

Mitteilung aus der Forschungsabteilung für makromolekulare Chemie
des Chemischen Laboratoriums der Universität Freiburg/Br.

Über die Konstitution der Evonymus-Guttapercha

270. Mitteilung über makromolekulare Verbindungen¹⁾

Von **H. Staudinger** und **Kl. Fischer**

Mit 3 Abbildungen

(Eingegangen am 24. Februar 1941)

1. Problemstellung

Bei niedermolekularen einheitlichen Stoffen mit Fadennmolekülen²⁾, ferner bei Polyestern³⁾ gilt folgende Beziehung zwischen den Viscositätszahlen (= η_{sp}/c -Werten) und der Kettengliederzahl n :

$$\frac{\eta_{sp}}{c} = K_{\text{äqu}} \cdot n$$

$K_{\text{äqu}}$ ist in Benzollösung $0,95 \cdot 10^{-4}$ ⁴⁾. Die Gültigkeit dieses Gesetzes wurde bei Verbindungen mit einer Kettengliederzahl von 20—1600 nachgewiesen. Berechnet man unter Benutzung dieser Konstanten aus den Viscositätszahlen die Kettengliederzahlen und daraus die Durchschnittsmolekulargewichte für Kautschuk, Guttapercha und Balata, so findet man diese nur $\frac{1}{3}$

¹⁾ Zugleich 51. Mitteilung über Kautschuk; 50. Mitteilung. J.prakt. Chem. [2] 157, 158 (1940); 269. Mitteilung: H. Staudinger u. K. Eder, Naturwiss. 29, 221 (1941).

²⁾ Vgl. die Zusammenstellung in H. Staudinger's Organische Kolloidchemie, Verlag Vieweg, Braunschweig 1940, S. 54.

³⁾ H. Staudinger u. H. Schmidt, J. prakt. Chem. [2] 155, 129 (1940); H. Staudinger u. O. Nuss, J. prakt. Chem. [2] 157, 284 (1941).

⁴⁾ Bei H. Staudinger u. F. Staiger, Ber. dt̄sch. chem. Ges. 68, 706 (1935) ist der Wert $0,93 \cdot 10^{-4}$ angegeben. Bei den Arbeiten über die Polyprene genügt der obige abgerundete Wert.

bis $\frac{1}{5}$ so groß, wie die durch osmotische Bestimmungen erhaltenen Werte. Die $K_{\text{äqu}}$ -Werte dieser Produkte sind somit weit niedriger als die von den genannten niedermolekularen Produkten. Da die $K_{\text{äqu}}$ -Werte von synthetischen Polybutadienen, deren Makromoleküle verzweigt sind, ungefähr die gleiche Größe haben wie die der natürlichen Polyprene, so zogen wir die Schlußfolgerung, daß auch die Makromoleküle der natürlichen Polyprene verzweigt sein können¹⁾.

Es schien dabei nicht ausgeschlossen, daß die Makromoleküle der natürlichen Polyprene entsprechend der früheren Annahme unverzweigte Fadenmoleküle sind, und daß sich die Verzweigungen erst durch sekundäre Reaktionen gebildet haben. So kann z. B. schon durch Einwirkung von Luft auf Latex eine Verknüpfung der Fadenmoleküle durch Sauerstoffbrücken erfolgen²⁾. Dafür spricht die Beobachtung, daß der Kautschuk in altem Latex mehr unlösliche, begrenzt quellbare Anteile enthält als der Kautschuk in frischem³⁾. Bisher war es uns nicht möglich, einen direkt aus einem Heveastamm in indifferenter Gasatmosphäre abgezapften Latex zu untersuchen. Nur die Untersuchung eines solchen Materials könnte eine Entscheidung über den Aufbau des nativen Kautschuks liefern⁴⁾.

Es war deshalb für die Bearbeitung dieser Frage wertvoll, daß uns durch das Entgegenkommen von Herrn Prof. Dr. J. Liese vom Botanischen Institut der forstlichen Hochschule Eberswalde, ein Polypren aus Wurzeln von *Evonymus Europaea* zur Verfügung gestellt wurde⁵⁾, und daß wir aus diesen Wurzeln unter Ausschluß von Luftsauerstoff das Polypren gewinnen konnten. Dieses ist nach den folgenden Untersuchungen mit

¹⁾ Vgl. H. Staudinger u. Kl. Fischer, J. prakt. Chem. [2] 157, 19 (1940).

