

UNTERSUCHUNG DER VERÄNDERUNGEN IN FADENSDIAMETER UND DREHUNGS-WINKEL BEI DER ZUG- UND DREHBEANSPRUCHUNG

László M. VAS und Géza HALÁSZ

Lehrstuhl für Polymertechnik und Textiltechnologie
Technische Universität Budapest
H/1111 Budapest Műegyetem rkp. 9.
Tel. & Telefax 181-2669

Eingegangen am 17. Oktober, 1994.

Abstract

The paper presents a method based on a special equipment and a projector microscope connected with an image processing system for measuring the diameter and the twist angle to study the cross-section contraction and the changes in the surface twist during tensile testing or twisting the yarns.

As experimental studies polyester rayon yarn as well as ring-spun and rotor-spun yarns were tested and analysed.

It is demonstrated how to use the results in modelling yarns.

Keywords: contraction of yarn, yarn diameter, twist angle, image processing.

1. Einleitung

Die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen den geometrischen Kennzeichen und den Fadenbeanspruchungen ist sehr wichtig, um entsprechende Vorhersagen für die Fadenfestigkeit bestimmen und ein auch im Betrieb gut benutzbares Fadensmodellierungssystem entwickeln zu können.

Mit Hinsicht auf die Gestaltsänderungen sind der Fadendiameter und der Drehungswinkel als Faserorientation auf der Fadenfläche die wichtigsten geometrischen Fadenkennzeichen.

Das Referat legt eine videographische Meßungsmethode für diese zwei Fadenkennzeichen bei Zug- und Drehensprüfungen und die Analyse der Meßungsergebnisse vor.

2. Theoretische Grundlagen für den Zusammenhang zwischen Volumen, Drehungswinkel und Deformation

Die Kontraktionserscheinungen der Fäden wurden von vielen Forschern geprüft, aber hauptsächlich bei dem sogenannten freien Drehen, das auf den Drehungsprüfgeräten eine gewöhnliche Methode ist [1, 3, 4]. Andere Verfasser untersuchten die Kontraktion und den Poisson-Quotienten bei

Zugkraftbelastung [1, 2, 3]. Die meisten Ergebnisse sind aber bei der Prüfung des Zusammenhanges zwischen dem Durchmesser, der Feinheit und der Drehungszahl entlang dem unbelasteten Faden, sowie der Kompressibilität von Fäden und Fasermengen entstanden [1–15].

2.1 Eine Modellstruktur für Fäden

Aufgrund der Meßungsergebnisse in der Fachliteratur kann man feststellen, daß sich Teile von verschiedenen Packungs-dichten im Faden befinden und große Diameters- und damit Volumensveränderungen bei kleinen Belastungen auftreten [1, 2, 3, 12].

Entsprechend dem oberstehenden und dem Modell von HEARLE und MERCHANT [3] zeigt *Abb. 1* ein allgemeines Fadensstruktur-modell und den prinzipiellen Verlauf der Volumensveränderung als Funktion der Deformation. Es wird demnach vorausgesetzt, daß im Faden drei Zylinderschichten mit verschiedenen Faserpackungs-dichten und Drehungszahlen unterschieden werden können:

1. Der Kern mit größerer Packungsdichte und eventuell kleinerer Drehungszahl; die Fasern hier liegen aufeinander und berühren sich in vielen Punkten; der Kompressionsmodul ist groß.
2. Der Mantel mit kleinerer Packungsdichte und eventuell größerer durchschnittlicher Drehungszahl; die Struktur ist locker und die Fasern berühren sich nur in wenigen Punkten; der Kompressionsmodul ist hier kleiner.
3. Die Oberflächenschicht des Fadens; diese Schicht hat nur eine Dicke von ein Paar Fasern und oft befinden sich Fasern mit spezielle Position und Orientation wie die Bauchbandsfasern mit extrem großer Drehungszahl.

Das von Fasern auf der Fadenoberfläche begrenzte Volumen (V) des gegebenen Fadenabschnittes, das im wesentlichen aus dem Faser-material und dem freien Volumen ($V_P = V - V_\infty$, das heißt den Luft-poren unter den Fasern besteht, kann auch in drei Teile untergeteilt werden:

1. Das Gesamtvolumen des Fasermaterials (V_∞);
2. Das Gesamtvolumen der miteinander verbundenen Luftporen unter den lockeren Fasern (V_{P2});
3. Das Gesamtvolumen der diskreten Luftporen unter den aufeinander gelegten Fasern (V_{P1}).

Wird dieser Modellfaden durch Zug oder Drehen beansprucht, werden sich zuerst die Faser im lockeren Teile einander nähern, bis sie sich aufeinander legen können. Dieser Prozeß verursacht – hauptsächlich am Anfang – eine große Durchmesser-, das heißt Volumenveränderung, was die Abnahme

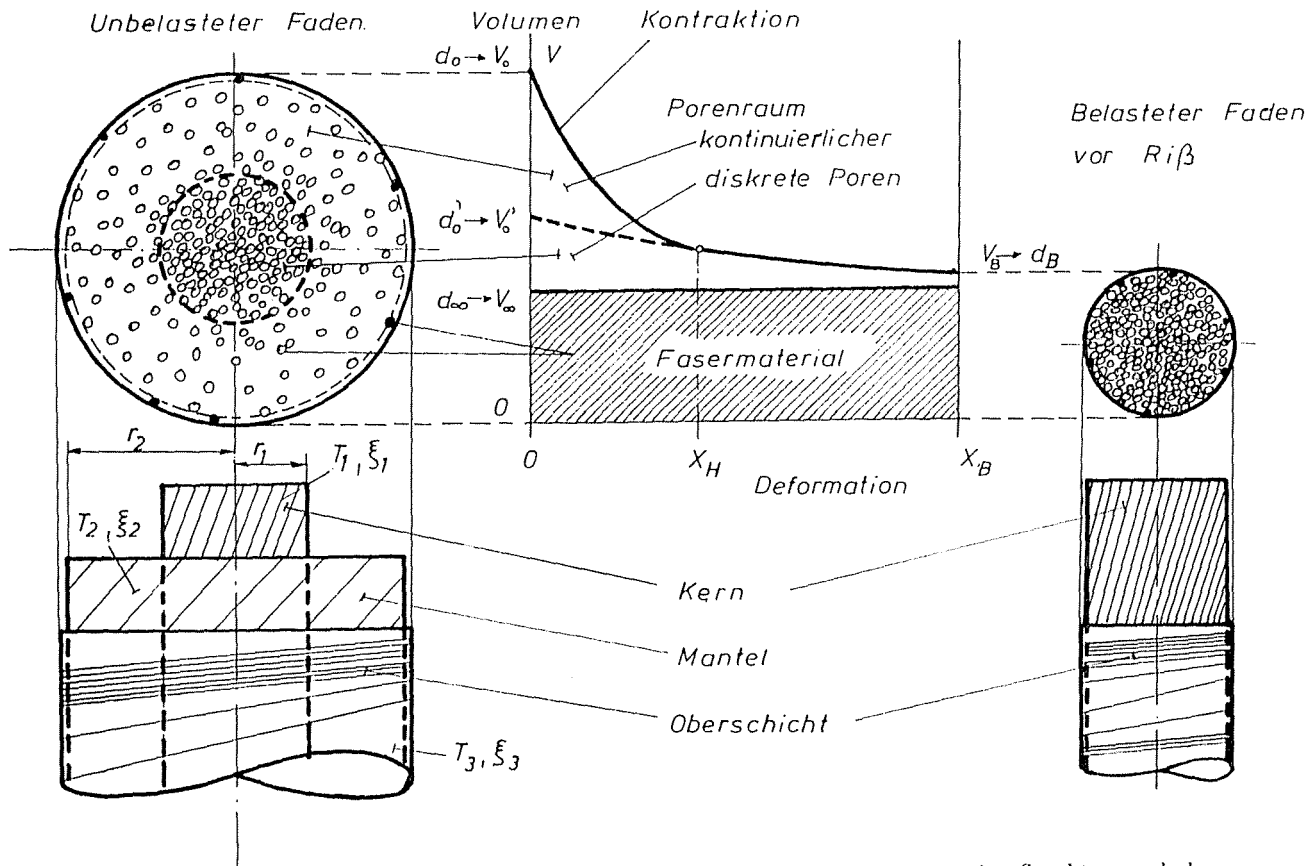


Abb. 1. Das Strukturmodell von Fäden und die Veränderung der Struktur und des Volumens während Zuges oder Drehens

und schließlich die Auflösung des Volumens V_{P_2} bedeutet. Am Ende des Prozesses, wenn noch kein Riß erfolgte, wird sich der Faden neben dem weiteren Ordnen der Fasern und weiterer Verminderung des Porenvolumens als immer homogäner, festerer Stoff bis zum seinen Riß benehmen.

