

ENERGETISCHE PRÜFUNG ORTHOTROPER GUMMI-KORD-SYSTEME

Von

Ö. PÓSFALVI und P. SZÓR

Lerhstuhl für Mechanik, Technische Universität, Budapest

Eingegangen am 10. Mai 1973

Vorgelegt von Prof. Dr. P. MICHELBERGER

I. Einleitung

Gummireifen, Membrane für Luftfedern, Gummischläuche mit Kord-einlage, einzelne Typen der Gummigurt-Bandförderer sowie eine Art der Brennstoffbehälter für Flugzeuge werden aus im Gummi gebettetem und vulkanisiertem Kordgewebe hergestellt. Für die Struktur der angeführten Gummi-Kord-Maschinenelemente ist die diagonale Kordfadenanordnung kennzeichnend.

Es darf einführend festgestellt werden, daß in den hochentwickelten Industrieländern mit fortschrittlichem Verkehr bedeutende Forschungsarbeiten auf die Labor- und Betriebsprüfungen der Gummi-Kord-Maschinenelemente aufgewandt wurden. Diese Forschung wurde jedoch gar nicht oder nicht befriedigend mit der Untersuchung der mechanischen Eigenschaften von Gummi-Kord-Systemen verbunden; daher sind uns die sich im Werkstoff der Gummi-Kord-Maschinenelemente abspielenden mechanischen Erscheinungen und die Eigenschaften dieses elastischen Verbundstoffes nicht mit hinreichender Genauigkeit bekannt.

Um die Elastizitäts- und Festigkeitseigenschaften von orthotropen Gummi-Kord-Systemen zu untersuchen, muß der Elastizitätsmodul E_k der in Gummi gebetteten Kordfäden bekannt sein. Bei dessen Bestimmung ist die gegenseitige Wirkung von Umhüllungsstoff und Kord zu berücksichtigen. Nach der im vorliegenden Beitrag gezeigten Methode lassen sich die Elastizitätsmodulen für Druck und Zug von in Gummi gebetteten Kordfäden beliebiger Länge bestimmen.

In Abb. 1 ist das Modell eines orthotropen Gummi-Kord-Systems mit dem Bettungswinkel $\pm\alpha$ zu sehen. Bei einachsiger Zugbeanspruchung des Systems ($F_z > 0$) und einem Kordwinkel $\alpha = 0^\circ$ werden die Kordfäden immer auf Zug beansprucht. Bleibt die Richtung der Zugkraft F_z unverändert, so sind bei einem Kordwinkel $\alpha = 90^\circ$ — wegen der Kontraktion in x -Richtung des Prüfkörpers — die Kordfäden immer auf Druck beansprucht. Es stellt sich die Frage, wie man den Bettungswinkel $\alpha_{z,r}$ ermitteln kann, der die Grenze zwischen Zug- und Druckbeanspruchungen der Kordfäden bildet. Dieses Problem verdient Aufmerksamkeit, da erfahrungsgemäß durch wiederholtes

Zusammendrücken der Kordfäden das Kordgewebe rasch zugrunde geht, daher stellt der Winkel α_{kr} einen für die Bestimmung der Bedingungen der auf den Kordfäden wirkenden Druckbeanspruchung geeigneten Parameter dar.

In der zur Verfügung stehenden Fachliteratur fanden wir weder Hinweise über die Bestimmung des Elastizitätsmoduls E_k der gummibetteten Kordfäden noch über die Berechnung des Kordwinkels α_{kr} .

