

Ketten hoch ist (Abb. c). Parallel dazu nimmt der Elastizitätsmodul stark ab (Abb. f) und die Bruchdehnung zu (Abb. e). Die Bruchfestigkeit (Abb. d) bleibt konstant, wahrscheinlich weil die Kristallinitätszunahme, die sie erhöhen würde, durch die Desorientierung des amorphen Anteils, die sie vermindert, aufgehoben wird.

Bei höherer Spannung erreicht die Kristallinität geringere Werte (Abb. a), doch die Orientierung der Kristallite bleibt dieselbe (Abb. b). Bruchfestigkeit (Abb. d) und Elastizitätsmodul (Abb. f) hingegen nehmen zu. Dieses Verhalten, das der Abnahme der Kristallinität zu widersprechen scheint, erklärt sich durch zunehmende Orientierung der Ketten (Abb. c),

die auch für die verminderte Bruchdehnung (Abb. c) verantwortlich ist.

Die nichtkristallinen Bereiche reagieren also am empfindlichsten auf Wärme und Spannung. Änderungen in der Orientierung dieser Bereiche wirken sich auf die mechanischen Eigenschaften aus, so daß man durch Variation der Spannung bei der Wärmebehandlung der Fasern verschiedene Kombinationen mechanischer Eigenschaften erzielen kann.

Eingegangen am 25. April 1962 [A 213]

## Struktur und Eigenschaften einer neuen Polyesterfaser [\*]

von DR. E. V. MARTIN, TENNESSEE EASTMAN COMPANY, KINGSPORT, TENN. (USA)

UND DR. H. BUSCH, CHEMISCHE WERKE HÜLS A.G., MARL, KREIS RECKLINGHAUSEN

*Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] kann das cis- und das trans-Isomer der Cyclohexan-Komponente enthalten. Die Abhängigkeit der Eigenschaften des Polymeren vom cis/trans-Verhältnis wird untersucht. Die Kristallgitter der Polymeren mit nur einem Isomeren in der Kette gehen bei Änderung des cis/trans-Verhältnisses kontinuierlich ineinander über. Ein eutektisches Gemisch tritt nicht auf. Gegenwärtig werden Fasern mit einem cis/trans-Verhältnis von etwa 1:2 hergestellt. Sie sind gegen Wasser nur sehr wenig empfindlich, ihre Arbeitsrückgabe ist groß.*

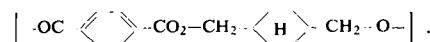
### Einleitung

Während der letzten Jahre wurden bei der Tennessee Eastman Company mehrere Polyesterfasern entwickelt. Eine dieser Fasern wies eine ausgezeichnete Kombination von Eigenschaften auf, die ihre großtechnische Produktion rechtfertigte [1]. Sie wird in den USA seit Ende 1958 unter dem Namen Kodel® vertrieben. In Deutschland wird sie unter dem Namen Vestan® demnächst von der Faserwerke Hüls GmbH hergestellt.

Die neue Polyesterfaser ist das Kondensationsprodukt von Dimethylterephthalat und 1,4-Bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan. Ihr Verhalten bei der Verarbeitung sowie beim Färben und Ausrüsten haben Martin [2], Forrester [3] und Ivey [4] diskutiert. Im folgenden wird über die Struktur dieses Hochpolymeren und der daraus folgenden Fasereigenschaften berichtet.

### Struktur des Moleküls

Die Grundeinheit des Polymeren ist



[\*] Nach einem Vortrag auf der Tagung der GDCh-Fachgruppe „Kunststoffe und Kautschuk“ am 10. April 1962 in Bad Nauheim.

[1] C. J. Kibler, A. Bell u. J. G. Smith (Eastman Kodak Co.), US-Pat. 2901466 (25. Okt. 1959).

[2] E. V. Martin, Modern Textiles 40, Heft 2, 43 (1959).

[3] R. C. Forrester jr., Modern Textiles 40, Heft 2, 45 (1959).

[4] W. R. Ivey jr., Modern Textiles 40, Heft 2, 48 (1959).