2.2 Zusammenhänge zwischen Fadenvolumen, Drehungswinkel und Deformation

Die theoretischen und empirischen Zusammenhänge zwischen den Fadensausmassen, dem Drehungswinkel, das heißt dem Fasersteigungswinkel und die Deformation wurden in Abhängigkeit von dem Längenverhältnis l_0/l und dem Drehungsverhältnis T_0/T aufgestellt. Die für das Fadenvolumen angewendete allgemeine Form dieser Zusammenhänge [1, 2, 3, 7, 8, 9, 16] ist:

$$V = V_0[1 + x]^{-b}, \quad (1)$$

wo V_0 und V das Volumen des unbelasteten und belasteten Fadens und x die verallgemeinerte relative Deformation sind, welche wie folgt definiert wird:

$$\frac{1}{1+x} = \begin{cases} \frac{l_0}{l} = \frac{1}{1+u}, & \text{bei Zug,} \\ \frac{T_0}{T} = \frac{1}{1+w}, & \text{bei Drehen,} \end{cases} \quad (2)$$

wo l_0, T_0 und l, T die Länge und die Drehungszahl des unbelasteten und belasteten Fadens sind, sowie u und w die relative Veränderung der Fadlänge und der Drehungszahl bedeuten. Hier ist das sogenannte gehemmte Drehen zu verstehen, bei dem die Länge der Prüfprobe auf konstantem Wert gehalten wird ($l = l_0$). Drehen dieser Art entspricht dem Zug als etwa sein dualisches, weil beim Zug die Drehung ($N = N_0 = T_0 l_0$) der konstante Wert ist.

Betrachtend die Form nach (1) als Modell a, (Abb. 2), kann sie entsprechend den Modellen b, und c, in Abb. 2 weiterentwickelt werden. Einführend die folgende Bezeichnung ($b > 0$ im allgemeinen):

$$Y = [1 + x]^{-b} \quad (3)$$

und berücksichtigend das Verhältnis des Faserstoffes ξ_0 , werden wir die Formel für Modell b, bekommen:

$$V = V_0[\xi_0 + (1 - \xi_0)Y], \quad (4)$$

$$0 \leq \xi_0 = \frac{V_\infty}{V_0} \leq 1. \quad (5)$$

Wenn der Anteil des Porenvolumens V_{P2} durch α_0 bezeichnet wird:

$$0 \leq \alpha_0 = \frac{V_{P2}}{V_P} = \frac{V_0 - V_\infty}{V_0 - V_\infty} \leq 1 \quad (6)$$

kann die Formel auch für das Modell c, aufgestellt werden:

$$V = V_0 \{ \xi_0 + (1 - \xi_0) [\alpha_0 Y + (1 - \alpha_0) Y^k] \}, \quad (7)$$

wo $k \geq 1$ ist. Die Formel (7) entspricht der Fadenstruktur, die oben beschrieben wurde. In *Abb. 2* ist x_B die Bruchdeformation, das heißt die Bruchdehnung (u_B) oder die Bruchdrehungszahl (w_B).

Die für die Identifizierung geeignete Form des Zusammenhanges (7) ist:

$$V - V_\infty = a_1 [1 + x]^{-b_1} + a_2 [1 + x]^{-b_2}, \quad (8)$$

wo

$$\begin{aligned} b_1 &= b, \\ b_2 &= kb. \end{aligned} \quad (9)$$

Durch die gewöhnlich auf der Linearisierung fußenden Regressionsmethoden können die Exponenten b_1 und b_2 unmittelbar nicht bekommen werden, deswegen werden die Parameter a_1, a_2, b_1 und b_2 durch Regressionsrechnungen nach *Abb. 3* in zwei Schritten bestimmt.

Vorausgesetzt, daßes einen Wert $0 < x_H < x_B$ gibt, neben dem sich die folgenden erfüllen:

$$a_2 [1 + x]^{-b_2} \ll a_1 [1 + x]^{-b_1}, \quad x > x_H, \quad (10)$$

dann:

$$V - V_\infty \approx a_1 [1 + x]^{-b_1}, \quad x > x_H. \quad (11)$$

Einführend die folgenden logarithmischen Variablentransformationen (*Abb. 3b*):

$$\begin{aligned} Z &= \ln(V - V_\infty), \\ X &= \ln(1 + x), \end{aligned} \quad (12)$$

bekommen wir aus Formel (8):

$$Z \approx \ln[a_1 \exp(-b_1 X)_b + a_2 \exp(-b_2 X)]. \quad (13)$$

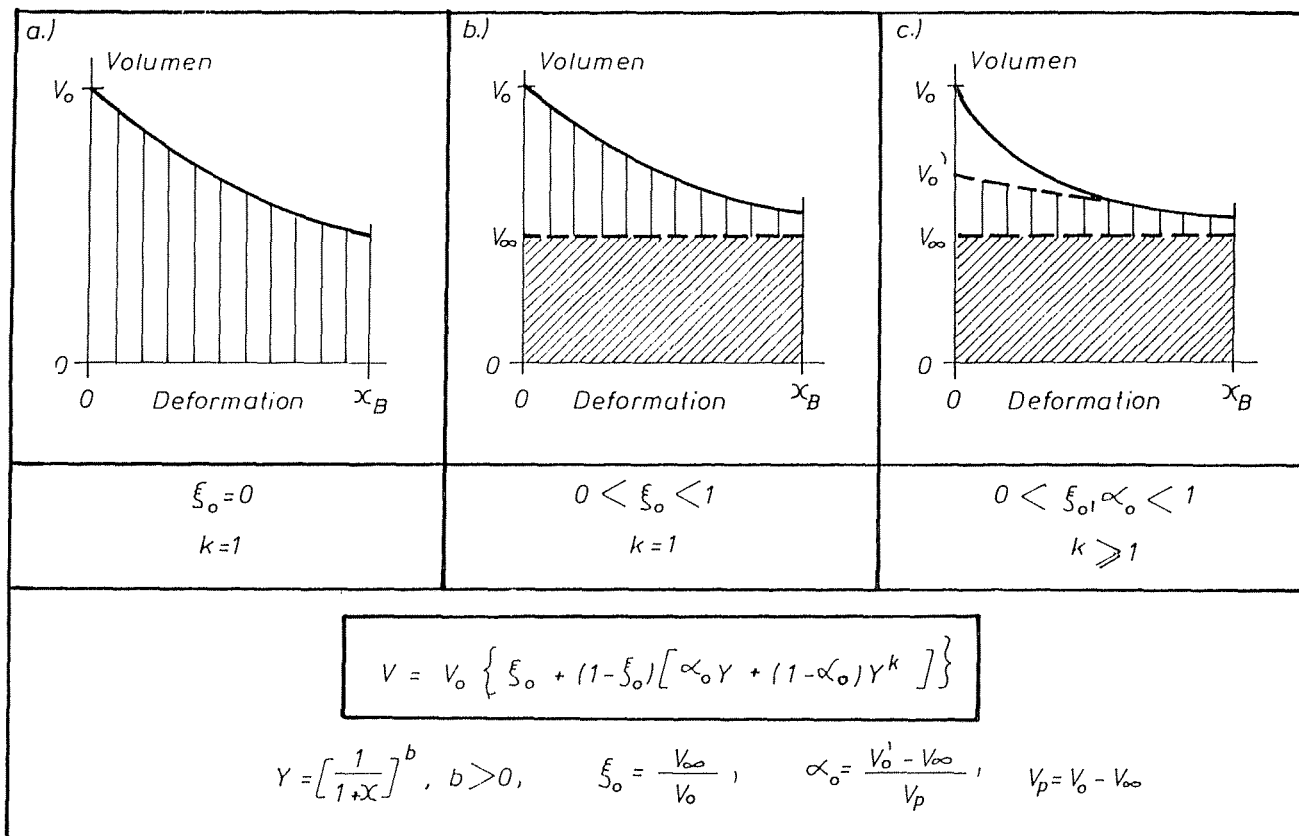


Abb. 2. Drei Modellvarianten für den Zusammenhang zwischen Volumen und gezwungener Deformation

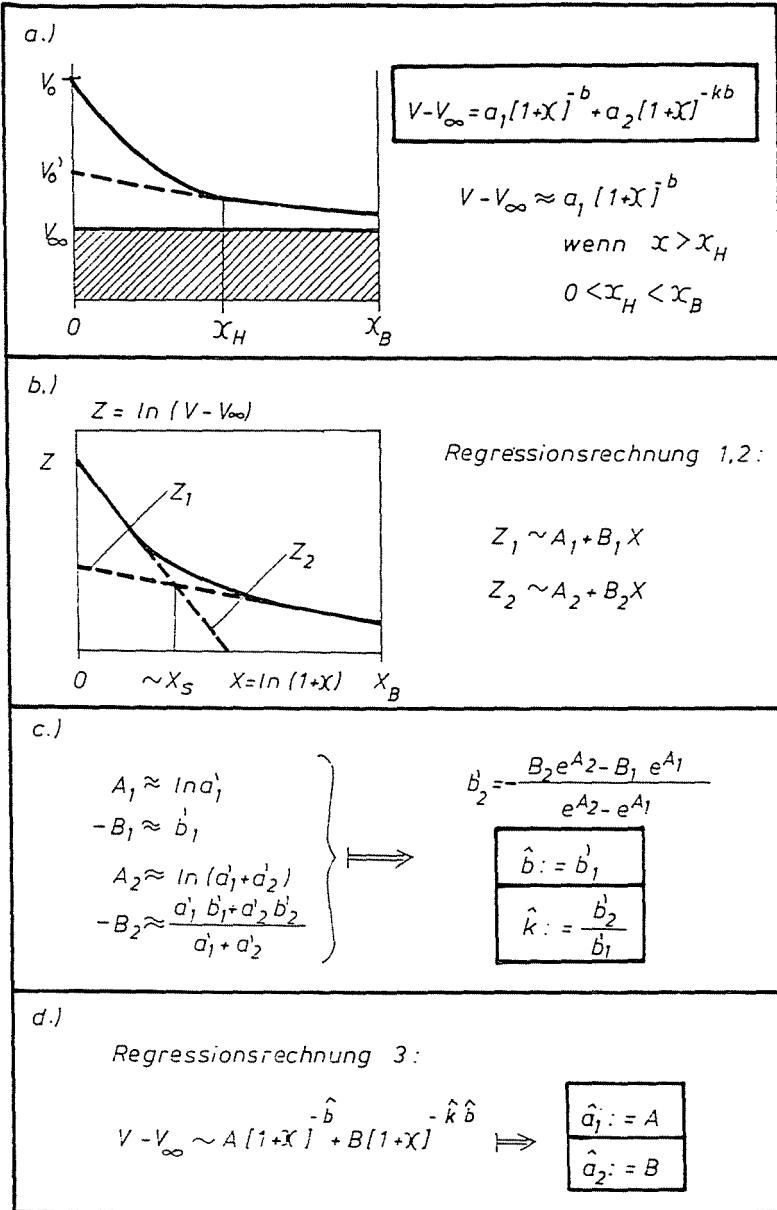


Abb. 3. Bestimmungsmethode für den Zusammenhang zwischen Volumen und Deformation durch Regressionsrechnungen in drei Schritten

Auch im diesem Fall kommt die asymptotische Formel (10) zur Geltung:

$$Z \approx \ln[a_1 \exp(-b_1 X)] = \ln a_1 - b_1 X, \quad X > X_H = \ln(1 + x_H). \quad (14)$$

Durch statistische Identifizierung mit Regressionsrechnung können die Exponenten b_1 und b_2 geschätzt werden, aber dazu muß man die gemessenen Werte in zwei Teile separieren. Zum Beispiel, als erste Annäherung kann der Wert X_S dafür gewählt werden (Abb. 9b).