Nur einige Beiträge behandeln die Bestimmung eines der Materialkennwerte des Verbundstoffes, der Poissonzahl. Von CLARK, S. K. [1] wurden auf Grund des für orthotrope Stoffe abgeleiteten allgemeinen Hookeschen Gesetzes und von Prüfungen an Gummi-Kord-Schläuchen die für das System kenn

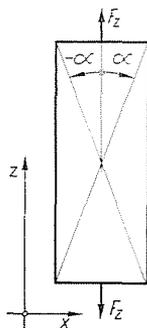


Abb. 1. Modell des orthotropen Gummi-Kord-Systems

zeichnenden Poissonzahlen bestimmt. Das vorgeführte Verfahren gibt jedoch darüber keinen Aufschluß, wie die Poissonzahl durch Gummi und Kordfadematerial sowie durch die Struktur des Gummi-Kord-Systems beeinflusst wird. ROBECCI, E. [2] untersuchte von den Struktureigenschaften der Schichtstoffe ausgehend, unter Berücksichtigung des Hookeschen Gesetzes die Gummi-Kord-Systeme. Die Auswertung und Verallgemeinerung der Ergebnisse werden durch den Umstand eingeschränkt, daß er seine Prüfungen nur im Bettungswinkelbereich $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ unternahm.

Unter Berücksichtigung der im Fachschrifttum angeführten Ergebnisse setzten wir uns die Untersuchung folgender Fragen zum Ziel:

1. Wie kann der Elastizitätsmodul E_k der Kordfäden im Gummi bestimmt werden, wenn diese Fäden auf Zug oder Druck beansprucht sind?
2. In welcher Beziehung steht der die Lage der kräftefreien Kordfäden bestimmende Bettungswinkel α_{kr} zu den Formänderungskennwerten in einem auf Zug beanspruchten Gummi-Kord-System?
3. Wie kann man mit Hilfe der Materialkennwerte von Gummi und Kordfäden die Poissonzahlfunktion des Werkstoffsystems für den gesamten Bettungswinkelbereich bestimmen?

Die Fragen werden nach einer Berechnungsmethode in Anlehnung an experimentelle Daten, unter Berücksichtigung der Beziehung zwischen der im System gespeicherten Formänderungsenergie und der Arbeit der äußeren Spannungen beantwortet.

2. Die Funktion der spezifischen Formänderungsenergie des Gummis (w_g)

VON TRELOAR, L. R. G. [3] und BIDERMAN, V. L. [4] wird die Funktion der spezifischen Energie für Gummi im praktisch interessierenden Formänderungsbereich, bis zum Dehnungsmaß $\lambda_z = 1,5$, in der Form angegeben.

$$w_g = c_1 I_1 + c_2 I_2' \quad (\text{kpcm}^{-2}) \quad (1)$$

wo c_1 und c_2 Materialkennwerte (in kpcm^{-2}) des Gummis bedeuten.

I_1 und I_2' sind die Invarianten der Formänderung. Ausführlich:

$$I_1 = \frac{1}{2} (\lambda_x^2 + \lambda_y^2 + \lambda_z^2 - 3)$$

$$I_2' = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\lambda_x^2} + \frac{1}{\lambda_y^2} + \frac{1}{\lambda_z^2} - 3 \right). \quad (1a)$$

Im weiteren wird nach der Bedingung der Volumenunveränderlichkeit ($\lambda_x \lambda_y \lambda_z = 1$) die Substitution $\lambda_y^2 = \frac{1}{\lambda_x^2 \lambda_z^2}$ eingeführt.

Hierbei bedeuten: $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ die Dehnungen in den Hauptrichtungen der Formänderung und sind im übrigen die Absolutwerte der KAPPUSSCHEN Gittervektoren [5].

3. Die spezifische Formänderungsenergiefunktion des Kordfadens in Gummi (w_k)

Der Elastizitätsmodul E_k des im Gummi gebetteten Kordfadens wird nach der Formel bestimmt:

$$E_k = \frac{dF_k}{d(\lambda_k - 1)} \quad (\text{kp}) \quad (2)$$

wo F_k die Kraft in der Kordfadenachse (in kp),

λ_k das Dehnungsmaß des Kordfadens bedeuten.

Für einen linear elastischen Kordfaden läßt sich die Funktion der spezifischen Formänderung des Kordfadens wie folgt anschreiben

$$w_k = \frac{E_k (\lambda_k - 1)^2}{2 A_k} \quad (\text{in kpcm}^{-2}) \quad (3)$$

wobei A_k den Kordfadenquerschnitt im Gummi bedeutet. In der Arbeit wurden derartige Kordfäden untersucht.