²⁾ H. Staudinger u. H. F. Bondy, Liebigs Ann. Chem. 488, 153 (1931); H. Staudinger u. E. O. Leupold in H. Staudingers „Die hochmolekularen organischen Verbindungen, Kautschuk u. Cellulose“, Verlag Springer, Berlin 1932, S. 442.

³⁾ Vgl. E. Hauser, Latex, Verlag Steinkopff, Dresden 1927, S. 165.

⁴⁾ Vgl. dazu C. O. Weber, Über den Kautschuk in frischem Latex, Ber. dtsh. chem. Ges. 36, 3108 (1903); C. Harries, Über natürliche und künstliche Kautschukarten, Verlag Springer 1919, S. 236.

⁵⁾ Für die Überlassung dieses Materials danken wir Herrn Prof. Dr. Liese verbindlichst.

der tropischen Guttapercha und Balata identisch¹⁾. Die Evonymus-Guttapercha wird wie das tropische Produkt aus Lösungen krystallisiert erhalten²⁾. Das krystallisierte, faserige Produkt gibt nach dem Dehnen, wie die Aufnahmen zeigen, die von Herrn Dozent Dr. E. Plötze³⁾ im Physikalischen Institut der Universität Freiburg ausgeführt wurden, das gleiche Röntgendiagramm wie Guttapercha und Balata. Ferner zeigt diese Evonymus-Guttapercha die gleichen K_m -Werte wie die tropische Guttapercha und Balata.

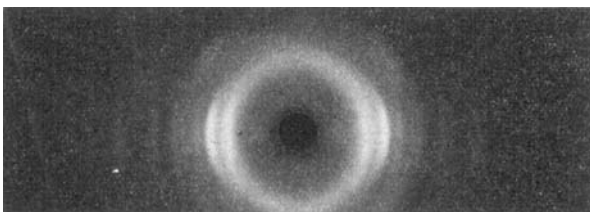


Abb. 1. Debye-Scherrer-Diagramm von Evonymus-Guttapercha.
[CuK α -Strahlung (0,01 mm Ni). Kameradurchmesser = 57 mm]

2. Gewinnung der Evonymus-Guttapercha

Die grün-grauen nicht elastischen Felle von Evonymus-Guttapercha wurden zur Reinigung ein Tag mit Aceton extrahiert, dann in Toluol gelöst; nach dem Filtrieren wird der Kohlenwasserstoff aus der Toluollösung mit einem Gemisch von Aceton und Methanol ausgefällt. Zur Reinigung wurde das Produkt nochmals aus der Toluollösung mit dem gleichen Fällungsmittel ausgefällt und so eine weiße, schwach elastische Masse erhalten, die im Aussehen der gereinigten tropischen Guttapercha gleicht. Dieses Produkt (Evonymus-Guttapercha I) hat

¹⁾ Dabei ist zu beachten, daß man makromolekulare Stoffe nicht mit derselben Sicherheit identifizieren kann wie niedermolekulare Stoffe. Es ist daher immer noch möglich, daß lediglich das allgemeine Bauprinzip dieser verschiedenen Guttaperchasorten das gleiche ist, daß aber noch Unterschiede in der Konstitution vorhanden sind, die man heute noch nicht erkennen kann.

²⁾ F. Kirchof, Kautschuk 5, 175 (1929).

³⁾ Für die Ausführung der Aufnahmen danken wir Herrn Dr. E. Plötze bestens.

ebenfalls einen zu niederen K_m -Wert, und zwar ungefähr den gleichen wie die tropische Balata und Guttapercha.

Da bei diesem Material eine nachträgliche Veränderung der ursprünglichen Fadenmoleküle durch Autoxydation nicht ausgeschlossen war, so stellten wir Guttapercha aus Wurzelrinden der Pflanze selbst her. Zu diesem Zwecke wurden die frisch zugesandten Wurzeln rasch entrinde, die zerkleinerten guttaperchahaltigen Rinden zur Entfernung von Verunreinigungen 12 Stunden mit Aceton extrahiert und dann mit Toluol 48 Stunden bei 40°C die Guttapercha extrahiert. Der aus der Toluollösung ausgefällte Kohlenwasserstoff (Guttapercha II) besitzt ebenfalls einen zu kleinen K_m -Wert. Um eine Autoxydation des Kohlenwasserstoffes zu vermeiden, setzten wir bei einem weiteren Versuch der Toluollösung geringe Mengen Hydrochinon zu, da dieses als Antioxydans den autoxydativen Abbau der Polyprene verzögert¹⁾.