Die Regressionsgleichung der Tangente im Punkt $X = 0$ ist:

$$Z_2 = A_2 + B_2 X. \quad (15)$$

Die ersten Schätzungen a'_i, b'_i von den Parametern a_i, b_i können aus den folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$\begin{aligned} A_2 &= \ln a'_1 + a'_2, \\ B_2 &= -\frac{a'_1 b'_1 + a'_2 b'_2}{a'_1 + a'_2}. \end{aligned} \quad (16)$$

andererseits ist die günstige Formel für die Identifizierungs-gleichung der Asymptote nach (1):

$$Z_1 = A_1 + B_1 X, \quad (17)$$

wo

$$\begin{aligned} A_1 &= \ln a'_1 \\ B_1 &= -b'_1 \end{aligned} \quad (18)$$

Aus den Gleichungen (16) und (18) können die Schätzungen \hat{b} und \hat{k} bestimmt werden:

$$\begin{aligned} \hat{b} &= b'_1, \\ \hat{k} &= \frac{b'_2}{b'_1} = \frac{B_2 e^{A_2} - B_1 e^{A_1}}{B_1 (e^{A_2} - e^{A_1})}. \end{aligned} \quad (19)$$

Hier sind a'_1 und a'_2 noch keine entsprechende Schätzungen, so muß noch eine Regressionsrechnung durchgeführt werden. Die Regressionsgleichung ist dafür:

$$V - V_\infty \approx AY + BY^{-\hat{k}}, \quad Y = [1 + x]^{-\hat{b}}. \quad (20)$$

Endlich bekommen wir die folgenden Schätzungen:

$$\begin{aligned} \hat{a}_1 &= A, \\ \hat{a}_2 &= B. \end{aligned} \quad (21)$$

Im Verlauf der Zugs- oder Drehensprüfung verändert sich nicht nur das Volumen und der Durchmesser, sondern auch die gemessene Drehungszahl.

Beim Zug ist die Drehung (N) konstant, aber wegen der Längenänderung (Δl) verändert sich die Drehungszahl (T). So ergibt sich aus der Definition der Drehungszahl [1, 2, 3]:

$$T = \frac{N}{l} = \frac{N}{l_0(1+u)} = \frac{T_0}{1+u}. \quad (22)$$

Beim Drehen ist die Länge konstant und die Drehungsänderung (ΔN) ist die Eingangswirkung, so nimmt auch die Drehungszahl entsprechend dem Eingang zu:

$$T = T_0 + \frac{\Delta N}{l_0} = T_0 + \Delta T = T_0(1+w). \quad (23)$$

Gemäß empirischen Erfahrungen folgt die gemessene Oberflächens-drehungszahl (ϑ), die aus dem gemessenen Fasersteigungswinkel (β) und Fadensdurchmesser (d) errechnet werden kann (Abb. 4a):

$$\vartheta = \frac{\operatorname{tg}\beta}{d\pi} \quad (24)$$

nicht vollkommen den theoretischen Formeln (22) und (23), sondern mit zunehmenden Deformationswerten u und w zeigt sie immer größere Abweichung. Diese Erscheinung kann mit strukturellen Veränderungen und den Ausrutschungen von Fasern erklärt werden. Infolgedessen werden die folgenden Annäherungszusammenhänge für die hiesigen Regressionsrechnungen verwendet; für den Zug ist:

$$\vartheta \approx \frac{\vartheta_0}{[1+u]^c} \quad (25)$$

solange zweierlei Formen für das Drehen angewendet werden:

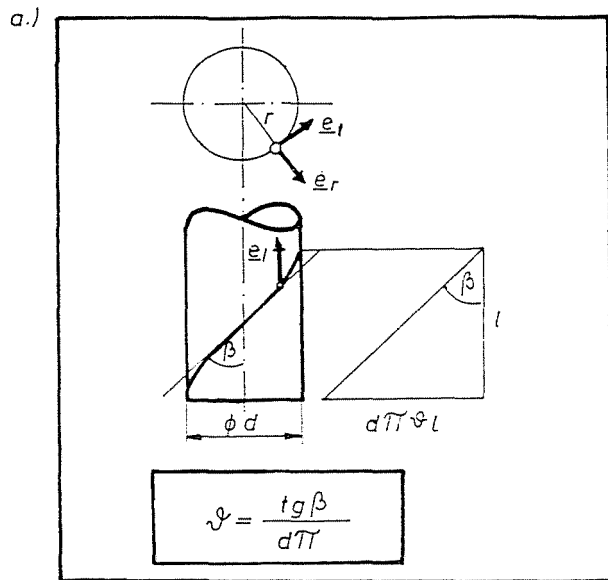
$$\vartheta \approx \vartheta_0 + a_1\Delta T = \vartheta_0 + a_1T_0w, \quad (26a)$$

$$\vartheta \approx \vartheta_0 + a_1\Delta T + a_2(\Delta T)^2 = \vartheta_0 + a_1T_0w + a_2T_0^2w^2. \quad (26b)$$

Abb. 4b stellt die Kurvenformen für die Formeln (22) und (25), sowie (23) und (26b) dar.

2.3 Spezielle und kritische Fälle der Fadensvolumenänderung

Im Fall der Raumbeständigkeit ($V = V_0$) ist der Exponent b in den Formeln (3) und (7) Zero, so ergibt sich der Durchmesser für den Zug ($V = d^2\pi l/4$, $l = l_0(1+u)$):



b.)

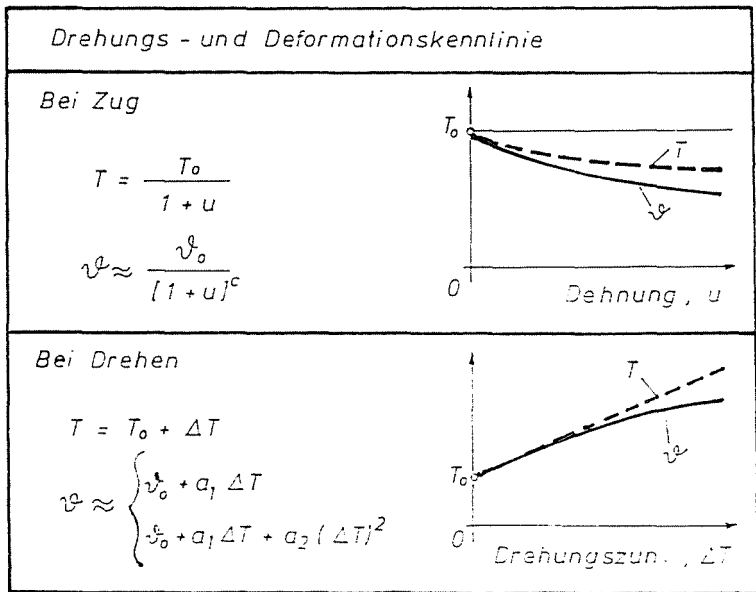


Abb. 4. Bestimmung der Drehungszahl aus den auf der Fadenoberfläche gemessenen Daten (a) sowie die Drehungs- und Deformationskennlinie bei Zug und Drehen (b)

$$d = d_0[1 + u]^{-\frac{1}{2}}, \quad (27)$$

solange der Durchmesser beim Drehen konstant ist ($d = d_0$).