4. Kompatibilitätsgleichungen

Durch diese Gleichungen werden die Zusammenwirkungsbedingungen von Bettungsgummi und Kordgewebe bei der Formänderung des Verbundstoffes ausgedrückt.

4.1 Die Kompatibilitätsgleichung, ausgedrückt mit dem Bettungswinkel

$$\lambda_k^2 = \lambda_x^2 \sin^2 \alpha + \lambda_z^2 \cos^2 \alpha \quad (4)$$

α ist der statische Kordwinkel (Bettungswinkel).

4.2 Die Kompatibilitätsgleichung, ausgedrückt mit dem Kordwinkel

$$\frac{1}{\lambda_k^2} = \frac{\sin^2 \beta}{\lambda_x^2} + \frac{\cos^2 \beta}{\lambda_z^2} \quad (5)$$

wo der dynamische Kordwinkel β ein veränderlicher Parameter ist.

5. Mittlere spezifische Formänderungsenergie (w) des orthotropen Gummi-Kord-Systems

Die spezifische Formänderungsenergie des Verbundstoffes wird aus der im Gummi gespeicherten Energie (g) und der im Kord gespeicherten Energie (k) im Verhältnis der spezifischen Raumteile berechnet:

$$w(\lambda_x, \lambda_z) = \sum_{i=g}^k v_i w_i \quad (\text{kpcm}^{-2}) \quad (6)$$

wo v_i das spezifische Volumen bedeutet.

6. Das spezifische Potential der äußeren Spannungen (p)

Die Arbeit der Normalspannungen σ_x, σ_z , die auf den Seitenflächen des orthotropen Gummi-Kord-Systems auftreten, ergibt den Ausdruck für das spezifische Potential:

$$p(\lambda_x, \lambda_z) = - \sum_{j=x}^z \sigma_j \lambda_j \quad (\text{in kpcm}^{-2}) \quad (7)$$

7. Die spezifische Potentialenergie (u) des orthotropen Gummi-Kord-Systems

Die spezifische Potentialenergie des Systems erhält man als Summe der Funktionen der mittleren Formänderungsenergie (6) und des spezifischen Potentials (7):

$$u(\lambda_x, \lambda_z) = \sum_{i=g}^k v_i w_i - \sum_{j=x}^z \sigma_j \lambda_j. \quad (8)$$

Die Formänderungskennwerte λ_x, λ_z die übrigens gut meßbar sind, werden in der Ebene des Gummi-Kord-Systems, in den Formänderungshaupttrichtungen untersucht.

Im Gleichgewichtszustand des orthotropen Gummi-Kord-Systems ist die spezifische Potentialenergie

$$u = u(\lambda_x, \lambda_z)$$

minimal.

$$u(\lambda_x, \lambda_z) = \min!$$

Diese Feststellung gestattet, das Gleichungssystem (9) anzuschreiben:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial \lambda_x} &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial \lambda_z} &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Die Ausdrücke in (9) werden unter Berücksichtigung der Gleichungen (1), (3), (4), (5), (6), (7) und (8) berechnet.

$$\begin{aligned} v_g \left[c_1 \left(\lambda_x - \frac{1}{\lambda_x^3 \lambda_z^2} \right) + c_2 \left(-\frac{1}{\lambda_x^3} + \lambda_x \lambda_z^2 \right) \right] + v_k \frac{F_k \lambda_x}{A_k \lambda_k} \sin^2 \alpha - \sigma_x &= 0 \\ v_g \left[c_1 \left(\lambda_z - \frac{1}{\lambda_z^2 \lambda_x^3} \right) + c_2 \left(-\frac{1}{\lambda_z^2} + \lambda_z^2 \lambda_x \right) \right] + v_k \frac{F_k \lambda_z}{A_k \lambda_k} \cos^2 \alpha - \sigma_z &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