Auch dieses Produkt (Guttapercha III) hat ungefähr den gleichen K_m -Wert wie Produkt I und II. Es wurden dann schließlich Eryonymuswurzeln, die uns unter Luftausschluß in einem mit Kohlensäureatmosphäre gefüllten Gefäß zugesandt worden waren, unter Hydrochinonzusatz verarbeitet. Aber auch dieses unter besonderen Vorsichtsmaßregeln gewonnene Produkt (Guttapercha IV) hat den gleichen K_m -Wert.

Wie in der früheren Arbeit über Kautschuk geschildert²⁾, so wurden auch hier wieder sämtliche Operationen unter peinlichstem Luftaustausch in Stickstoffatmosphäre durchgeführt; auch wurden Gefäße von dunkelbraunem Glas verwandt, um eine Veränderung des Polyprene durch Licht zu vermeiden³⁾.

¹⁾ Ch. Moureu, Ch. Dufraisse u. P. Lotte, Ind. Engng. Chem. **22**, 549 (1930); Ch. Dufraisse, Rev. gén. Caoutchuk **8**, Nr. 71 (1931); H. Staudinger u. E. O. Leupold, in H. Staudingers „Die hochmolekularen organischen Verbindungen, Kautschuk u. Cellulose“, Verlag Springer, Berlin 1932, S. 422.

²⁾ H. Staudinger u. Kl. Fischer, J. prakt. Chem. [2] **157**, 19 und 158 (1940).

³⁾ Über den autoxydativen Abbau der Polyprene im Licht vgl. J. G. Fol, Kolloid-Z. **12**, 131 (1913); A. van Rossem, Kolloid-Beih. **10**, 101 (1918); H. Staudinger u. E. O. Leupold, in H. Staudingers „Die hochmolekularen organischen Verbindungen, Kautschuk u. Cellulose“, Verlag Springer, Berlin 1932, S. 420.

Endlich wurden auch die Lösungsmittel durch Destillation im gereinigten Stickstoff von Sauerstoff befreit. Daß unter diesen Bedingungen ein reiner Kohlenwasserstoff gewonnen wird, zeigen die Analysen¹⁾ der Tab. 1.

Tabelle 1
Analysen von Kohlenwasserstoffen der Evonymus-Guttapercha

Produkt	DP	% C	% H	% Asche von der Analyse abgezogen
Evonymus - Guttapercha I aus Rohguttapercha	1500	88,19	11,66	aschefrei
Evonymus - Guttapercha II aus Wurzeln ohne Hydrochinonzusatz	1350	88,04	12,08	0,05
Evonymus - Guttapercha III aus Wurzeln mit Hydrochinonzusatz	1600	88,00	11,90	0,03
Evonymus-Guttapercha IV aus Wurzeln mit Hydrochinonzusatz	1600	88,15	12,00	0,2
Evonymus - Guttapercha V aus Wurzeln mit Hydrochinonzusatz				
Fraktion 1.	2000	87,90	12,10	aschefrei
Fraktion 4.	1450	88,18	11,95	„

3. Bestimmung des Durchschnittsmolekulargewichtes durch osmotische Messungen

Die Bestimmung des Durchschnittsmolekulargewichtes wurde in der von G. V. Schulz²⁾ konstruierten Zelle ausgeführt; auch hier wie bei den entsprechenden Untersuchungen des Kautschuk verwandten wir Zellen aus V 4 A-Stahl, da sich nur in diesen ein Abbau der Polyprene vermeiden läßt. Um den autoxydativen Abbau von Guttapercha zu verhindern, verwandten wir bei einer Reihe von Versuchen als Lösungsmittel Toluol, das mit Hydrochinon gesättigt war, nachdem wir uns überzeugt hatten, daß dieser Hydrochinonzusatz die Einstellung des osmotischen Druckes nicht beeinflußt. Das Durchschnittsmolekulargewicht wurde einerseits aus den $\lim p/c$ -Werten durch graphische Extrapolation³⁾, andererseits aus den s -Werten nach G. V. Schulz²⁾ ermittelt.

¹⁾ Die Mikroanalysen wurden von Herrn Dr. S. Kautz ausgeführt.

²⁾ G. V. Schulz, Z. physik. Chem. Abt. A 176, 317 (1936).

³⁾ Vgl. Wo. Ostwald, Kolloid-Z. 49, 60 (1929).

Die Guttaperchasorten III und IV haben die gleichen p/c -Kurven, die von Produkt II verläuft annähernd parallel.