Die Verminderung des Fadensvolumens kann man kritisch nennen, wenn die Durchmesseränderung die Grenze erreicht, über der die Spannung der Fasern auf der Fadensoberfläche abnimmt, dadurch sie lockerer, sogar locker werden. Im kritischen Fall bleiben die Länge der Fasern auf der Oberfläche (l_f) konstant (Abb. 4a):

$$l_f = l[1 + tg^2\beta]^{+\frac{1}{2}} = l_{f_0} = l_0[1 + tg^2\beta_0]^{+\frac{1}{2}}, \quad (28)$$

wo — beachtend hier den idealen Fall, demnach $\vartheta = T$ — :

$$\begin{aligned} tg\beta &= d\pi T, \\ tg\beta_0 &= d_0\pi T_0. \end{aligned} \quad (29)$$

Mit Substituierungen und Umgestaltungen kann man aus den Gleichungen (28) und (29) das Fadensvolumen ausdrücken:

$$V = V_0 \frac{l_0 T_0^2}{l T^2 tg^2\beta_0} [1 + tg^2\beta_0 - \frac{l^2}{l_0^2}]. \quad (30)$$

Beim Zug ist es gültig:

$$\begin{aligned} l &= l_0(1 + u), \\ N = Tl &= N_0 = T_0 l_0, \end{aligned}$$

und nach den Berechnungen ergibt sich das Volumen:

$$V = V_0 \frac{1 + u}{tg^2\beta_0} [1 + tg^2\beta_0 - (1 + u)^2]. \quad (31)$$

Beim Drehen gelten die folgenden:

$$\begin{aligned} l &= l_0, \\ T &= T_0(1 + w) \end{aligned}$$

und nach den Substituierungen bekommen wir:

$$V = V_0 \frac{T_0^2}{T^2} = \frac{V_0}{(1 + w)^2}. \quad (32)$$

2.4 Deformationsempfindlichkeit aufgrund der Zusammenhänge

Aus den durch Regressionsrechnungen identifizierten Zusammenhängen kann man auch die sogenannte Deformationsempfindlichkeit ableiten und in charakteristischen Punkten errechnen.

Die charakteristischen extensiven geometrischen Kennzeichen sind die Länge (l) für den Zug und die absolute Drehung (N) für das Drehen (Abb. 4a). Seien die gemeinsame Bezeichnungen λ für l und N , sowie q für den Durchmesser (d) und die gemessene Drehungszahl (ϑ). Die Empfindlichkeit der Größe q für die Deformation λ ist in diesem Fall:

$$\nu_{\lambda q} = \frac{\lambda(x)q'(x)}{q(x)\lambda'(x)} = (1+x) \frac{q'(x)}{\lambda'(x)}, \quad (33)$$

wo q' und l' die Differentialquotienten von q und λ sind und x nach der Definition (2) das folgende ist:

$$x = \begin{cases} \Delta l/l_0 = u, & \text{bei Zug,} \\ \Delta N/N_0 = \Delta T/T_0 = w & \text{bei Drehen.} \end{cases} \quad (34)$$

Es ist bemerkenswert, daß im Fall $q = d = 2r$ der Absolutwert der Deformationsempfindlichkeit als eine Art lokaler Poisson-Koeffizient ausgelegt werden kann:

$$|\nu_{\lambda d}| = |\nu_{\lambda r}| = \left| \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_\lambda} \right| \approx \left| \frac{\frac{\Delta d}{d}}{\frac{\Delta \lambda}{\lambda}} \right| \approx \left| \frac{\lambda(x)d'(x)}{d(x)\lambda'(x)} \right|, \quad (35)$$

wo ε_r und ε_λ die relativen Dehnungen in den durch die Einheitsvektor \mathbf{e}_r und \mathbf{e}_λ ($\lambda \in \lambda, t$) gezeichneten Richtungen (Abb. 4a),

Wenn $q = d = 2r$, ergibt sich die entsprechende Formel für die Empfindlichkeit aufgrund der Gleichungen (7) (Abb. 2c), (33) sowie $d = [4V - \pi l]^{\frac{1}{2}}$:

$$\nu_{\lambda r}(x) = -\frac{1}{2} \frac{A + (1 - \xi_0)\alpha_0 B_1 Y + (1 - \xi_0)(1 - \alpha_0) B_2 Y^k}{\xi_0 + (1 - \xi_0)\alpha_0 Y + (1 - \xi_0)(1 - \alpha_0) Y^k}, \quad (36)$$

wo

$$Y = [1 + x]^{-b}.$$

Im Fall des Zuges ist es gültig:

$$A = \xi_0, \quad B_1 = b + 1, \quad B_2 = kb + 1 \quad (37a)$$

und für das Drehen:

$$A = 0, \quad B_1 = b, \quad B_2 = kb. \quad (37b)$$

Für spezielle Fälle (*Abb. 2a* und *b*) ist die Formel (36) einfacher. Zum Beispiel, im Fall von *Abb. 2a* gilt $V = V_0 Y$ und die Empfindlichkeit ist dafür:

$$\nu_{\lambda r} = -\frac{1}{2} B_1. \quad (38)$$

Im kritischen Fall ist der Fadensdurchmesser aus (30):

$$d = \frac{d_0}{tg\beta_0} \frac{l_0 T_0}{lT} \sqrt{1 + tg^2\beta_0 - \frac{l^2}{l_0^2}}. \quad (39)$$

Die für den Zug angewendete Gleichung (39) ist:

$$d(u) = \frac{d_0}{tg\beta_0} \sqrt{1 + tg^2\beta_0 - (1 + u)^2} \quad (40)$$

und die kritische Deformationsempfindlichkeit:

$$\vartheta_{lr}^*(u) = -\frac{(1 + u)^2}{1 + tg^2\beta_0(1 + u)^2} \quad (41)$$

sowie der konkrete Wert ist im Fall $u = 0$:

$$\nu_{lr}^*(0) = -\frac{1}{tg^2\beta_0}. \quad (41a)$$

Beim Drehen bekommen wir einfachere Formeln. Sie sind in der obigen Reihenfolge:

$$d(w) = \frac{d_0}{1 + w}, \quad (42)$$

$$\nu_{Nr}^*(w) = -1, \quad (43)$$

das heißt, die kritische Empfindlichkeit ist hier konstant. Es ist einzusehen, daß $\vartheta_{\lambda r}(x) \leq \vartheta_{\lambda r}(0)$, das heißt der relative Gradient ist der größte, wenn $x = 0$. So können die Werte nach (36) mit den kritischen nach (41a) und (43) verglichen werden. Es gibt keine Faserverlockerung, wenn $\nu_{\lambda r}(0) \geq \nu_{\lambda r}^*(0)$, Zum Beispiel bekommen wir im Fall für *Abb. 2a* aus (38), (41a) und (43):

$$\text{beim Zug: } b \leq \frac{2}{tg^2\beta_0} - 1 = b^*, \quad (44a)$$

beim Drehen: $b \leq 2$. (44b)

In dieser Deutung gibt es einen Grenzwert für den Drehungswinkel β_0 beim Zug. Dieser Wert ist z.B. bei Raumbeständigkeit ($b = 0$):

$$\beta \leq 54,74^\circ. \quad (45)$$

Schließlich bekommen wir berechnend die Deformationsempfindlichkeit für die gemessene Drehungszahl (ϑ), aus (25) für den Zug:

$$\nu_{l\vartheta} = -c, \quad (46)$$

sowie aus (26a) und (26b) für das Drehen:

$$\nu_{N\vartheta}(w) = a_1 T_0 \frac{1+w}{\vartheta_0 + a_1 T_0 w}, \quad (47a)$$

$$\nu_{N\vartheta}(w) = \frac{a_1 T_0 + (a_1 T_0 + 2a_2 T_0^2)w + 2a_2 T_0^2 w^2}{\vartheta_0 + a_1 T_0 w + a_2 T_0^2 w^2}. \quad (47b)$$

In beiden Fällen für das Drehen ist die Empfindlichkeit bei $w = 0$:

$$\nu_{N\vartheta}(0) = a_1 T_0 / \vartheta_0. \quad (48)$$

3. Zug- und Drehungsprüfgerät mit Bildverarbeitungssystem

Die Zug- und Drehprüfungen von Fäden wurden unter einem Projektormikroskop Typ. Projectina 4011-4016/MMA durch ein spezielles Gerät durchgeführt. Dieses auf dem Objektisch montierte Gerät ist geeignet, die eingeklemmte 50 mm lange Fadensprobe zu drehen oder ziehen (*Abb. 5*), inzwischen auch die Fadenzugkraft durch DMS gemessen werden kann, um den Fadenbruch genau und rechtzeitig wahrzunehmen.

Der Hintergrund ist schwarz und der Faden wird von zwei Seiten durch Quartzjodid-Lampen und Spiegel beleuchtet. Anstelle des Okulars ist eine CCD Kamera mit einer Auflösung von 760×576 Pixels befestigt, die durch eine Videodigitizer-Karte mit einem Rechner PC/AT486 geknüpft ist.

Die durch die Kamera beförderten Bildinformationen werden durch ein spezielles Bildverarbeitungsprogramm bearbeitet und aus den Grauwerten von Pixels werden der lokale Fadensdiameter und Drehungswinkel bestimmt [17]. *Abb. 6* zeigt das gespeicherte Bild und die Bestimmungsmethoden. Auf dem Bild sind zwei Fenster zu öffnen, um entsprechende Bildinformationen zu umgrenzen.