3. Untersuchung der Elastizitätsmodulen in Gummi gebetteter, auf Zug beanspruchter Kordfäden

Die Ermittlungen werden beim Kordwinkel $\alpha = 0^\circ$ durchgeführt. Das Elastizitätsmodul E_k des Kords wird in Kenntnis der Kordkraft F_k und des dazu gehörenden Dehnungsmaßes λ_k bestimmt. Man erhält die Funktion $F_k(\lambda_k)$ aus dem Gleichungssystem (10) durch Substitution der Daten $\sigma_x = 0$, $\sigma_z \geq 0$, $\lambda_z = \lambda_k$, $\alpha = 0^\circ$:

$$F_k(\lambda_k, \sigma_z) = \frac{A_k}{v_k} \left\{ \sigma_z + v_g \left[c_1 \left(-\lambda_k + \frac{1}{\lambda_k^2} \right) + c_2 \left(-1 + \frac{1}{\lambda_k^3} \right) \right] \right\}. \quad (11)$$

Die zusammengehörenden Wertpaare λ_k, σ_z werden für linear elastische Kordfäden den Zerreißdiagrammen der Gummi-Kord-Prüfkörper entnommen.

Die Angaben des Gummi-Kord-Systems sind wie folgt:

$$\begin{aligned} v_g &= 0,653 \\ v_k &= 0,346 \\ A_k &= 0,00384 \text{ (in cm}^2\text{)} \\ c_1 &= 5,65 \text{ (in kpcm}^{-2}\text{)} \\ c_2 &= 7,49 \text{ (in kpcm}^{-2}\text{)} \end{aligned}$$

Die Berechnung wurde mit dem Programm 13.1 in Anlage 13 durchgeführt und das Ergebnis in Abb. 2 graphisch dargestellt. Der Elastizitätsmodul der Kordfäden in Gummi des Systems von der genannten Struktur ergibt sich im Formänderungsbereich $1 \leq \lambda_k \leq 1,03$ zu $E_k = 155$ (kp).

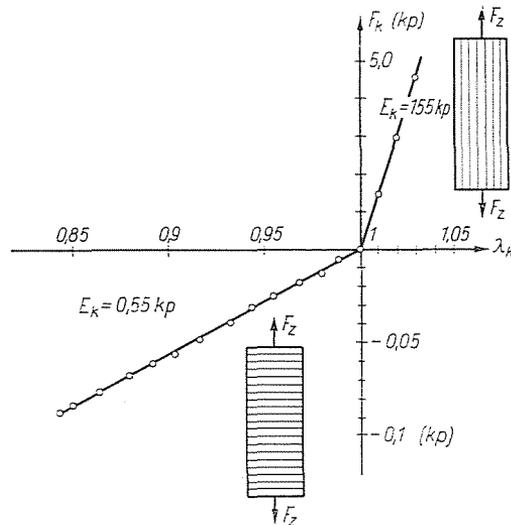


Abb. 2. Elastizitätsmodul E_k der gummiembetteten Kordfäden bei auf Druck und auf Zug beanspruchten Korden

9. Untersuchung des Elastizitätsmoduls von gummiembetteten Kordfäden unter Druck

Man erhält den Ausdruck für die Kordkraft $F_k(\lambda_k)$ bei einachsiger Zugbeanspruchung und beim Kordwinkel $\alpha = 90^\circ$ aus der ersten Gleichung des Gleichungssystems (10) durch Substitution der Werte $\sigma_x = 0$, $\lambda_x = \lambda_k$ in der einfachsten Form

$$F_k(\lambda_k, \lambda_z) = A_k \frac{v_g}{v_k} \left[c_1 \left(\frac{1}{\lambda_k^3 \lambda_z^2} - \lambda_k \right) + c_2 \left(-\lambda_k \lambda_z^2 + \frac{1}{\lambda_k^3} \right) \right]. \quad (12)$$

Um die Punkte der Funktionsgleichung (12) zu berechnen, muß der funktionelle Zusammenhang $\lambda_k = \lambda_k(\lambda_z)$ bekannt sein, den wir aus experimentellen Daten bestimmten. Der Ausdruck $\lambda_k = \lambda_k(\lambda_z)$ wurde aus Prüfungsergebnissen des Formänderungszustands von Gummi-Kord-Prüfkörpern mit einer Korrelationsrechnung ermittelt.

$$\lambda_k = -0,17\lambda_z + 1,17 \quad \text{wo} \quad 1 \leq \lambda_z \leq 1,9. \quad (13)$$

Die Abbildungsreihe 3 zeigt die Aufnahmen von den Formänderungszuständen eines Prüfkörpers mit dem Kordwinkel $\alpha = 90^\circ$. Die Versuche werden in der Veröffentlichung (6) beschrieben.