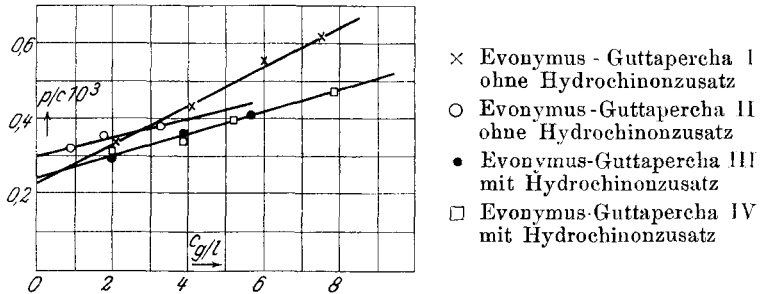


Abb. 2. (p/c) -Kurven von Evonymus-Guttapercha in Toluol bei 27° C

Die p/c -Kurve der Guttapercha I zeigt dagegen einen etwas anderen Verlauf, möglicherweise deshalb, weil die Makromoleküle dieses Materials durch Autoxydation etwas verändert sind.

Die s -Werte der reinen Guttaperchasorten II, III und IV liegen nach Abb. 2 auf einer Geraden, und diese s -Gerade ist identisch mit der von reiner tropischer Balata und Guttapercha,

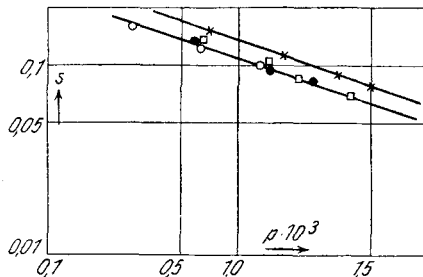


Abb. 3. Abhängigkeit des spezifischen Wirkungsvolumens (s) vom osmotischen Druck (p) bei Evonymus - Guttapercha

die aus Latex gewonnen wurden¹⁾. Dagegen liegen die s -Werte der Guttapercha I auf einer etwas anderen Geraden. Dies ist ein weiterer Hinweis dafür, daß die Makromoleküle der Guttapercha I mit denen von II, III und IV nicht streng polymerhomolog sind. (Vgl. Tab. 2.)

¹⁾ H. Staudinger u. Kl. Fischer, J. prakt. Chem. [2] 157, 19 (1940).

Tabelle 2

Osmotische Messungen an Kohlenwasserstoffen der Evonymus-Guttapercha in Toluol bei 27° C

c g/Liter	$p \cdot 10^3$	$p/c \cdot 10^3$	s	DM	DP
Evonymus-Guttapercha I ohne Hydrochinonzusatz					
2,04	0,67	0,33	0,130	102 000	
4,04	1,74	0,43	0,112	104 000	
5,99	3,27	0,55	0,090	98 000	
7,99	4,92	0,62	0,078	105 000	
				103 000	
Evonymus-Guttapercha II ohne Hydrochinonzusatz					
0,87	0,28	0,32	0,160	89 000	
1,80	0,63	0,35	0,125	90 000	
3,50	1,32	0,38	0,098	98 000	
				93 000	
Evonymus-Guttapercha III mit Hydrochinonzusatz					
2,00	0,59	0,30	0,130	111 000	
3,90	1,39	0,36	0,096	110 000	
5,70	2,37	0,41	0,082	110 000	
				110 000	
Evonymus-Guttapercha IV mit Hydrochinonzusatz					
2,00	0,62	0,31	0,130	107 000	
3,90	1,40	0,36	0,098	110 000	
5,20	2,05	0,40	0,084	110 000	
7,90	3,79	0,47	0,063	110 000	
				109 000	

In Tab. 3 werden die nach den verschiedenen Methoden erhaltenen Polymerisationsgrade der Evonymus-Guttapercha verglichen.

Tabelle 3

 Vergleich der Durchschnittspolymerisationsgrade der Evonymus-Guttapercha nach der \lim -Methode und nach s -Werten

Produkt	$\lim_{c \rightarrow 0} p/c$	DP aus limes-Werten	DP aus s -Werten
Evonymus-Guttapercha I	0,23	1550	1500
Evonymus-Guttapercha II	0,30	1200	1350
Evonymus-Guttapercha III	0,24	1500	1600
Evonymus-Guttapercha IV	0,24	1500	1600

4. Bestimmung der K_m -Werte der Evonymus-Guttapercha

Viscositätsmessungen an Lösungen von Evonymus-Guttapercha wurden unter Luft- und Lichtausschluß in Toluollösung bei 20° C ausgeführt.

