

ANALOGIE IM VERHALTEN VON GEWEBEN UND ELASTO-PLASTISCHEN MATERIALIEN

Von

L. KÓCZY

Lehrstuhl für Textiltechnologie und Leichtindustrie, Technische Universität, Budapest
(Eingegangen am 12. Juni, 1961)

Vorgelegt von A. VÉKÁSSY, Leiter des Lehrstuhls

Unter den Parametern für den Gebrauchswert bzw. für die Haltbarkeit von Stoffen, spielt die Einreißfestigkeit, d. h. der Widerstand der Stoffe gegen das Weiterreißen von Einrissen (Einschnitten), eine wichtige Rolle.

Bei Bekleidungsstoffen bietet die Einreißfestigkeit eine gewisse Gewähr dafür, daß die Gewebe bei zufälliger Beschädigung (Hängenbleiben an scharfen Kanten) geringeren Schaden erleiden, bzw. daß sich kleinere Beschädigungen lokalisieren, bzw. während der Gebrauchbeanspruchungen nicht vergrößern.

Bei technischen Geweben ist die Einreißfestigkeit von noch größerer Bedeutung. Auf gewissen Anwendungsgebieten (Förderbänder, Gurte) sind die technischen Gewebe bedeutenden Beanspruchungen ausgesetzt, so daß sie bei geringerer Einreißfestigkeit bereits unter der Einwirkung milderer Beschädigungen zerstört werden können.

Die Frage der Einreißfestigkeit ist mit der Entwicklung der Ausrüstungstechnologie besonders in den Vordergrund gerückt.

Durch einige Ausrüstungsverfahren (Erhöhung der Knitterfestigkeit und gewisse Impregnierungsverfahren) wird die Einreißfestigkeit insofern wesentlich beeinflusst, als sie zu einer unzulässigen Herabsetzung ihres Wertes führen [1, 2].

Diesen Tatsachen kann es zugeschrieben werden, daß sich die moderne Fachliteratur in zunehmendem Umfang einerseits den Methoden der Prüfung der Einreißfestigkeit, andererseits der Untersuchung jener Zusammenhänge zuwendet, die zwischen den Parametern der Gewebestruktur und der Einreißfestigkeit bestehen [3—7].

Um die Beziehungen zwischen Gewebestruktur und Einreißfestigkeit analysieren bzw. bestimmen zu können, muß man den Mechanismus des Einreißens kennen.

Zum Studium des Verlaufes des Einreißens für ein bereits eingerissenes Gewebestück dient die Anordnung in Abb. 1a, die eigentlich derjenigen der einfachen Einreiß-Prüfmethode (Single-Rip) entspricht. Übt man nun eine stufenweise zunehmende Zugbelastung auf die Zungen des Probestreifens aus, dann hat es den Anschein, als würde das Quergarnsystem bzw. der erste un-

beschädigte Fäden darin einer zunehmenden Scherbeanspruchung ausgesetzt.

In Wirklichkeit findet infolge der Verformungsfähigkeit (Deformationsfähigkeit) der Gewebestruktur in der Umgebung des Einschnittpunktes eine Umlagerung der Fäden des Quergarnsystems in Richtung des Zuges statt, wobei sie die Belastung vorwiegend in Form von Zugbeanspruchungen aufnehmen. Infolge der Formänderungen in der Gewebestruktur bzw. als Folge der Umlagerungen sowie der Dehnung der Querfäden, verbreitet sich die Fläche des durch die konzentrierte Kraft angegriffenen Einreiß-»Punktes«, und es entwickelt sich ein ausschließlich aus den umgelagerten Fäden bestehendes

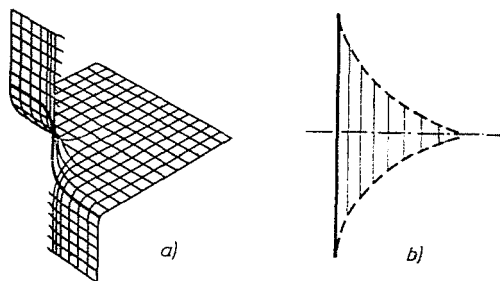


Abb. 1. Der Verlauf des Einreißens

»Spannungsdreieck« (Abb. 1b), das die an der Stelle des Zusammentreffens der Streifenzungen auftretende konzentrierte Belastung aufnimmt. Die Einreißfestigkeit wird letzten Endes durch die Fläche dieses Spannungsdreiecks sowie durch Anzahl, Reißfestigkeit und Spannungszustand der ihn ausfüllenden Fäden bestimmt.