Angaben des Gummi-Kord-Systems:

$$v_g = 0,653$$

$$v_k = 0,346$$

$$A_k = 0,00384 \text{ (in cm}^2\text{)}$$

$$c_1 = 5,39 \quad \text{(in kpcm}^{-2}\text{)}$$

$$c_2 = 6,71 \quad \text{(in kpcm}^{-2}\text{)}$$

Die Berechnung wurde nach den Beziehungen (12) und (13) mit Hilfe des Programms 13.2 der Anlage 13 durchgeführt. Das Ergebnis wurde in Abb. 2

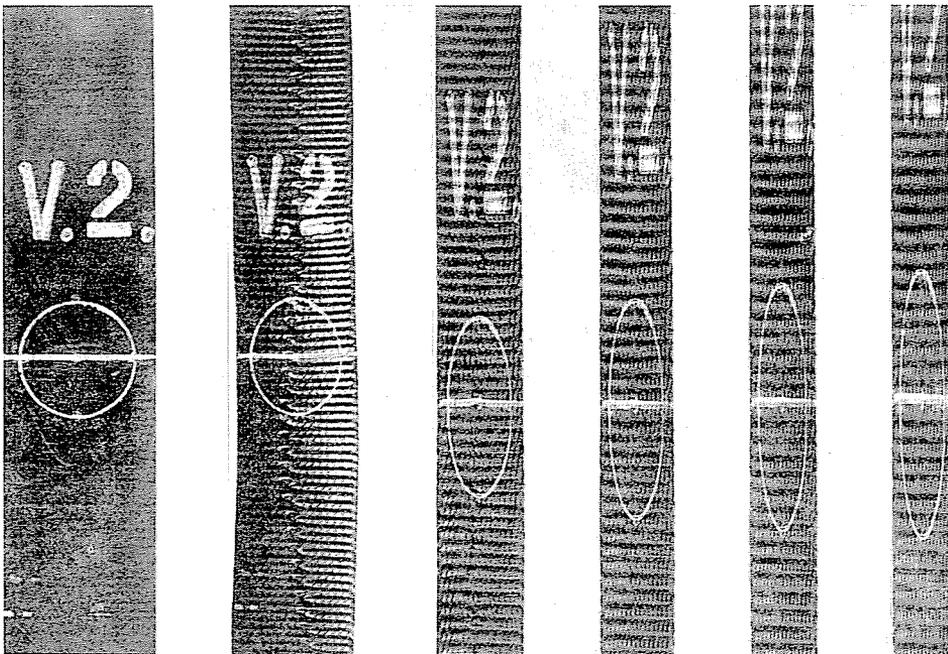


Abb. 3. Formänderungsverhältnisse des Prüfkörpers mit dem Kordwinkel $\alpha = 90^\circ$

graphisch verarbeitet. Ist der Kord auf Druck beansprucht, ergibt sich der Elastizitätsmodul des obengenannten Systems im Formänderungsbereich $1 \leq \lambda_k \leq 0,846$ zu $E_k = 0,55$ (kp).