Tabelle 4
Viscositätsmessungen an Lösungen von Evonymus-Guttapercha
in Toluol bei 20° C

Produkt	$c_{g/Liter}$	η_r	η_{sp}/c
Evonymus-Guttapercha I	0,784	1,161	0,205
	0,695	1,143	0,203
Evonymus-Guttapercha II	0,450	1,063	0,140
	0,440	1,064	0,145
Evonymus-Guttapercha III	0,396	1,081	0,204
	0,404	1,083	0,205
Evonymus-Guttapercha IV	0,612	1,138	0,226
	0,622	1,141	0,226

Bei 60° C ist die spezifische Viscosität der Lösungen ungefähr die gleiche wie bei 20° C. Die Lösungen der Evonymus-Guttapercha zeigen also wie die der tropischen Balata und Guttapercha keine Temperaturabhängigkeit¹⁾. (Vgl. Tab. 5.)

Tabelle 5
Vergleich der Viscositätszahlen an Lösungen von Evonymus-Guttapercha
bei 20 und 60° C

Produkt	η_{sp}/c	η_{sp}/c	$\frac{\eta_{sp}/c \text{ } 60^\circ \text{ C}}{\eta_{sp}/c \text{ } 20^\circ \text{ C}}$
	20° C	60° C	
Evonymus-Guttapercha I	0,205	0,193	0,94
	0,203	0,193	0,95
Evonymus-Guttapercha II	0,140	0,141	1,00
	0,145	0,144	1,00
Evonymus-Guttapercha III	0,204	0,202	0,99
	0,205	0,202	0,99
Evonymus-Guttapercha IV	0,226	0,224	1,00
	0,226	0,225	1,00

¹⁾ Vgl. Tab. 5 mit Tab. 16 in H. Staudinger u. Kl. Fischer, J. prakt. Chem. [2] 157, 19 (1940).

Aus den nach der osmotischen Methode bestimmten Durchschnittspolymerisationsgraden und den Viscositätszahlen (den η_{sp}/c -Werten) der Tab. 4 wurden die K_m -Werte der Guttapercha ermittelt. Diese haben ungefähr die gleiche Größe wie die der tropischen Produkte; sie betragen also ungefähr $1/3$ der K_m -Konstante $3,8 \cdot 10^{-4}$, die durch Viscositätsmessungen an niedermolekularen Stoffen mit Fadenmolekülen erhalten wurde¹⁾. Wenn man also aus den Viscositätszahlen mit der letzten Konstanten das Molekulargewicht berechnet, so ist der so erhaltene Wert nur ungefähr $1/3$ des wirklichen Molekulargewichtes der Guttaperchasorten.

Tabelle 6

 Bestimmung der K_m - und $K_{äqu}$ -Werte der Evonymus-Guttapercha

Produkt	Lösungsmittel	DP osmotisch	η_{sp}/c	Scheinbarer DP viscos. $K_m = 4,2 \cdot 10^{-4}$ für CCl_4	DP osmotisch DP viscos.	$K_m \cdot 10^4$	$K_{äqu} \cdot 10^4$	
				$K_m = 3,8 \cdot 10^{-4}$ für Toluol				
Guttapercha I ²⁾	Toluol	1900	0,305	720	2,6	1,6	0,40	
Guttapercha II ²⁾	CCl_4	1650	0,265	620	2,7	1,6	0,41	
Guttapercha III ²⁾	CCl_4	1550	0,210	550	2,8	1,4	0,34	
Balata I ²⁾ . . .	„	1300	0,165	450	2,9	1,3	0,32	
Balata II ²⁾ . . .	„	1450	0,193	500	2,9	1,3	0,33	
Evonymus- Guttapercha	I	„	1500	0,204	550	2,4	1,4	0,39
	II	„	1350	0,143	400	3,4	1,1	0,27
	III	„	1600	0,204	550	2,9	1,3	0,32
	IV	„	1600	0,226	600	2,7	1,3	0,32

5. Einheitlichkeit der Evonymus-Guttapercha

Es ist mehrfach die Frage diskutiert worden, ob die makromolekularen Naturprodukte wie Kautschuk und Cellulose³⁾ aus Molekülen einer einheitlichen Größe aufgebaut sind, ob sie also einheitliche Stoffe wie die niedermolekularen Produkte sind. Von The Svedberg und seinen Mitarbeitern wurde

¹⁾ H. Staudinger u. F. Staiger, Ber. dtsh. chem. Ges. **68**, 707 (1935).