Die maximale Abmessung des Spannungsdreiecks wird in dem Moment erreicht, in welchem der erste, der höchstbeanspruchte Faden zerreißt. Beim Zerreißen dieses Fadens ziehen sich die eine sehr große Dehnungsenergie darstellenden Streifenzungen (ehe noch ein neuer Faden in das Spannungsdreieck eintreten und die unbeschädigten Fäden die dem vorangegangenen Gleichgewicht entsprechende Lage einnehmen könnten) infolge Störung des Spannungsgleichgewichtszustandes plötzlich zusammen, wodurch weitere Fadenbrüche erfolgen.* Mit der stufenweisen Umlagerung der Fäden entwickelt sich zunächst ein neues Spannungsdreieck, dessen Abmessung und Form dem früheren mehr oder weniger gleich ist.

Unter solchen Umständen ist die Einreißfestigkeit der Gewebe eine Funktion jener Parameter, die die Form und Abmessung des Spannungsdreiecks,

* Damit erklärt sich die Frage, warum die Anzahl der Maxima (Spitzen) der Einreißdiagramme, die die Fadenbrüche zeigen, die Anzahl der zerrissenen Fäden nie erreicht.

ferner die Zahl und den Spannungsanteil der das Dreieck bildenden umgelagerten Fäden beeinflussen. Diese theoretischen Erwägungen werden durch die Versuchsergebnisse weitgehend bestätigt.

Die Änderung der Dichte der Garnsysteme übt einen bedeutenden Einfluß auf die Gestaltung der Einreißfestigkeit aus. Mit zunehmender Schußdichte nimmt z. B. im allgemeinen die Einreißfestigkeit sowohl in der Schuß- als auch in der Kettrichtung ab (Abb. 2).**

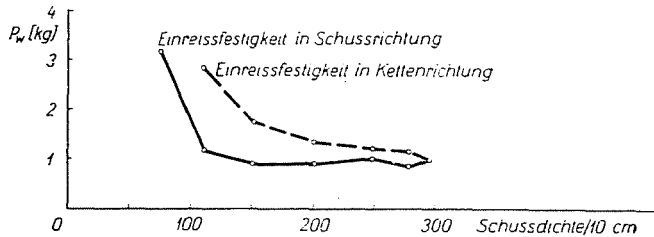


Abb. 2. Änderung der Einreißfestigkeit von leinwandbindigen Baumwollgeweben in Abhängigkeit von der Schußdichte (konstante Kettendichte)

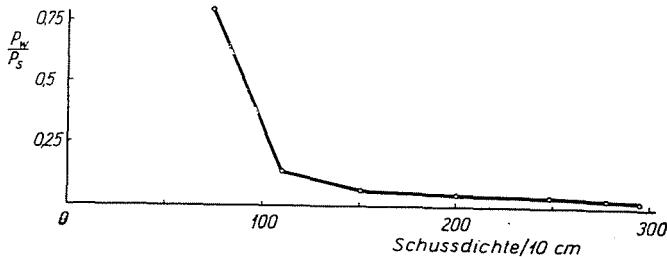


Abb. 3. Änderung des Verhältnisses der Einreißfestigkeit in Schußrichtung und der Reißkraft in Abhängigkeit von der Schußdichte

Die Auswirkung der Fadendichte tritt noch besser zutage, wenn man die Einreißfestigkeit in ihrem Verhältnis zur Reißkraft ausdrückt. In der Schußrichtung (Abb. 3) vermindert sich die im Verhältnis zur Reißkraft ausgedrückte Einreißfestigkeit mit der Zunahme der Schußdichte zuerst rasch, dann jedoch asymptotisch.

Die Zunahme der Fadendichte wirkt sich durch Verminderung der Verformungsfähigkeit der Gewebestruktur (kleinere Abmessung des Spannungsdreiecks und kleinere Zahl der ihn bildenden Fäden) auf die Einreißfestigkeit aus.