10. Berechnung des Bettungswinkels $\alpha = \alpha_{kr}$

Im orthotropen Gummi-Kord-System mit dem Kordwinkel $\pm \alpha$, unter einachsiger Zugbeanspruchung ($\sigma_z > 0, \sigma_x = 0$) wird die Grenze zwischen Zug- oder Druckbeanspruchung des Kordfadens mit folgenden Ausdrücken gekennzeichnet:

$$\begin{aligned} F_k &= 0 \\ \lambda_k &= 1 \\ \alpha &= \alpha_{kr}. \end{aligned} \quad (14)$$

Gl. (6) läßt sich unter Berücksichtigung der Ausdrücke (14) in der Form schreiben:

$$w = v_g w_g.$$

Man erhält die Beziehung für die Formänderungskennwerte λ_x, λ_z die zu der Lage der kräftefreien Kordfäden bestimmenden Bettungswinkel α_{kr} gehören, aus der ersten Gleichung des Gleichungssystem (10).

$$\lambda_x^2 \lambda_z^2 = 1. \quad (15)$$

Unter Berücksichtigung des Zusammenhangs (15) wird der Kordwinkel α_{kr} mit Gl. (4) errechnet.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_{kr} &= \sqrt{2} \\ \alpha_{kr} &= 54^\circ 40'. \end{aligned} \quad (16)$$

Für Kordfäden mit dem Bettungswinkel $\alpha = \alpha_{kr}$ wurde bei einachsigem Zug der Winkel β aus den Ausdrücken (5), (15) ermittelt, und der dynamische Kordwinkel ergab sich zu $\beta = 54^\circ 40'$. Das bedeutet, daß sich bei dem Bettungswinkel $\alpha = \alpha_{kr}$ der Kordwinkel unter Last nicht verändert, und die Energie des Systems durch die im Gummi gespeicherte Energie gekennzeichnet wird.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß man zu Beginn der Formänderung im Winkelbereich $0^\circ \leq \alpha \leq 54^\circ 40'$ stäts auf Zug beanspruchte Kordfäden hat, im Winkelintervall $54^\circ 40' \leq \alpha \leq 90^\circ$ sind die Kordfäden bei einachsiger Zugbeanspruchung ($\sigma_z > 0$) des Systems auf Druck beansprucht. Die Frage wird mit der maschinellen Durchrechnung in [6] ausführlicher behandelt.

II. Bestimmung und Untersuchung der Funktion der Poissonzahl

In diesem Abschnitt soll die Funktion der Poissonzahl in Abhängigkeit vom Kordbettungswinkel α und vom Elastizitätsmodul E_k des Kords bestimmt werden, daher beziehen sich die Untersuchungen auf den Formänderungsbeginn ($\lambda_z = 1$, $\lambda_x = 1$). Die Durchführung soll dadurch erleichtert werden, daß wir die einfachste Form (1) der Formänderungsenergiefunktion des Gummis einführen.

$$w_g = c_0 J_1 \quad (\text{in kpem}^{-2}) \quad (17)$$

wo c_0 der Materialkennwert des Gummis (in cm kp^{-2}) ist.

Es wird die erste Gleichung des Gleichungssystems (10) benutzt, für die die Funktionsgleichung bei gummigebetteten, linear elastischen Kordfäden unter Berücksichtigung von (17) in der Form geschrieben wird:

$$f(\lambda_x, \lambda_z) = v_g c_0 \left(\lambda_x - \frac{1}{\lambda_x^2 \lambda_z^2} \right) + v_k \frac{E_k (\lambda_k - 1)}{A_k \lambda_k} \lambda_x \sin^2 \alpha. \quad (18)$$

Die Poissonzahl μ_z wird mit Hilfe der Formänderungskennwerte λ_x , λ_z wie folgt definiert:

$$\mu_z = \frac{d \lambda_x}{d \lambda_z}. \quad (19)$$

Die Formel (19) der Poissonzahl wird mit der Funktionsgleichung (18) in der Annahme der Volumenunveränderlichkeit ($\lambda_x \lambda_y \lambda_z = 1$) bestimmt:

$$\mu_z(\lambda_x, \lambda_z) = \lim_{\substack{\lambda_x \rightarrow 1 \\ \lambda_z \rightarrow 1}} \left| \frac{-\frac{\partial f}{\partial \lambda_z}}{\frac{\partial f}{\partial \lambda_x}} \right|. \quad (20)$$