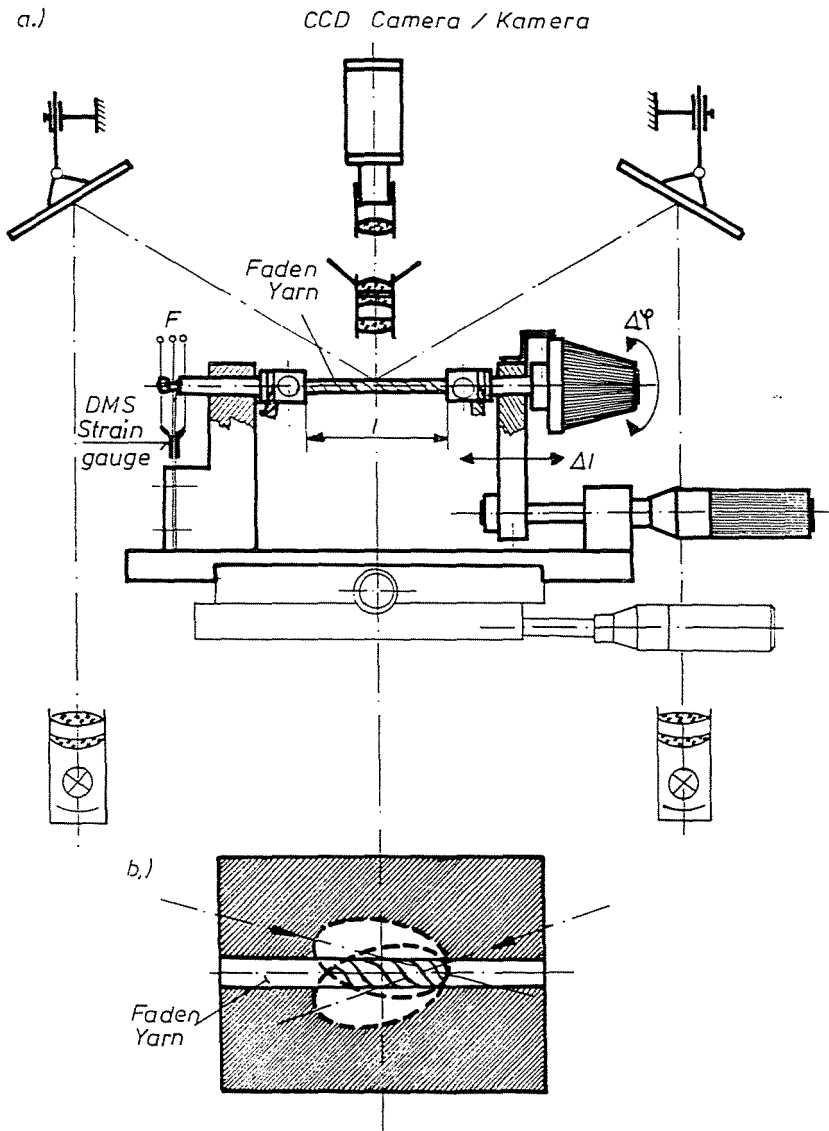


Abb. 5. Zug- und Drehgerät mit Mikroskop und Bildanalysensystem verknüpft (a), sowie die Beleuchtungsmethode von Fäden (b)

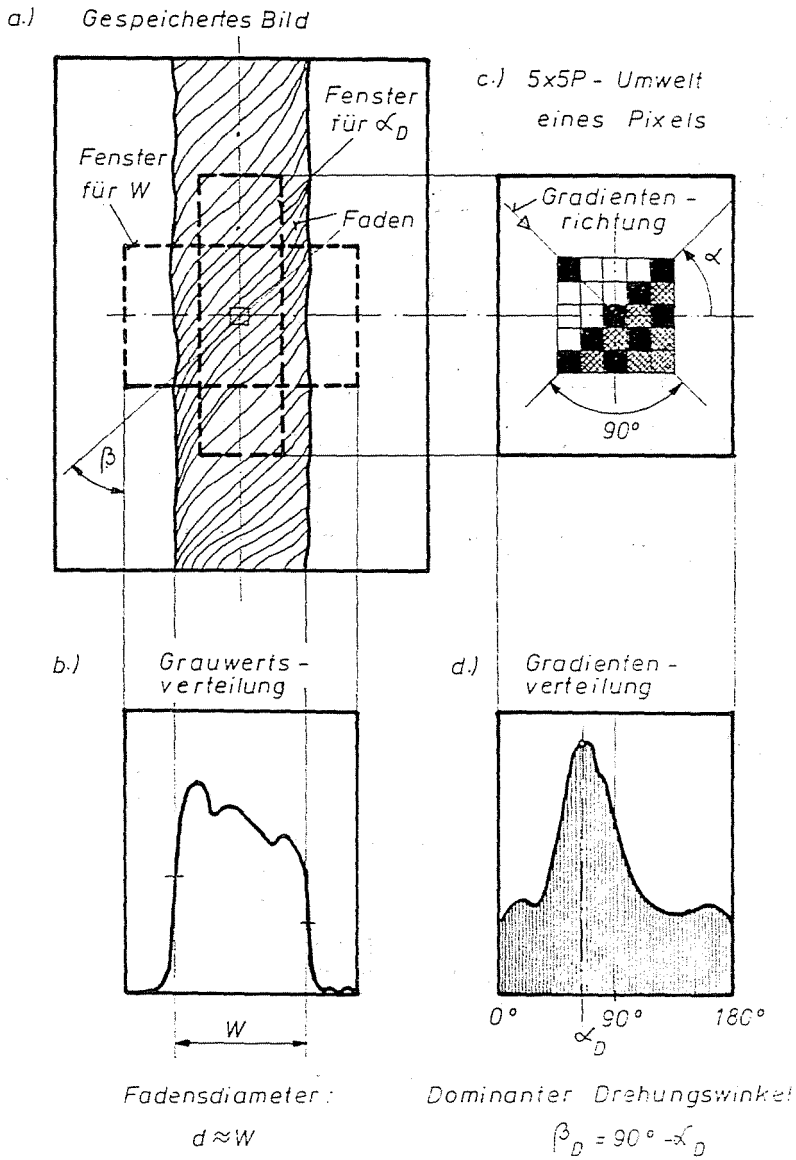


Abb. 6. Bestimmungsmethode für den Fadensdurchmesser und den Drehungswinkel.
 a) Das gespeicherte Bild mit Messungsfenstern; b) Grauwertsverteilungsdichte;
 c) 5 x 5 Punkt-Umwelt eines Pixels; d) Fasernwinkelsverteilungsdichte

In einem Querschnittsfenster werden die Pixels je Reihe abgetastet und die Grauwertsverteilung wird durch Durchschnittsrechnung (*Abb. 6.b*). Der Fadendurchmesser wird als Konturbreite, das heißt als Abstand von den Inflexionspunkten bestimmt.

In einem zwischen den Konturlinien geöffneten Fenster wird der auf die Gradientenrichtung senkrechte Richtungswinkel α in der Umwelt von jedem Pixel (5×5 Punkte in *Abb. 6.c*) rechnet und die dominante Spitze der Verteilung von α -Werten bestimmt den Winkel α_D . Daraus ergibt sich der dominante Drehungswinkel β_D :

$$\beta_D = 90^\circ - \alpha_D. \quad (49)$$

4. Meßergebnisse und Auswertungen

4.1 Prüfgüter und Prüfmethode

Tabelle 1
Grunddaten der geprüften Fäden

Faden	Kunstseide	Ringgarn (gekämmt)	Turbinengarn (kardiert)
Fasermaterial	Polyester	PES 66%	Baumwolle
	100%	Bw 33%	100%
Fadensfeinheit (nominell)	15 tex	16,7 tex	29,4 tex
Drehungszahl (nominell)	30-m	900-m	920-m
Faserdichte	$\approx 1,38$	$\approx 1,41$	$\approx 1,52$
ρ [g/cm ³]			
Faseranzahl im Querschnitt	48	≈ 99	≈ 173
V_∞ [mm ³] (nom.)	0,543	0,592	0,967
d_∞ [μ m] (nom.)	118	123	157

Es wurden dreierlei Fäden geprüft (*Tab. 1*): eine Polyester-Seide (PES, 15 tex), ein Polyester-Baumwolle Ringgarn (16,7 tex) und ein Baumwolle-Turbinengarn. Bei jedem Deformationswert (Dehnung u oder Drehung w wurde in 12–16 Stufen gesteigert) wurden der Durchmesser und der Dreh-

ungswinkel auf 10 Querschnittsstellen des Fadens gemessen und die Durchschnittswerte berechnet.

Der mit nur einer kleinen Schützungs-drehung versehenen PES Seide wurde vor dem Zug eine Zusatzdrehung von 200/m gegeben.

Als Beispiel sind die Grauwerts- und Gradientenverteilungen in *Abb. 7* dargestellt, die bei der Zugprüfung des Ringgarnes bestimmt wurden: vor dem Zugprüfung (links), nach der Dehnung von 15% (in der Mitte) und nach der Bruchdehnung von 16,8% (rechts). Hervorstehende Fasern verursachten die sekundären Spitzen, die auf zwei Grauwertsverteilungen sichtbar sind. Die Diagramme rechts wurden auf der Bruchstelle gemessen, wo eine kleine Faserbrücke mit hoher Drehungszahl entstand.

4.2 Ergebnisse der Anpassung mit Regressionsmethoden

Die *Tabelle 2* enthält die Ergebnisse der Regressionsrechnungen für den Zusammenhang zwischen Volumen und Deformation aufgrund der Modelle a, b und c (*Abb. 2a,b,c*).

Aus *Tab. 2* ist festzustellen, daß die Verfeinerung des Modells in der Mehrheit der Fälle die Anpassung, dadurch den Korrelationskoeffizienten (r) wesentlich verbesserte, aber in manchen Fällen das Modell c brachte keine Verbesserung im Vergleich zu Modell b hervor.

Im Fall des Drehens von dem PES Seide zeigt *Abb. 8* die gemessenen Punkte und die Regressionsgeraden für Modell a (*Abb. 8.a*) und Modell b (*Abb. 8.b*). Hier ist der Korrelationskoeffizient ziemlich hoch schon auch für Modell a. ($r = -0,975$). Die Anwendung von Modell b verbesserte wohl den ($r = -0,99$), aber das Modell c brachte keine Verbesserung und im wesentlichen die gleichen Parametern wie Modell b. Das ist damit zu erklären, daß der Wert $x_H \geq x_B$ (*Abb. 2c*), das heißt die gemessenen Punkte können hier durch nur eine einzige Kurve angenähert werden.