Die Änderung der Fadendichte beeinträchtigt die Einreißfestigkeit um so mehr, je gröber der Garn ist (Bedeutung des »Cover-Factor«). Unter den

** Die Meßergebnisse der Diagramme wurden nach der sogenannten »Wing-Rip«-Methode ermittelt.

wichtigeren Parametern, die die Einreißfestigkeit der Gewebe beeinflussen, ist mithin auch die Garnfeinheit zu erwähnen. Innerhalb des Bereiches gleicher Schußdichtewerte zeigt die Gewebestruktur mit größeren Fäden größere Änderungen in der Reißfestigkeit als die aus feineren Garnen aufgebaute Gewebestruktur (Abb. 4).

Da die einzelnen Eigenschaften des Spannungsdreiecks durch die Verformungsfähigkeit der Gewebestruktur bestimmt werden, liegt es auf der Hand,

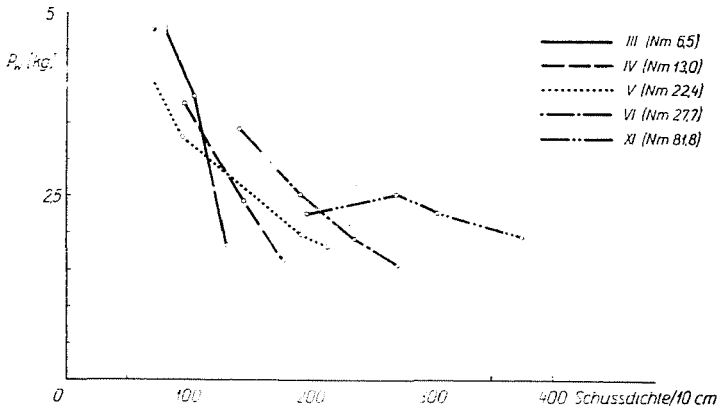


Abb. 4. Auswirkung der Feinheit der Schußfäden auf die Einreißfestigkeit in Schußrichtung bei leinwandbindigen Baumwollgeweben

daß die Bindung der Gewebe die Einreißfestigkeit derselben in hohem Maße beeinflusst (Abb. 5 und 6).

Bei längeren Fadenschwebungen, die eine gesteigerte Verformungsmöglichkeit bieten, zeigt die Einreißfestigkeit in beiden Richtungen des Garnsystems höhere Werte.

Außer den angeführten Parametern spielen noch die Reißkraft und die Kraft-Dehnungs-Kurve der Fäden, die den Spannungsanteil der Fäden des Spannungsdreiecks beeinflussen, ferner die Glätte, Dehnung und Kräuselung der Fäden, die ihre Verformungsfähigkeit (die Fläche des Spannungsdreiecks) bestimmen, eine wichtige Rolle in der Gestaltung der Einreißfestigkeit.

Außer durch die strenggenommenen Gewebestrukturparameter wird die Einreißfestigkeit natürlich auch durch die Art der Ausrüstung beeinflusst. Sämtliche Ausrüstungsvorgänge, die die Verformungsfähigkeit der Gewebestruktur verringern, oder eine geschlossenere Gewebestruktur zur Folge haben, führen zu einer Verminderung der Einreißfestigkeit.

Da die Einreißfestigkeit der Gewebe außer durch die Festigkeitseigenschaften der Fäden auch durch das Spannungsdreieck bestimmt wird, befassen sich mehrere Abhandlungen mit der theoretischen Analyse desselben, wobei

sie zur Ermittlung der Beziehungen zwischen Gewebestruktur und Einreißfestigkeit komplizierte Zusammenhänge für seine Form und Struktur angeben. Die Unzulänglichkeit dieser Zusammenhänge besteht, abgesehen von den Vernachlässigungen und Vereinfachungen, darin, daß sie mit Kenngrößen arbeiten, die sich schwer bestimmen lassen. Deutlich spricht für die Richtigkeit dieser Feststellung, daß die theoretischen Ergebnisse nur selten durch zahlenmäßige Unterlagen belegt werden.