Ausführlich ausgeschrieben

$$\mu_z(\alpha, E_k) = \frac{2 + S \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha}{4 + S \sin^4 \alpha} \quad (21)$$

mit

$$S = \frac{v_k E_k}{v_g c_0 A_k}. \quad (22)$$

In der Formel (21) der Poissonzahl wird für den Bettungswinkel

bei $\alpha < \alpha_{kr}$ der Elastizitätsmodul der Kordfäden unter Zugbelastung,

bei $\alpha > \alpha_{kr}$ der Elastizitätsmodul der Kordfäden unter Druckbelastung eingesetzt. Für die im vorigen untersuchten Gummi-Kord-System wurden die Funktionspunkte $\mu_z = \mu_z(\alpha, E_k)$ mit Hilfe des Programms 13.3 der Anlage

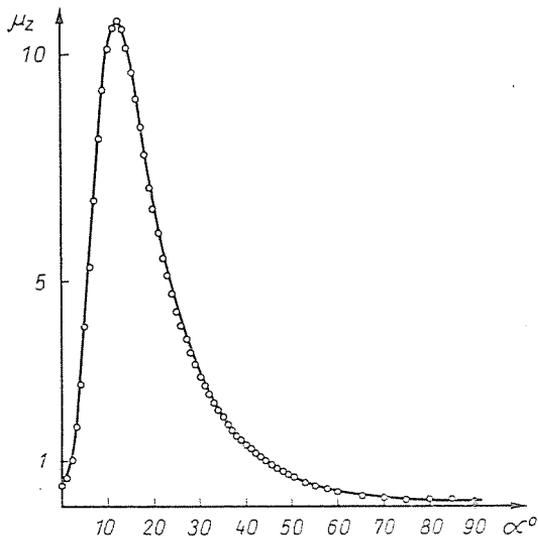


Abb. 4. Darstellung der Funktion der Poissonschen Zahl des orthotropen Gummi-Kord-Systems

13 bestimmt. In unserem Falle hat die Funktion $\mu_z(\alpha, E_k)$ bei $\alpha = 12^\circ$ ein Maximum; hier hat die Funktion den Wert

$$\mu_z(12^\circ, 154) = 10,729 \quad (\text{Abb. 4})$$

Für die Grenzwerte des Kordbettungswinkels α wurden die Poissonzahlen μ_z aus der Formel (21) berechnet. Die theoretisch ermittelten Ergebnisse wurden an Prüfkörpern mit den Kordwinkeln $\alpha_1 = 0^\circ$ und $\alpha_2 = 90^\circ$ erhaltenen Meßwerten verglichen. Die Ergebnisse des Vergleichs sind in Tabelle I zusammengefaßt.

Tabelle I

	μ_{zt}	μ_{zf}	AF	VF (%)
0°	0,5	0,47	0,03	6,0
90°	0,178	0,17	0,008	4,5

μ_{zt} theoretische Poissonsche Zahl,

μ_{zf} Poissonsche Zahl nach den Versuchen,

AF absoluter Fehler,

VF verhältnismäßiger Fehler in Prozenten.

Zusammenfassung

Für die Analyse der Elastizitätseigenschaften von orthotropen Gummi-Kord-Systemen und um die für diesen Verbundstoff kennzeichnenden Poissonschen Zahlen zu ermitteln, wurde ein auf experimentellen Daten beruhendes Berechnungsverfahren entwickelt. Die Untersuchungen wurden auf Grund der Beziehung zwischen der im Stoffsystem gespeicherten Formänderungsenergie und der Arbeit der auf den Verbundstoff wirkenden Normalspannungen durchgeführt. Es wurden die Elastizitätsmodule der gummiagebetteten Kordfäden berechnet, wenn der Kord auf Zug oder auf Druck beansprucht ist. Die Funktion der Poissonzahl wurde im gesamten Bettungswinkelbereich α anhand der Materialkennwerte von Gummi und Kord bestimmt. Die ausgearbeitete Methode eignet sich für die Prüfung von Gummi-Kord-Systemen sowie von anderen faserverstärkten oder fadenverstärkten Verbundstoffen.

