2 (in ungarischer Sprache). Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1964.

Dr. Miklós JEDERÁN, Budapest XI., Stoczek u. 2—4. Ungarn.