Dieses Grundmolekül kann in verschiedenen geometrischen Formen auftreten. Der Cyclohexanring kann in der Sesselform oder in der Wannenform vorliegen, die Substituenten in Stellung 1 und 4 können zueinander in cis- oder trans-Stellung und axial oder äquatorial in bezug auf den Ring stehen (Abb. 1 und 2).

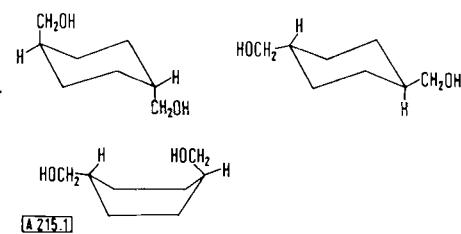


Abb. 1. Trans-Isomere des 1,4-Bis-(hydroxymethyl)-cyclohexans

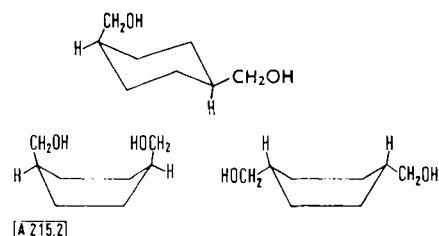


Abb. 2. Cis-Isomere des 1,4-Bis-(hydroxymethyl)-cyclohexans

Die cis- und trans-Isomeren des 1,4-Bis-(hydroxymethyl)-cyclohexans lassen sich gaschromatographisch trennen, die Analyse der verschiedenen geometrischen Formen ist dagegen schwierig und unsicher. Offenbar tritt das trans-Isomer häufiger auf als das cis-Isomer. — Nach Beckett, Pitzer und

Spitzer [5] und den Arbeiten anderer Autoren hat das Cyclohexan bei Zimmertemperatur überwiegend Sesselform. Ferner ist das trans-1,4-Dimethylcyclohexan mit zwei äquatorialen Methylgruppen um 3,6 kcal/Mol energieärmer als das mit zwei axialen Methylgruppen. In 4-(tert.-Butylcyclohexyl)-cyclohexan-Derivaten mit Substituenten in 1-Stellung ist die äquatoriale Anordnung beider Substituenten beträchtlich stabiler als die axiale Anordnung [6].

In unseren Laboratorien wurde die Identitätsperiode des orientierten, kristallinen Poly-[trans-1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalats] aus dem Röntgenbeugungsdiagramm zu 14,2 Å bestimmt. Die berechnete Länge des Grundmoleküls mit sesselförmiger Cyclohexankomponente und trans-äquatorialen Substituenten in 1,4-Stellung beträgt 14,7 Å. Die recht gute Übereinstimmung dieser Werte scheint die beiden anderen trans-Isomeren der Glykolkomponente auszuschließen.

Die Struktur des cis-Isomeren ist bisher nicht hinreichend aufgeklärt. Im Cyclohexan beträgt die Energiedifferenz zwischen Sessel- und Wannenform, etwa 5,6 kcal/Mol [5]. Dagegen scheint beim cis-1,4-Bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan die relativ biegsame Wannenform am wahrscheinlichsten zu sein [7].

Die Röntgenweitwinkeldiagramme [8] orientierter wärmebehandelter Monofils aus Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-

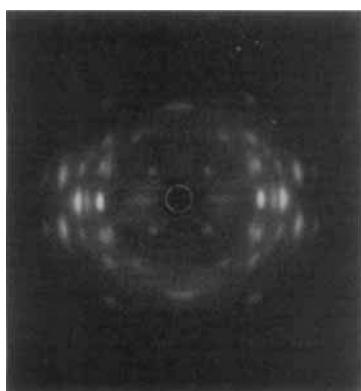


Abb. 3.