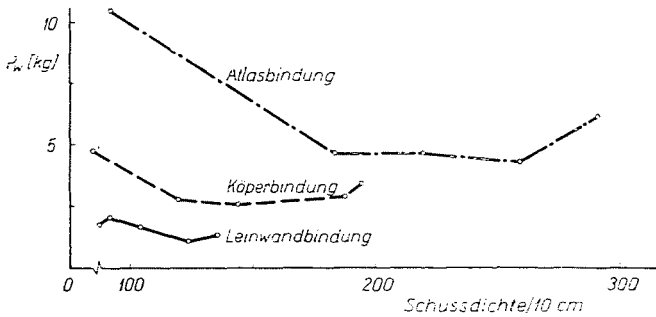


Abb. 5. Einfluß der Bindung und Schussdichte auf die Einreißfestigkeit von Kammgarnstoffen in Schußrichtung

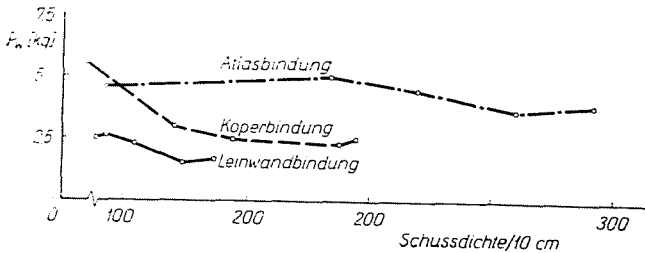


Abb. 6. Einfluß der Bindung und Schussdichte auf die Einreißfestigkeit von Kammgarnstoffen in Kettenrichtung

Unserer Meinung nach wäre es richtiger, bei der Untersuchung des verwickelten Mechanismus des Einreißens von den verschiedenen mathematischen Näherungsmodellen abzusehen und die Frage nach den Gesichtspunkten der Festigkeitslehre zu betrachten.

Nach der Anordnung in Abb. 1a ist der Punkt, in dem sich die Streifen-zungen treffen, im wesentlichen eine Spannungssammelstelle, die durch die konzentrierte Kraft angegriffen wird. Wie oben ausgeführt, ist die Entwicklung des Spannungsdreiecks, das die Einreißfestigkeit bestimmt bzw. die Abmes-sung des Dreiecks eine Funktion der Verformungsfähigkeit des Fadens sowie der Gewebestruktur. (Durch die höhere Verformungsfähigkeit in der Umgebung der Spannungssammelstelle wird die Wirkung der konzentrierten Kraft selbst-verständlich vermindert.) Bei der Untersuchung der Auswirkungen der an den

Gewebe auftretenden Spannungskonzentrationen können also die Gewebe als elasto-plastische Materialien angesehen werden. Durch die Faktoren, die die Verformungsfähigkeit der Gewebe erhöhen, werden die Eigenschaften derselben in Richtung einer Erhöhung der Plastizität, durch die die Verformungsfähigkeit vermindernenden Faktoren hingegen in Richtung einer Steigerung der Sprödeheit verschoben. Beim Aufbau der Gewebe muß man daher versuchen, zur Sicherung der entsprechenden Einreißfestigkeit im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten Gewebestrukturen von je höherer Verformungsfähigkeit herzustellen.

Die Analyse der Gewebestruktur auf Grund der Festigkeitslehre bzw. die Kenntnis des elastoplastischen Verhaltens derselben bietet eine Möglichkeit zur Vereinfachung des Problems und damit zu einer mehr oder weniger exakten Bemessung der Einreißfestigkeit der Gewebe.

Auf Grund unserer neuen Betrachtungsweise ist es uns gelungen, vorläufig für eine engere Gruppe von Baumwollgeweben — mit Leinwandbindung — eine Bemessungsformel zu entwickeln, mit deren Hilfe anhand einfacher Parameter (Fadenfeinheit, Dichte, Quadratmetergewicht) die Einreißfestigkeit mit befriedigender Genauigkeit errechnet werden kann [10].

Unsere Methode bietet die Handhabe zur richtigen Ausbildung von Krafterfahrungen und Spannungssammelstellen an technischen Geweben, ferner zur Bewertung der zu erwartenden Auswirkungen gewisser Ausrüstungstechnologien (z. B. Impregnierungen) bzw. zur zweckmäßigen Auswahl des geeigneten Verfahrens.