Abb. 9 zeigt ein Beispiel für einen anderen Fall, wo die Ergebnisse beim Zug von dem PES Seide erhalten wurden. Hier gab schon auch das Modell a einen relativ kleinen Korrelationskoeffizienten ($r = -0,755$ in *Abb. 9.a.*), die Anwendung von Modell c. (*Abb. 9.b* und *c*) brachte dagegen eine wesentliche Zunahme im Absolutwert ($r = -0,977$ in *Tab. 2*). Die Ergebnisse von dieser Art beweisen die Anwendbarkeit von Modell c und bestätigt auch das im oberstehenden beschriebene Strukturmodell für Fäden.

Tab. 3 enthält die Ergebnisse der Regressionsrechnungen für den Zusammenhang zwischen der gemessenen Drehungszahl (z) und der Deformation aufgrund der theoretischen Gleichungen (22),(23) und der praktischen Annäherungen (25),(26a) und (26b). Aus den Parameterwerten in *Tab. 3* (wo T_0 eine vorhergeschätzte Drehungszahl zur Rechnung der Werte

Ringgarn,

$u = 0$

$u = 15\%$

$u = 16,8\%$, bei Bruch

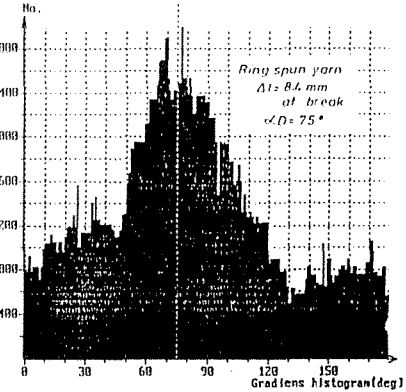
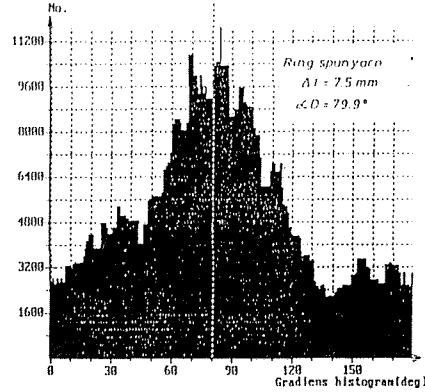
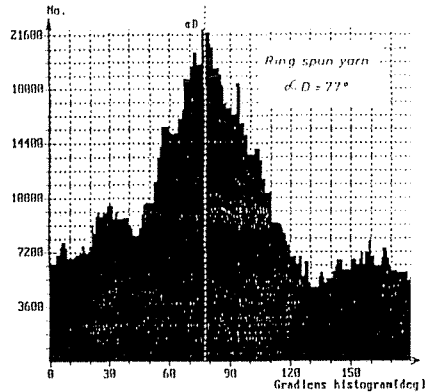
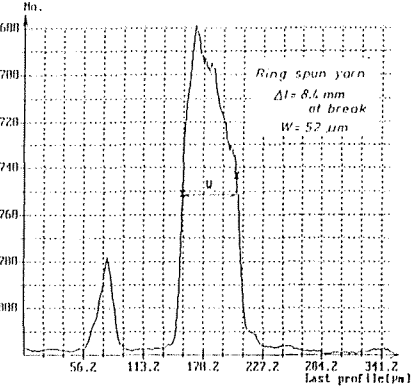
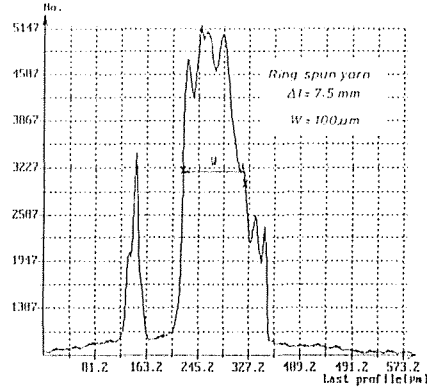
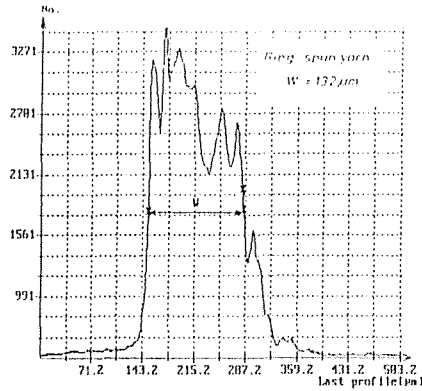


Abb. 7. Grauwerts-Faserwinkeldiagrammpaaren, die beim Zug von Ringgarnes gemessen wurden: vor dem Zug, bei der Dehnung von 15% und bei der Bruchdehnung von 16,8%

Tabelle 2
Die Ergebnisse der Regressionsrechnungen
für den Zusammenhang zwischen Volumen [mm] und Deformation

Faden und Prüfung	Par.	Modell a (Abb. a)	Modell b (Abb. b)	Modell c (Abb. c)
PES	r	-0.689	-0.755	-0.977
	V	1.103	1.071	1.616
	b	2.532	6.193	2.0
	ξ_0	0.0	0.507	0.336
Zug	k	1	1	26.0
	α_0	—	—	0.206
	r	-0.303	-0.215	-0.883
Ringg.	V	0.542	0.517	0.645
	b	0.906	3.466	3.0
	ξ_0	0.0	0.837	0.672
Zug	k	1	1	18.0
	α_0	—	—	0.264
	r	-0.975	-0.990	-0.990
PES (1)	V	4.745	6.326	6.326
	b	0.501	0.927	0.927
	ξ_0	0.0	0.086	0.086
Drehen	k	1	1	1
	α_0	—	—	—
	r	-0.982	-0.986	-0.974
PES (2)	V	3.401	4.228	4.037
	b	0.418	0.787	0.690
	ξ_0	0.0	0.128	0.135
Drehen	k	1	1	2.0
	α_0	—	—	0.831
	r	-0.880	-0.872	-0.976
Ringg. (1)	V	0.912	0.959	1.123
	b	0.519	0.1786	0.460
	ξ_0	0.0	0.449	0.383
Drehen	k	1	1	5.8
	α_0	—	—	0.10
	r	-0.681	-0.703	-0.862
Ringg. (2)	V	0.708	0.704	0.779
	b	0.152	0.521	0.264
	ξ_0	0.0	0.674	0.610
Drehen	k	1	1	42.0
	α_0	—	—	0.606
	r	-0.958	-0.919	-0.919
Turb.g.	V	2.056	2.396	2.396
	b	1.139	3.919	3.919
	ξ_0	0.0	0.357	0.357
Drehen	k	1	1	1
	α_0	—	—	—

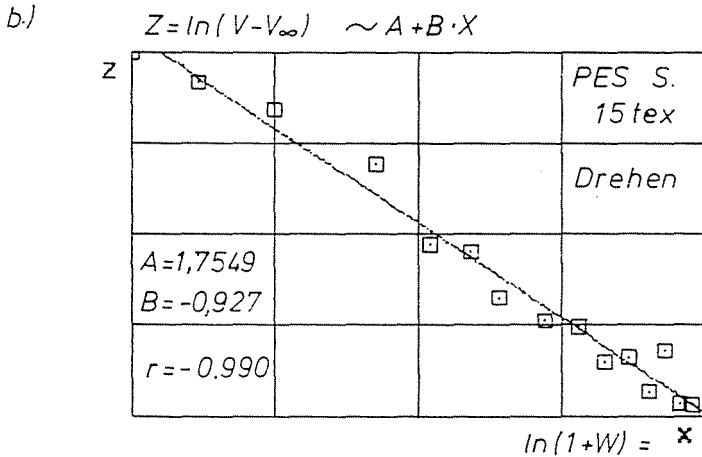
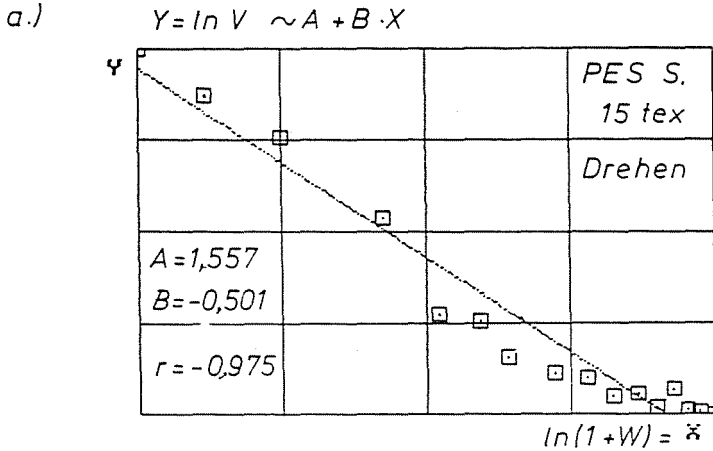


Abb. 8. Regressionsgeraden, die aus den beim Drehen der Polzester Seide gemessenen Daten errechnet wurden: für die Modelle nach Abb. 2a (a.) und Abb. 2b (b.)