Röntgenweitwinkeldiagramm orientierter thermofixierter Monofils des Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalats] mit 95 % trans-Isomeren in der Glykolkomponente

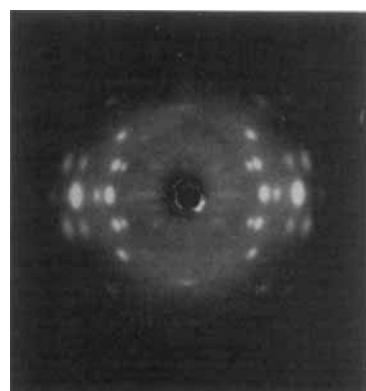


Abb. 4.

Röntgenweitwinkeldiagramm orientierter thermofixierter Monofils aus Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] mit reinem cis-Isomeren in der Glykolkomponente

[5] C. W. Beckett, K. S. Pitzer u. R. Spitzer, J. Amer. chem. Soc. 69, 2488 (1947).

[6] S. Winstein u. N. J. Holness, J. Amer. chem. Soc. 77, 5562 (1955).

[7] C. A. Boye, J. Polymer Sci. 55, 263 (1961).

[8] C. A. Boye, J. Polymer Sci. 55, 275 (1961).

cyclohexan-terephthalat] mit dem trans- und cis-Isomeren der Glykolkomponente zeigen eine gut entwickelte kristalline Struktur des Materials, die jedoch für die beiden Isomeren unterschiedlich ist (Abb. 3 und 4). Die Identitätsperiode des Polymeren mit dem trans-Isomeren beträgt 14,2 Å, die des Polymeren mit dem cis-Isomeren 13,7 Å. Die Elementarzelle des Polymeren mit trans-Konfiguration in der Glykolkomponente ist triklin und hat folgende Parameter:  $a = 6,37$  Å;  $b = 6,63$  Å;  $c = 14,2$  Å;  $\alpha = 89,35^\circ$ ;  $\beta = 47,11^\circ$ ;  $\gamma = 114,36^\circ$ . Sie enthält ein Grundmolekül, ihre c-Achse läuft fast parallel zur Faserachse und stimmt mit der Identitätsperiode überein. Die aus den Abmessungen der Elementarzelle berechnete kristalline Dichte beträgt 1,265 g/cm<sup>3</sup>.

Die Elementarzelle des Polymeren mit cis-Konfiguration in der Glykolkomponente ist ebenfalls triklin. Die c-Achse der Elementarzelle läuft jedoch nicht parallel zur Faserachse, was die Abweichung der Beugungsmaxima von den entsprechenden Schichtlinien zur Folge hat. Die Parameter der Elementarzelle sind [8]:  $a = 6,02$  Å;  $b = 6,01$  Å;  $c = 13,7$  Å;  $\alpha = 89,14^\circ$ ;  $\beta = 53,08^\circ$ ;  $\gamma = 112,49^\circ$ . Die daraus berechnete kristalline Dichte beträgt 1,303 g/cm<sup>3</sup>.

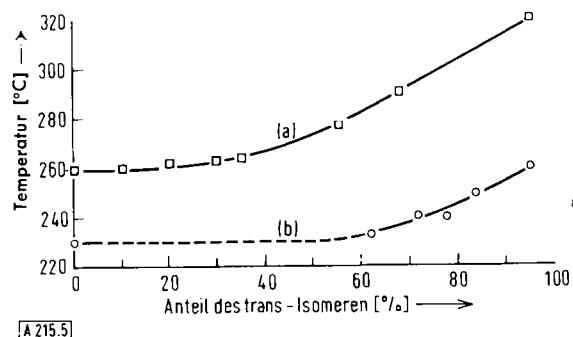


Abb. 5. Abhängigkeit (a) des Schmelzpunkts von Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] und (b) der Versteifungstemperatur eines Gewebes aus Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] vom Isomerenverhältnis