Die Analogie im Verhalten von Geweben und elasto-plastischen Materialien bietet auch einen neuen Gesichtspunkt zur Bewertung der Grab-Prüfmethode. Bei der in den USA-Normen beschriebenen Grab-Methode [11] bedient man sich auf Grund verschiedener praktischer Erwägungen einer Versuchsanordnung, bei der die Breite des Probestreifens das Mehrfache derjenigen der Einspannklemmen erreicht. Nach dem zentralen Einspannen verbleiben somit an der Seite der Klemmen zwei freie Streifenkanten, die an der Ausgestaltung der Reißkraft gleichfalls teilnehmen (Abb. 7).

Auf Grund unserer Versuchsergebnisse erweist sich der bei der Betrachtung der Grab-Methode bis jetzt unberücksichtigte Faktor, daß die in der Mitte des Probestreifens angebrachten Klemmenspitzen Spannungssammelstellen sind, die ihre Wirkung um so mehr ausüben, je niedriger die Verformungsfähigkeit der Gewebe ist, von entscheidender Bedeutung.

Die bisherigen Ausführungen lassen erkennen, daß die Grab-Methode in ihrem Prinzip als unrichtig anzusehen ist. Die Auswirkung der Spannungstauungspunkte zeigt sich unmittelbar in der hohen Zahl der Fadenbrüche bei den Klemmen. Es ist dies ein bekanntes Merkmal dieser Prüfmethode und die Ursache der höheren Streuung in den Meßergebnissen, die sich im Verhältnis zum Streifenversuch zeigt [6, 12, 13].

Zur Bestätigung der Richtigkeit unserer Behauptung über die Spannungsstauungen mögen die folgenden Erwägungen und Ergebnisse dienen.

Es wurde untersucht, wie sich die Fadenbruchzahl an einem Gewebe mit zunehmender Fadendichte, d. h. beim Fortschreiten nach dem Kontinuum zu, bzw. mit der Verminderung der Verformungsfähigkeit der Gewebestruktur in den Einspannklemmen ändert.

Zur Ausschaltung der subjektiven Faktoren gingen wir bei unseren Untersuchungen von der Voraussetzung aus, daß die Klemmenspitzen als Spannungs-

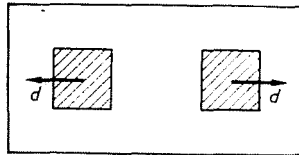


Abb. 7. Versuchsanordnung der Grab-Methode

sammelstellen auf die Ergebnisse eine vermindernde Wirkung ausüben; weshalb wir, anstatt die »Klemmenbrüche« zu zählen, die Verteilung der Grab-Methode-Ergebnisse im Verhältnis zur Streifen-Versuchsmethode (die beinahe eine Normalverteilung aufweist) untersucht haben.

Anstatt die entsprechenden Häufigkeitskurven aufzutragen, errechneten wir für die Asymmetrie der Kurven ein charakteristisches Moment dritten Grades (Tabelle 1). Aus unseren Ergebnissen geht hervor, daß mit zunehmender Fadendichte das Moment dritten Grades der mit der Grab-Methode ermit-

Tabelle I

Momente dritten Grades bei den Grab- und bei den Streifen-Versuchsmethoden

Bezeichnung des Gewebes	XIII-c	XIII-b	XIII-a
Schußdichte/10 cm	99	188	316
Grab-Methode (Kettenrichtung):			
μ_3	-1,45	-4,43	- 6,50
$\sqrt[3]{\mu_3}$ (kg)	-1,13	-1,64	- 2,52
$\frac{\sqrt[3]{\mu_3}}{\bar{x}}$ 100 (%)	-4,70	-6,70	-10,20
Streifenversuch (Kettenrichtung):			
μ_3	+0,07	-0,29	- 1,63
$\sqrt[3]{\mu_3}$ (kg)	+0,41	-0,66	- 1,15
$\frac{\sqrt[3]{\mu_3}}{\bar{x}}$ 100 (%)	+1,50	-2,50	- 4,50