$w = T/T_0$ ist) ist festzustellen, daß die praktischen Annäherungen bessere Anpassungen brachten und wenn der Anfangswert T_0 der theoretischen Kurven (mit gestrichelten Linien gezeichnet in Abb. 10 und 11) aus den praktischen Anpassungen genommen wird, ist es ersichtlich, daß die theoretische Kurve unter der entsprechenden praktischen verläuft (Abb. 11b), was sich im geprüften Bereich auch in dem Fall erfüllt, wenn die angepasste Kurve konvex von unten ist. Das bedeutet, daß die in der Prüfprobe gespeicherte Drehung auf der Fadenoberfläche nicht ganz erscheint. Es ist damit zu erklären, daß strukturelle Veränderungen während des Zuges oder Drehens, und zwar Verschiebungen zwischen den einzelnen Fasern oder

Tabelle 3

Die Ergebnisse der Regressionsrechnungen für den Zusammenhang zwischen gemessene Drehungszahl und Deformation

ZUG		T_0	u_B		$\vartheta \approx \frac{\vartheta_0}{1+u}$	$\vartheta \approx \frac{\vartheta_0}{[1+u]^c}$
		$1/m$				
PES	180	0,29	ϑ_0		182,7	171,6
			c		1	0,246
			r		-0,092	-0,117
Ringg.	709	0,17	ϑ_0		712,4	764,3
			c		1	2,3
			r		-0,851	-0,854
DREHEN		T_0	w_B		$\vartheta \approx \vartheta_0 + a_1 \Delta T$	$\vartheta \approx \vartheta_0 + a_1 \Delta T + a_2 \Delta T^2$
		$1/m$				
PES (1)	30	80,0	ϑ_0		41,8	-14,0
			a_1		0,725	1,0
			a_2		-	$-1,45 \cdot 10^{-4}$
			r		0,986	0,997
PES (2)	30	76,0	ϑ_0		32,7	8,3
			a_1		0,774	0,911
			a_2		-	$-8,21 \cdot 10^{-5}$
			r		0,997	0,999
Ringg. (1)	472	3,52	ϑ_0		572,7	502,0
			a_1		0,732	1,05
			a_2		-	$-2,02 \cdot 10^{-4}$
			r		0,979	0,999
Ringg. (2)	589	2,55	ϑ_0		716,4	737,0
			a_1		0,562	0,403
			a_2		-	$1,30 \cdot 10^{-4}$
			r		0,848	0,989
Turb.g.	468	1,28	ϑ_0		474,0	495,0
			a_1		0,975	0,598
			a_2		-	$8,04 \cdot 10^{-4}$
			r		0,937	0,998

dem Kern und dem Mantel auftreten. Diese Erscheinung ist durch die Anpassungsergebnisse für den Zug (*Abb. 10*) und das Drehen (*Abb. 11*) des Ringgarnes demonstriert.

4.3 Empfindlichkeitsprüfungen

Die *Tabelle 4* enthält die Ergebnisse der Deformationsempfindlichkeitsprüfungen, und zwar die aus den Regressionszusammenhängen berechneten Werte bei den Null- und Bruchdeformationen ($\nu_{\lambda q}(0)$ und $\nu_{\lambda q}(x_B)$) und

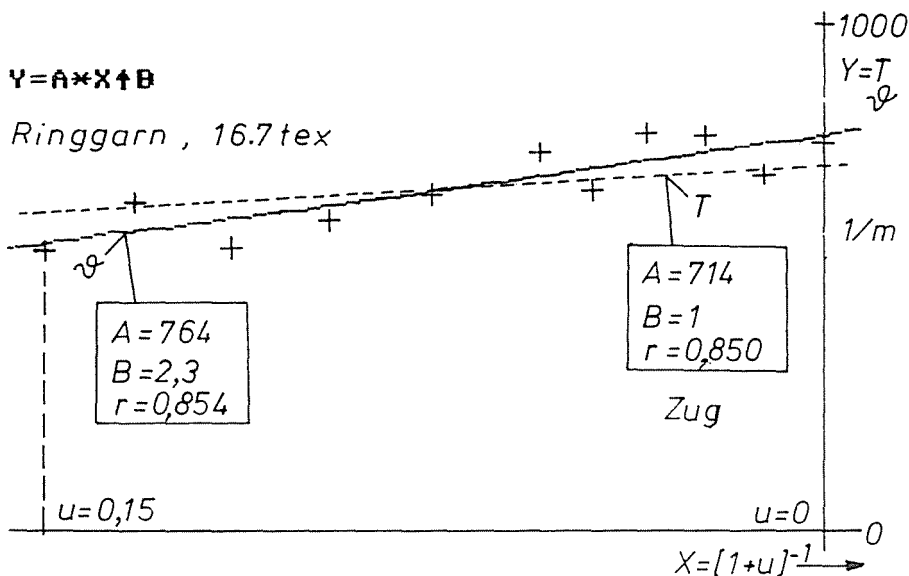


Abb. 10. Regressionszusammenhänge für die Drehungszahl nach (22) und (25) aus den beim Zug von Ringgarn gemessenen Daten

auch die theoretischen Werte für Nulldeformation in dem kritischen Fall ($\nu_{\lambda q}^*$).

Aus Tab. 4 geht es hervor, daß die Anfangsempfindlichkeitswerte beim Zug ziemlich groß sind (7-15), was sehr große Volumens- oder Durchmesser- vermindierungen am Anfang bedeutet, sie sind aber kleiner als die kritischen Werte (14,4; 76; 7,2; 12,3). Gleichzeitig sind diese Werte bis auf einen beim Drehen klein (0,35-0,86) und kleiner als der kritische Wert (1). Die Ausnahme unter den geprüften Proben ist nur das Turbinengarn, bei dessen Drehen der Anfangswert (1,26) größer als der kritische (1) ist, so werden die Fasern auf der Oberfläche am Anfang des Drehens locker. Folglich hat das Turbinengarn vermutlich eine Kern-Mantel Struktur mit verschiedenen Kern- und Mantelbereichen.

Andererseits sind die Empfindlichkeitswerte beim Bruch kleiner als 1 beim Zug (0,61-0,72), solange sie beim Drehen sehr klein (0,029-0,130) sind. Das bedeutet, daß Deformation beim Drehen nahe dem Bruch, ungefähr neben der Raumbeständigkeit eintritt, das heißt der Fadenkörper benimmt sich in diesem Zustand wie das Gummi.

Die Anfangsempfindlichkeit für die gemessene Drehungszahl bestimmen der Exponent c beim Zug und der Koeffizient a oder a_1 beim Drehen, vorausgesetzt, $\vartheta_0 = T_0$, wie es auch in Tab. 4 verwendet wurde. Es ist bemerkenswert, daß der Wert der Koeffizienten a beinahe 1 ist, wenn die

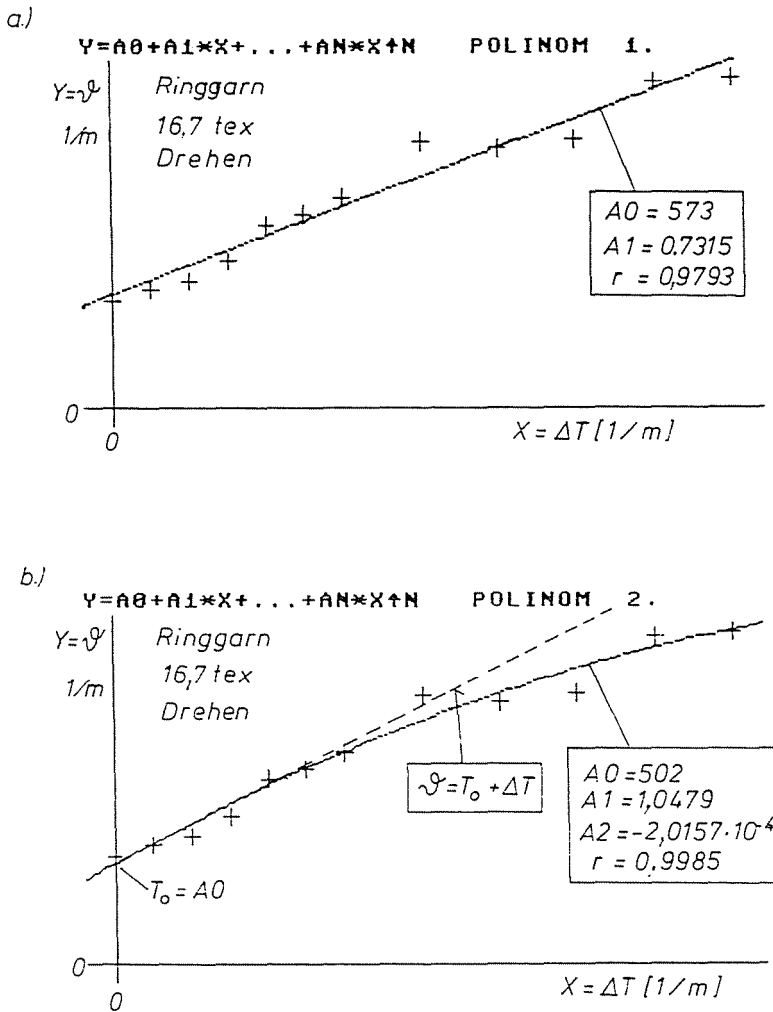


Abb. 11. Regressionszusammenhänge für die Drehungszahl nach (26a) (a), sowie (23) und (26b) (b) aus den beim Drehen von dem Ringgarn gemessenen Daten

angepaßte Kurve von unten konkav ist. Diese Tatsache weist auf eine Möglichkeit für die kombinierte optisch-mechanische Drehungsmeßung hin.