Röntgenbeugungsdiagramme kristalliner Proben des Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalates] zeigen mit steigendem cis/trans-Verhältnis in der Glykolkomponente einen kontinuierlichen Übergang des trans-Kristallgitters in das cis-Gitter. Dies ist ein für kristalline Polymere ungewöhnliches Verhalten. Es weist auf eine kontinuierliche Änderung der Anordnung der Molekülsegmente in der kristallinen Phase. Diese Interpretation wird erhärtet durch die Tatsache, daß es offenbar kein cis/trans-Verhältnis gibt, bei dem das kristalline Polymere einen Schmelzpunkt hat, der niedriger liegt als der des reinen cis-Polymeren. Die auf einem Heiztischmikroskop gemessenen Schmelztemperaturen sind in Abhängigkeit vom Anteil der trans-Komponente in Abb. 5 dargestellt. Der Schmelzpunkt steigt monoton von etwa 260 °C für das Polymere mit reinem cis-Bishydroxymethyl-cyclohexan auf etwa 320 °C für das Polymere mit reinem trans-Bishydroxymethyl-cyclohexan ohne jede Andeutung einer eutektischen Zusammensetzung.

## Molekulare Struktur und Eigenschaften

Die Eigenschaften des Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalates] hängen vom Isomeren-Verhältnis ab. An abgeschreckten, gepreßten Folien wurden durch Differential-Thermoanalyse die Einfriertemperatur, die Temperatur zu Beginn der Kristallisation beim Aufheizen der Folien (untere Kristallisationstempera-

tur), die Schmelztemperatur sowie die Temperatur zu Beginn der Kristallisation beim Abkühlen der Schmelze (obere Kristallisationstemperatur) gemessen. Die Einfriertemperatur wurde an unorientierten Folien bei einer Geschwindigkeit der Temperaturänderung von  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  ermittelt. Untere Kristallisationstemperatur und Schmelztemperatur wurden an orientierten, nicht kristallinen Folien bei einer Aufheizgeschwindigkeit von  $4,6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  bestimmt; die Abkühlungsgeschwindigkeit bei der Messung der oberen Kristallisationstemperatur betrug gleichfalls  $4,6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Da das thermische Verhalten von der Vorgeschichte des Materials und von der Dauer der Messung abhängt, wurden alle Proben soweit wie möglich gleich behandelt. Die Ergebnisse dieser Messungen zeigt Abb. 6.

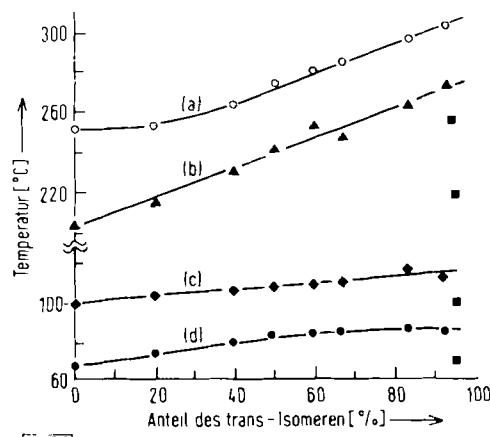


Abb. 6. Schmelzpunkt (a), obere (b) und untere (c) Kristallisations-temperatur sowie Einfriertemperatur (d) von Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] in Abhängigkeit vom Isomerenverhältnis. ■ = Werte für Poly-(äthylenglykol-terephthalat)

Alle vier Temperaturen nehmen mit steigendem Anteil des trans-Isomeren monoton zu. Die Abweichungen einiger Meßpunkte von der Kurve beruhen wahrscheinlich auf geringen Unterschieden in der Behandlung der Folien. Zum Vergleich sind in Abb. 6 die entsprechenden Temperaturen für Poly-(äthylenglykol-terephthalat) angegeben. Sie stimmen weitgehend mit denen von Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] überein, das nur das cis-Isomere enthält.

Nach den Ergebnissen der Differential-Thermoanalyse wird beim Einfrieren des Poly-(äthylenglykol-terephthalats) eine um etwa eine Zehnerpotenz größere Umwandlungsenergie frei als beim Einfrieren von Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat]. Die übrigen Umwandlungsenergien hängen dagegen nicht nennenswert von der Zusammensetzung der Polyester ab.