Anlage 13

(Programme)

13.1.

```
'COMMENT ELASTIZITAETSMODUL BEIM ZUG:
'BEGIN 'REAL AK, VK, VG, C1, C2, FK;
'INTEGER I, N;
READ(AK, VK, VG, C1, C2, N);
'BEGIN 'ARRAY Z, K[1:N];
READ(Z, K);
'BEGIN I:=0;
'FOR I:=1 'STEP 1 'UNTIL N 'DO
'BEGIN
FK:=(AK/VK) *(Z[I]+VG *(C1 *((1/K[I] + 2) - (K[I])+ C2 *((1/K[I] + 3) - 1)));
FORMAT(" ?I=12 !!Z=123.12 !!K=1.12 !!FK=-123456.12S);
PRINT(I, Z[I], K[I], FK);
'END;
'END;
'END;
'END;?
```

13.2.

```
'COMMENT ELASTIZITAETSMODUL BEIM DRUCK:
'BEGIN 'REAL AK, VK, VG, C1, C2, FK;
'INTEGER I, N;
READ(AK, VK, VG, C1, C2, N);
'BEGIN 'ARRAY Z, K[1:N];
READ(Z, K);
'BEGIN I:=0;
'FOR I:=1 'STEP 1 'UNTIL N 'DO
'BEGIN
FK:=AK *(VG/VK) *(C1 *((1/(K[I] + 3 * Z[I] + 2)) - K[I])
+ C2 *((1/K[I] + 3) - K[I] * Z[I] * 2));
FORMAT(" ?I=12 !!Z=1.123 !!K=1.123 !!FK=-1234.12345678S);
PRINT(I, Z[I], K[I], FK);
'END;
'END;
'END;
'END;?
```

13.3.

```
'COMMENT POISSONSCHER ZAHLE:
'BEGIN 'REAL P, S;
'INTEGER I;
READ(S);
'BEGIN
'FOR I:=0 'STEP 1 'UNTIL 90 'DO
'BEGIN
P:=(2+S *(SIN(3.141592 *I/180)) + 2 *
```

```

(COS(3.141592 * I/180)) † 2)/
(4 + S * (SIN(3.141592 * I/180)) † 4):
FORMAT(" ?I=123 !!!P=-123.123$);
PRINT(I, P);
'END;
'END;
'END; ?

```

Wichtige Bezeichnungen

F_z	Zugkraft
E_k	Elastizitätsmodul des in Gummi gebetteten Kordfadens
w_g	spezifische Formänderungsenergie des Gummis
w_k	spezifische Formänderungsenergie des Kordfadens
c_0, c_1, c_2	Materialkennwerte des Gummis
I_1, I_2	Formänderungsinvarianten
$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z, \lambda_i$	Ausdrücke der Dehnungsmaße, im allgemeinen $\lambda = 1 + \varepsilon$
F_k	Kordkraft
A_k	Kordquerschnitt
w	spezifische Formänderungsenergie des Gummi-Kord-Systems
p	spezifisches Potential
u	Funktion des spezifischen Potentials
σ_x, σ_z	Normalspannungen
v_g, v_k	spezifisches Volumen
μ_z	Funktion der Poissonschen Zahl
α	Kordbettungswinkel
α_{kr}	kritischer Kordwinkel
β	dynamischer Kordwinkel
ε	spezifische Längenänderung

Literatur

1. CLARK, S. K.: Rubber Chemistry and Technology 37, 1365 (1964).
2. ROBECCI, E.: Kautschuk und Gummi, Kunststoffe 26, 106 (1973).
3. TRELOAR, L. R. G.: The Physics of Rubber Elasticity At the Clarendon Press, Oxford, 1958.
4. PONOMARJOV, Sz. D.: Festigkeitsberechnungen im Maschinenwesen.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
5. PÓSFALVI, Ö.: Fahrzeuge, landwirtschaftliche Maschinen.* 19, 364 (1972).
6. PÓSFALVI, Ö.: Statische mechanische Untersuchung orthotroper Gummi-Kord-Systeme.* Kandidatendissertation, Budapest, 1973.

* In ungarischer Sprache.

Prof. Dr. Péter SZŐR 1450 Budapest, Postfach 93, Ungarn
 Dr. Ödön PÓSFALVI H-1521 Budapest