5. Anwendungsmöglichkeit bei der Fadenmodellierung

Die Zusammenhänge zwischen Fadensdurchmesser und Deformation sind unmittelbar benutzbar in Fadenmodellen, wo die Struktur aus abhängigen

Tabelle 4

Identifizierte und kritische Werte der Deformationsempfindlichkeit für den Fadensdurchmesser (Modell a., b. und c. nach nach Abb.2) und die Drehungszahl (nach Gl.(25),(26b))

Faden und Prüfung	ν	Für Fadensdurchmesser: $\nu_{\lambda\vartheta}(x)$			Für gem. Drehungsz.
		Modell a	Modell b	Modell c	$\nu_{\lambda\vartheta}(x)$
PES	ν^0	-1,766	-2,027	-14,349	-0,246
	ν^B	-1,766	-1,018	-0,696	-0,246
Zug	ν^*	-76,0	-76,0	-76,0	-
Ringg.	ν^0	-0,953	-0,782	-7,156	-2,30
	ν^B	-0,953	-0,677	-0,615	-2,30
Zug	ν^*	-12,30	-12,30	-12,30	-
PES (1)	ν^0	-0,251	-0,424	-0,424	1,0
	ν^B	-0,251	-0,071	-0,071	0,496
Drehen	ν^*	-1,0	-1,0	-1,0	-
PES (2)	ν^0	-0,209	-0,343	-0,349	0,911
	ν^B	-0,209	-0,072	-0,074	0,737
Drehen	ν^*	-1,0	-1,0	-1,0	-
Ringg. (1)	ν^0	-0,259	-0,493	-0,755	1,050
	ν^B	-0,259	-0,069	-0,048	0,489
Drehen	ν^*	-1,0	-1,0	-1,0	-
Ringg. (2)	ν^0	-0,076	-0,085	-0,885	0,403
	ν^B	-0,076	-0,052	-0,029	1,115
Drehen	ν^*	-1,0	-1,0	-1,0	-
Turb.g.	ν^0	-0,569	-1,260	-1,260	0,598
	ν^B	-0,569	-0,130	-0,130	1,496
Drehen	ν^*	-1,0	-1,0	-1,0	-

Faserbündeln, in den die Fasern reißen können, gebaut ist. In einem solchen Modell wird das Benehmen des gedrehten Faserbündels bis auf den letzten Faserbruch errechnet und auch der Höchstkraftwert (F_B) kann bestimmt werden [16].

Abb. 12 zeigt den Verlauf des Benutzungsgrades von Faserfestigkeit beim Zug:

$$\eta = \frac{F_B}{nF_f}, \quad (50)$$

wo n und F_f die durchschnittliche Anzahl und Zugfestigkeit von Fasern im Bündelsquerschnitt, in Abhängigkeit von dem Drehungsparameter $TG = \text{tg}\beta$ sind. Hier wurde das Modell nach Abb. 2a mit drei Werten des Exponenten b angewendet, wo $b = 0$ die Raumbeständigkeit bedeutet. Es wurden auch die Kurven für den kritischen Fall ($b = b^*$) und für den ausgedrehten Faden bestimmt. Die relative Streuung der Faserbruchdehnung

η , Benutzungsgrad der Faserzugfestigkeit

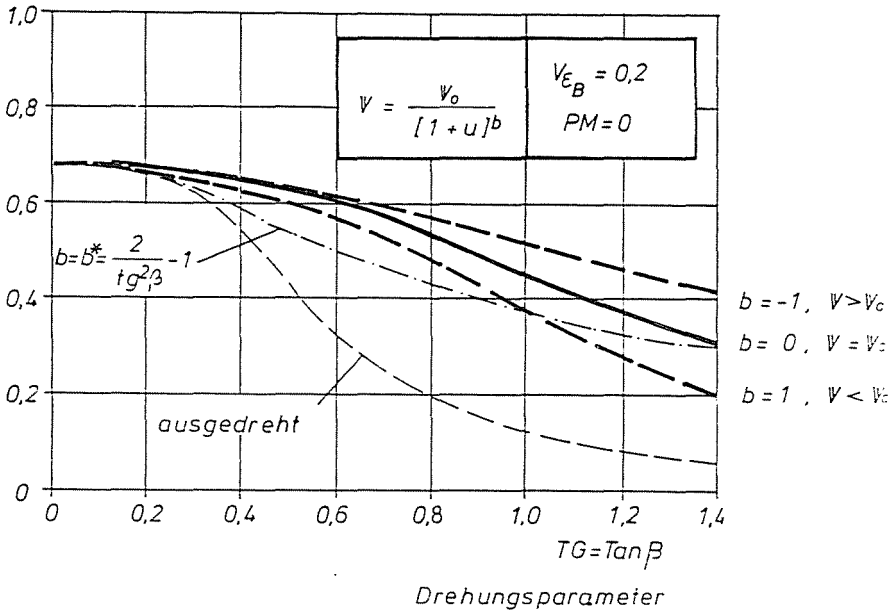


Abb. 12. Das Benutzungsgrad der Faserfestigkeit in der Abhängigkeit von des Drehungsparameters ($TG = \tan \beta$) bei verschiedenen Exponentenwerte (b) nach Modell in Abb. 2a

(ϵ_B) war 0,2 und die nach dem Drehen bleibende Faserspannung wurde für Zero genommen.

Aus Abb. 12 ist es festzustellen, daß die Wahl von verschiedenen Kontraktionsexponenten wesentliche Veränderungen des Benutzungsgrades (auch 20% in Abb. 12) hervorrufen kann.

6. Zusammenfassung

Es wurden eine die Bildverarbeitung benutzende Meßmethode und Zusammenhänge für ein Fadenmodell und die Messungen ausgearbeitet, damit die Querschnittskontraktion und die Struktur von verschiedenen Fäden untersucht und die identifizierten Zusammenhänge in der Fadenmodellierung angewendet werden können.

Danksagung

Die Verfasser sind dem Wissenschaftlichen Landesfonds für Forschung in Ungarn für die Unterstützungen durch OTKA 821 und T7652 sehr dankbar.

Literatur

1. ZUREK, W.: The Structure of Yarn. Foreign Scientific Publications Department of the National Center for Scientific, Technical and Economic Information, Warsaw 1975.
2. HEARLE, J. W. S. - THWAITES, J. J. AMIRBAZAT, J. (edited by): Mechanics of Flexible Fibre Assemblies. Sijthoff) Noordhoff, Alphen aan den Rijn, The Netherlands, 1980.
3. HEARLE, J. W. S. - GROSBURG, P. - BACKER, S.: Structural Mechanics of Fibres, Yarns and Fabrics. Vol. 1. Wiley Interscience, New York (NY) 1969.
4. GYIMESI, J.: Physikalische Prüfung von Textilmaterialien. Müszaki Könyvkiadó Budapest, 1968, (auf ungarisch).
5. JEDERÁN, M. - KOCISIS, J. - VAS L. M. - CSÁSZI, F.: Zusammenhänge zwischen Fadenbeanspruchung, Fadenfestigkeit und den morphologischen Kennwerten des Fadens. *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*, Budapest, Vol. 23, No. 2-3. pp. 131-160. (1979)
6. ANTONIO JOSE DA SILVA, R.: Untersuchung des Drehungsprozesses dem Faden entlang. Diplomarbeit TU Budapest, 1989 (auf ungarisch).
7. BALOG, I.: Prüfung des Zusammenhanges zwischen den lokalen geometrischen Kennwerten und den Festigkeitskennzeichen der Fäden. Diplomarbeit TU Budapest, 1991 (auf ungarisch).
8. KOCISIS, J.: Der Einfluß der kurzwelligen Fadensungleichmäßigkeiten und Fadenfehler auf die Verarbeitbarkeit. *Magyar Textiltechnika*, Vol. 35, No. 12. pp. 657-661. (1982) (auf ungarisch).
9. SUST, A. - BARELLA, A.: Twist, Diameter, and Unevenness of Yarns - A New Approach. *Journal of the Textile Institute*, Vol. 55, No. 1. pp. T1-T17. (1964)
10. RIDING, G.: An Experimental Study of the Geometrical Structure of Single Yarns. *Journal of the Textile Institute*, Vol. 50, No. 7. pp. T425-T442. (1959)
11. VAN ISSUM, B. E. - CHAMBERLAIN, N. H.: The Free Diameter and Specific Volume of Textile Yarns. *Journal of the Textile Institute*, Vol. 50, No. 11. pp. T599-T623. (1959)
12. LORD, P. R. - GRADY, P. L.: The Twist-Structure of Open-End Yarns. *Textile Research Journal* Vol. 46, No. 2. pp. 123-129. (Febr. 1976)
13. TAKASHI, K. - MOTOYOSHI, I. - AKIRA, T.: A Model Analysis of the Compressibility of Fiber Assemblies. *Textile Research Journal*, Vol. 62, No. 10. pp. 567-574. (Oct. 1992)
14. ASCHNER, G. - VAS, L. M. - Józsa Bné: Anwendung der rechnergestützten Methoden bei der Materialprüfung und Qualitätskontrolle. *Magyar Textiltechnika*, Vol. 40, No. 5. pp. 254-263. (1987) (auf ungarisch).
15. KOCISIS, J. - GÁL, J. - KÓCZY, L. - VAS, L. M.: Prüfung von profilierten PA Teppichfäden und PA Spritzgussmaterialien. Manuskript. Forschungsberichte. Budapest, 1981. (auf ungarisch).
16. VAS, L. M. - CSÁSZI, F.: Use of Composite-bundle Theory to Predict Tensile Properties of Yarns. *Journal of the Textile Institute*, Vol. 84, No. 3. pp. 448-461. (1993)
17. EÖRDÖGH, I. - HALÁSZ, G. - SZÁSZ, K. - VAS L. M.: Bild- analysensystem für lokale Prüfung von Textilfasern und Fäden. *Anyagvizsgálók Lapja*, Vol. 3, No. 3. pp. 79-83, (1993). (auf ungarisch).