Die Beziehungen zwischen Dichte und cis/trans-Verhältnis wurden an Folien in der Dichtegradientensäule, die Dichte des amorphen Materials an unorientierten, gepreßten und abgeschreckten Folien untersucht. Für die gleichen Filme wurden die Dichten außerdem gemessen, nachdem sie durch Verstrecken bei  $108\text{ }^{\circ}\text{C}$  orientiert und durch 10 sec Erwärmen in Siliconöl auf  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$  kristallisiert worden waren. Erhitzungszeiten über 10 sec hatten höchstens eine sehr geringe Vergrößerung der Dichte der orientierten Filme zur Folge. In Abb. 7 sind die Dichte von amorphem und kristallisiertem Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] in Abhängigkeit vom cis/trans-Verhältnis dargestellt. Unter Voraussetzung einer linearen Beziehung zwischen Dichte und Kristallinitätsgrad und mit den

oben angegebenen, aus der Elementarzelle berechneten kristallinen Dichten ergibt sich, daß die thermofixierten Folien bei einem Gehalt von 95 % trans- bzw. 100 % cis-Isomeren zu 49 % bzw. 42 % kristallin sind.

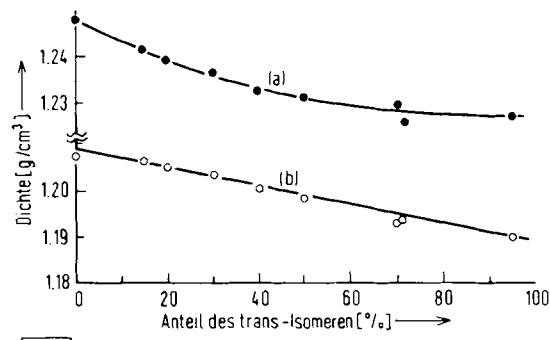


Abb. 7. Beziehung zwischen Dichte und Isomerenverhältnis von Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat]; (a) kristallisiert; (b) amorph

Die Löslichkeit von Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] hängt vom Isomerenverhältnis ab. Bei sehr niedrigen Konzentrationen und Zimmertemperatur ist die Löslichkeit des Polymeren mit reinem cis-Isomeren in einer Mischung aus 60 % Phenol und 40 % Tetrachloräthan (w/w) größer als die des Polymeren mit 95 % trans-Isomeren. Das Polymere mit etwa 66 % cis-Isomeren besitzt die größte Löslichkeit.

Die Lösegeschwindigkeit für thermofixierte Fasern aus Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] in m-Kresol wurde bei  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$  für Polymere mit 58 bis 95 % trans-Isomeren gemessen. Die Lösezeit steigt von etwa 10 sec für das Polymere mit 58 % trans-Anteil auf etwa 5 min für das Polymere mit 78 % trans-Anteil und auf mehr als 30 min für das Polymere mit 95 % trans-Anteil. Bei  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  lösen sich Fasern mit einem Gehalt von 95 % trans-Isomeren in etwa 15 sec.

### Eigenschaften der Fasern aus Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat]

Für alle cis/trans-Verhältnisse, für die in Abb. 5 die Versteifungstemperatur der Gewebe angegeben ist, wurden auch die Festigkeitseigenschaften der Fasern (Zugfestigkeit, Dehnung, Anfangselastizitätsmodul und Elastizität) gemessen. Sie sind im untersuchten Bereich praktisch unabhängig vom cis/trans-Verhältnis. Auf Grund der thermischen Eigenschaften und mehrerer an die Herstellung geknüpfter Gründe wurden Fasern aus Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] mit einem cis/trans-Verhältnis von etwa 1:2 hergestellt. Entsprechend ist der folgende Teil des Berichtes auf Fasern mit diesem Isomerenverhältnis und auf die daraus hergestellten Garne und Gewebe beschränkt.

Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] wird im Schmelzspinnverfahren zu Fasern versponnen, die durch Verstrecken orientiert und durch Kristallisation gegen eine Schrumpfung unter Wärmeeinwirkung stabilisiert werden. Die Kristallisation kann durch Quellung des Polymeren in Flüssigkeiten und Dämpfen bei Zimmertemperatur oder erhöhte Temperatur oder

durch das Erwärmen in einem inerten Medium einleiten. Beim letzten Verfahren hängen Kristallisationsgeschwindigkeit und Kristallinitätsgrad stark von der Temperatur und der Erhitzungsdauer ab. Die Temperatur, bei der die Kristallisationsgeschwindigkeit ein Maximum erreicht, scheint zwischen 265 und 270 °C zu liegen. Nach Messungen in der Dichtegradientensäule beträgt der in einem orientierten Polymeren mit 67 % trans-Isomer erzielte größte Kristallinitätsgrad etwa 55 %.

von 6 %, wenn man sie in Luft auf 220 °C erhitzt; ihre Restschrumpfung nach Behandlung mit kochendem Wasser beträgt 2 %. Die anderen vier Kurven entsprechen Fasern, die unter diesen Bedingungen nicht mehr schrumpfen. Kurve E gilt für eine Faser, deren kristalline Gebiete nur mäßig orientiert sind. Diese Kurven überdecken recht gut den Bereich, in welchem die Spannung-Dehnungs-Kurven für Baumwolle, Zellwolle und Wolle liegen.

Tabelle 1. Eigenschaften von Fasern aus Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] im Vergleich zu denen anderer Fasern

	Fasertyp [a]					Baumwolle	Zellwolle	Wolle
	A	B	C	D	E			
Bruchspannung [g/den]	5,3	4,2	3,0	2,3	1,3	3,6	2,7	1,3
Bruchdehnung [%]	10	18	28	36	30	13	19	35
Anfangselastizitätsmodul [b] [g/den]	61	41	35	27	14	37	67	24
Arbeitsrückgabe [%]								
bei 2 % Dehnung	80	82	87	89	82	70	46	85
bei 5 % Dehnung	82	50	47	53	50	33	26	55
bei 10 % Dehnung	Bruch	39	32	34	34	Bruch	16	33
Brechungsindex [c]								
parallel	1,656	1,648	1,641	1,640	1,637	—	—	—
senkrecht zur Faserachse	1,534	1,534	1,539	1,537	1,538	—	—	—
Doppelbrechung	0,122	0,114	0,102	0,103	0,099	—	—	—

[a] Die Fasertypen entsprechen denen der Abb. 8.

[b] Bei 1 % Dehnung.

[c] Bei 21 °C und 589 mμ.

Die thermischen und chemischen Eigenschaften der Fasern hängen vom Kristallinitätsgrad ab. Die Widerstandsfähigkeit gegen organische Lösungsmittel und gegen hydrolytischen Abbau steigt, das Farbaufnahmevermögen sinkt mit steigender Dichte. Fasern, die unter Wärmeinwirkung nicht mehr schrumpfen, besitzen eine Dichte von etwa 1,22 g/cm<sup>3</sup>. Die Dichte steigt um etwa 0,005 g/cm<sup>3</sup>, wenn beim Färben Butylbenzoat als Carrier benutzt wird. Geht man dagegen von einer Färdichte um 1,23 g/cm<sup>3</sup> aus, so findet man beim Färben keinen nennenswerten Dichteanstieg, der auf die Anwesenheit des Carriers zurückzuführen wäre.

In Abb. 8 sind fünf Spannung-Dehnungs-Kurven dargestellt, die man an Fasern mit 67 % trans-Anteil durch Variation der Herstellungsbedingungen erhalten hat. Kurve A gehört zu Fasern mit einer Restschrumpfung

Einige weitere Eigenschaften sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Arbeitsrückgabe wurde bei konstanter Dehnungsgeschwindigkeit von 10 % pro Minute gemessen, wobei die Entlastungsperiode ohne zeitliche Verzögerung auf die Belastungsperiode folgte. Auffällig ist, daß die Arbeitsrückgabe bei den thermisch stabilen Fasern von der Form ihrer Spannung-Dehnungs-Kurve praktisch unabhängig ist. Unter diesen Fasern haben die Proben B und E extreme physikalische Eigenschaften. Der Orientierungsgrad der Moleküle wird durch die Doppelbrechung beschrieben.