Bezeichnung des Gewebes	XIII-c	XIII-b	XIII-a
Schußdichte/10 cm	99	188	316
Grab-Methode (Schußrichtung):			
μ_3	-0,55	-1,45	-46,02
$\sqrt[3]{\mu_3}$ (kg)	-0,82	-1,13	- 3,58
$\frac{\sqrt[3]{\mu_3}}{\bar{x}} 100$ (%)	-3,90	-4,40	- 8,20
Streifen-Versuch (Schußdichte):			
μ_3	+0,64	+3,12	- 6,15
$\sqrt[3]{\mu_3}$ (kg)	+0,86	+1,46	- 1,83
$\frac{\sqrt[3]{\mu_3}}{\bar{x}} 100$ (%)	+4,40	+5,60	- 4,70

telten Ergebnisse einen immer größeren negativen Wert annimmt und daher gegen das Kontinuum zu die Spannungsstauungswirkung der Klemmspitzen stets ausgeprägter wird. Zur weiteren Untermauerung unserer Ausführungen sei erwähnt, daß die Ergebnisse unserer an einem kontinuierlichem Material — an Cellophan — durchgeführten Messungen nach der Grab-Methode wesentlich niedriger liegen als die Reißkraftwerte, die bei gleicher Einspannlänge an Streifen ermittelt wurden, deren Breite mit derjenigen der Klemmen übereinstimmte.

Zusammenfassend läßt sich auf Grund unserer eigenen und anhand der aus der Fachliteratur bekannten Versuchsergebnisse feststellen, daß bei der Untersuchung der Auswirkungen von Spannungskonzentrationen für das Verhalten von Geweben und elasto-plastischen Materialien eine Analogie aufgestellt werden kann. Diese mechanische Anschauung erweist sich auf Grund der obigen Ausführungen sowohl vom theoretischen als auch vom praktischen Standpunkt aus als bedeutsam.

Zusammenfassung

Anhand einer Analyse des Mechanismus des Einreißens kann festgestellt werden, daß die Gewebe bei der Untersuchung der Auswirkung der an den Geweben auftretender Spannungskonzentrationen als elastoplastische Materialien angesehen werden können. Alle Faktoren, die die Verformungsfähigkeit der Gewebe erhöhen, tragen zur Verschiebung der Gewebeeigenschaften in Richtung einer Steigerung der Plastizität bei, alle Faktoren hingegen, die die Verformungsfähigkeit verringern, verschieben die Gewebeeigenschaften in Richtung einer Erhöhung der Sprödeheit.

Diese mechanische Anschauung kann als ein Beitrag zum Aufbau von Geweben, ferner zur richtigen Entwicklung von Krafteinführungen und Spannungssammelstellen bei technischen Geweben betrachtet werden. Anhand dieser Betrachtungsweise kann auch der unrichtige prinzipielle Aufbau der Grab-Methode nachgewiesen werden.

Literatur

1. WILLIAMS, S.: Textile Industries, 134—135 (1953).
2. HAGER, O. B.—GAGLIARDI, D. D.—WALKER, H. B.: Textile Research Journal 7, 376—381 (1947).
3. GRESWICK, J.: Journal of the Textile Institute, 9, 307—317 (1947).
4. TURL, L. H.: Textile Research Journal, 10, 839—848 (1958).
5. EWING, W. H.: Journal of the Textile Institute, 11, 609—611 (1956).
6. BELLINSON, H. R.: Textile Research Journal, 5, 208—210, (1937).
7. TAYLOR, H. N.: Journal of the Textile Institute, 161—188 (1958).
8. KROOK, C. M.: Textile Research Journal, 11, 389—396 (1948).
9. TEIXEIRA, N. A.—PLATT, M. M.—HAMBURGER, W. I.: Textile Research Journal, 10, 838—861 (1955).
10. KÓCZY, L.: Szövetek szilárdsági vizsgálata. (Festigkeitsprüfungen an Geweben) 1960.
11. ASTM Standards of Textile Material, 1960.
12. OLOFFSON, T. E.—BERNSKIÖLD, A.: Textile Research Journal, 6, 431—436 (1956).
13. LAROSE, P.: Journal of the Textile Institute, 10, 167 (1941).

L. KÓCZY, Budapest, XI., Műegyetem rakpart 3.