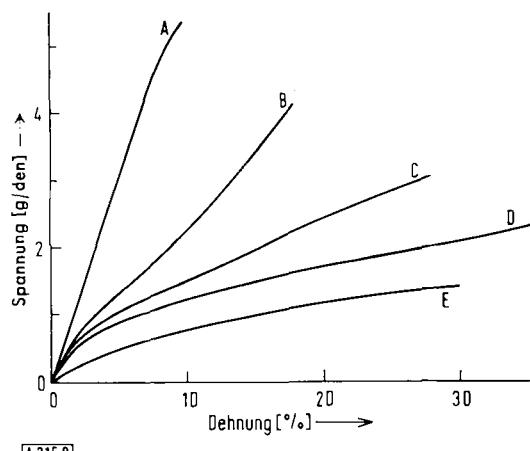
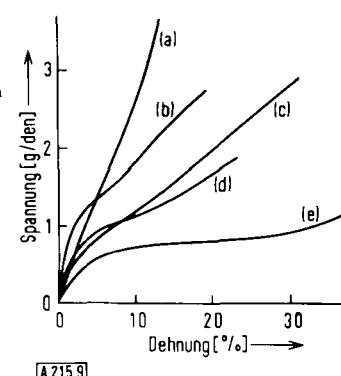
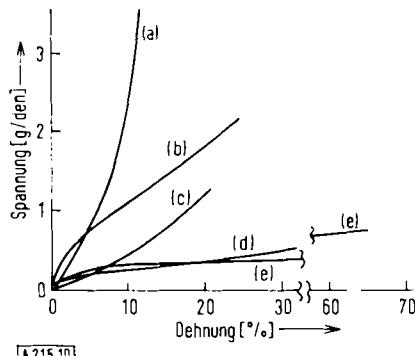


Abb. 8. Spannung-Dehnungs-Kurven verschiedener Fasern aus Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat]. Erläuterungen siehe Text

Abb. 9.  
Spannung-Dehnungs-Kurven von Fasern bei 65 % relat. Luftfeuchtigkeit und 21 °C.  
a) Baumwolle  
b) Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat]  
c) Viscose-Reyon  
d) Acetyl-cellulose  
e) Wolle



Typische Spannung-Dehnungs-Kurven für Fasern aus Acetyl-cellulose, Baumwolle, Wolle, Viscose-Reyon und Poly-[1,4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] sind in Abb. 9 wiedergegeben. Abb. 10 zeigt die Kurven der gleichen Fasern nach 30 min Quellung in Wasser bei 70 °C im nassen Zustand gemessen. Alle Fasern mit



[A 215.10]

Abb. 10. Spannung-Dehnungs-Kurven der in Abb. 9 beschriebenen Fasern nach 30 min Quellung in Wasser von 70 °C

Ausnahme der aus Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] haben nach der Quellung einen beträchtlich geringeren Anfangsmodul.

Um die durch Wärme und Wasser erzeugten Veränderungen voneinander trennen zu können, wurden die Spannung-Dehnungs-Kurven der Fasern aus Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] in Wasser und Luft bei 21 und 70 °C gemessen (Tabelle 2).

Zum Vergleich weiterer Eigenschaften wurden leichte Anzugstoffe aus etwa Nm 60/2-Garn hergestellt. Alle Gewebe hatten die gleiche Konstruktion und jedes bestand nur aus einer Faserart. Knickscheuerfestigkeit und scheinbares spezifisches Volumen der Gewebe sind in Tabelle 3 angegeben.

Die Reiß- und Scheuerfestigkeit von Mischgeweben, die die neuen Polyesterfaser enthalten, sind nicht ganz so groß wie die von Mischgeweben mit kräftigeren heute handelsüblichen Chemiefasern. Sie erreichen aber die Standardwerte, welche die Bekleidungsindustrie für Gewebe aus solchen Fasern fordert, mit denen zusammen die neuen Polyesterfaser verarbeitet werden soll. Eine wichtige Eigenschaft der Fasern aus Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] ist

Tabelle 2. Physikalische Eigenschaften der Fasern aus Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat]

	In Luft		In Wasser	
	21 °C	70 °C	21 °C	70 °C
Bruchspannung [g/den]	2,5-3,0	1,8-2,5	2,5-3,0	1,8-2,5
Bruchdehnung [%]	24-30	24-30	24-30	24-30
Anfangsmodul [a] [g/den]	25-35	22-32	22-32	20-30
Mittlere Steifheit [b] [g/den]	ca. 11	—	—	—
Mittlere spezifische Zerreißarbeit [c] [m·kp/cm³]	ca. 4,4	—	—	—
Spezifische Zerreißarbeit [d] [m·kp/cm³]	ca. 5,5	—	—	—
Arbeitsrückgabe [%]				
bei 2 % Dehnung	85-95	77-87	83-93	75-85
bei 5 % Dehnung	50-60	42-52	48-58	40-50
bei 10 % Dehnung	30-40	22-32	28-38	20-30

[a] Bei 1 % Dehnung.

[b] Verhältnis von Bruchspannung zu Bruchdehnung.

[c] Halbes Produkt aus Bruchspannung und Bruchdehnung.

[d] Fläche unter der Spannung-Dehnungs-Kurve.

Tabelle 3. Eigenschaften von Fasern und Geweben aus Poly-[1.4-bis-(hydroxymethyl)-cyclohexan-terephthalat] im Vergleich mit Fasern und Geweben aus anderem Material

	Kodel Vestan	Baum- wolle	Wolle	Acetyl- cellulose	Zell- wolle
Arbeitsrückgabe der Fasern bei 5 % Dehnung [%]	55	33	55	36	26
Knickscheuerwiderstand der Gewebe [Touren]	1900	850	1600	200	1400
Scheinbares spezifisches Volumen der Gewebe [cm³/g]	3,00	2,64	2,78	2,64	2,46

ihre geringe Neigung zur Pillenbildung auf Geweben. Dies erlaubt ihre Verwendung in flanellartigen Geweben, in denen die bisher üblichen Chemiefasern nicht verwendet werden können.

Eingegangen am 6. März 1962 [A 215]

## Aufbau und Eigenschaften von Polyacrylnitril-Fäden [\*]

VON DR. H. MARZOLPH

FARBENFABRIKEN BAYER AG., WERK DORMAGEN

Acrylnitril-Polymerisate sind thermoplastisch. Werden ihre Moleküle orientiert, so entstehen inner- und zwischenmolekulare Spannungen. Diese sind umso größer, je weniger die Strecktemperaturen über den Einfriertemperaturen der Polymerisate liegen. Sie nehmen mit zunehmendem Streckverhältnis ab. Durch Erwärmen der Fäden über die Einfriertemperatur werden die Spannungen vermindert. Wird dabei die Länge der Fäden konstant gehalten, so stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, der weitgehend unabhängig von der Höhe der Strecktemperaturen und dem Ausmaß der bei der Verstreckung erzeugten Spannungen ist. Höhe und Art der dabei auftretenden Veränderungen, die aus Spannung-Dehnungs-Diagrammen ermittelt werden können, gestatten Einblicke in die Zusammenhänge zwischen Feinheiten im Polymerisataufbau und den Fadeneigenschaften.

### Einleitung

Bei der Herstellung von Acrylnitril-Polymerisaten sind zahlreiche Variationen möglich, die sowohl das Polymerisationsverfahren betreffen als auch Art und Menge der verwendeten Comonomeren. Je nach Darstellung

unterscheiden sich die Polymerisate z. B. in ihrer Affinität zu Farbstoffen oder in ihrem thermischen Verhalten. Werden solche Polymerisate zu Fäden verformt, so sind deren Eigenschaften zusätzlich von der Art des Verfor-

[\*] Nach einem Vortrag auf der Tagung der GDCh-Fachgruppe „Kunststoffe und Kautschuk“ am 10. April 1962 in Bad Nauheim.