²⁾ Vgl. H. Staudinger u. Kl. Fischer, J. prakt. Chem. [2] **157**, 76, Tab. 37 (1940).

³⁾ H. Staudinger u. O. Schweitzer, Ber. dtsh. chem. Ges. **63**, 3132 (1930).

mittels der Ultrazentrifuge nachgewiesen, daß viele Proteine aus Teilchen gleicher Größe bestehen¹⁾. Nur ist bei diesen Produkten noch nicht sicher nachgewiesen, daß die Teilchen einer Proteinlösung Makromoleküle sind, doch ist wahrscheinlich, daß die lebenswichtigen Proteine einheitliche Stoffe einer bestimmten Konstitution sind²⁾. Von E. Husemann wurde auch nachgewiesen³⁾, daß das Xylan, dessen makromolekularer Bau durch polymeranaloge Umsetzungen bewiesen ist, eine einheitliche Verbindung ist. Sein Polymerisationsgrad ist allerdings relativ gering, er beträgt etwa 150.

In einer früheren Untersuchung wurde Balata, die aus Latex gewonnen war, auf Einheitlichkeit geprüft⁴⁾. Diese Balata ließ sich durch Fraktionieren in höher- und niedermolekulare Anteile zerlegen; sie ist aber weit einheitlicher als die stark polymolekularen synthetischen Produkte, wie z. B. die Polystyrole⁵⁾. Es ist natürlich nicht ausgeschlossen, daß die Balata im Latex während des langen Transportes teilweise einen Abbau durch Luftsauerstoff erlitten hat, und daß dadurch die Uneinheitlichkeit hervorgerufen wird.

¹⁾ The Svedberg, Kolloid-Z. **67**, 13 (1934); **85**, 119 (1938); vgl. The Svedberg u. K. O. Pedersen, „Die Ultrazentrifuge“, Verlag Steinkopff, Dresden u. Leipzig 1940.

²⁾ Vor kurzem wurde von G. Schramm u. H. Müller, Hoppe-Seylers Z. physiol. Chem. **266**, 43 (1940), der Nachweis geführt, daß Virusprotein durch Keten acetyliert werden kann, ohne daß sich die Teilchengröße und die physiologischen Eigenschaften verändern. Die Überführung in das acetylierte Derivat kann somit als eine polymeranaloge Umsetzung betrachtet werden; daraus ist zu folgern, daß ein Virusteilchen vom Molekulargewicht $2,3 \cdot 10^7$ ein Makromolekül darstellt, bei dem sämtliche $3 \cdot 10^6$ Atome untereinander durch Hauptvalenzen verbunden sind. Dies ist darum das größte Makromolekül, dessen Existenz bis jetzt nachgewiesen ist. Durch ähnliche Umsetzungen sollte auch der Nachweis für den makromolekularen Bau von Proteinmolekülen geführt werden, vgl. dazu die Einwirkung von Keten auf Insulin, Kurt G. Stern, J. biol. Chem. **122**, 371 (1937); Diphtherietoxin und Keten, A. M. Pappenheimer (jr.), J. biol. Chem. **125**, 201 (1938).

³⁾ E. Husemann, J. prakt. Chem. [2] **155**, 13 (1940).

⁴⁾ H. Staudinger u. H. F. Bondy, Ber. dtsh. chem. Ges. **63**, 724 (1930).

⁵⁾ Über die Unterschiede in der Polymolekularität von synthetischen Hochpolymeren und abgebauten hochpolymeren Naturprodukten vgl. G. V. Schulz, Z. physik. Chem. Abt. B **32**, 27 (1936).

Wir untersuchten deshalb die Evonymus-Guttapercha, die aus frischen Wurzeln unter den oben beschriebenen Vorsichtsmaßregeln gewonnen worden war. Diese läßt sich nur schwer durch fraktioniertes Fällen zerlegen, da auch bei vorsichtigem Zusatz von Aceton zu einer Toluollösung meist fast die gesamte gelöste Menge ausgefällt wird¹⁾. Beim Erwärmen löst sich innerhalb eines kleinen Temperaturintervalls die gesamte Guttapercha wieder auf²⁾. Ihre Fraktionierung gelang durch Abkühlen dieser acetonhaltigen Toluollösung auf 18°, 15°, 5° und 0°. Die ausgeschiedenen Mengen wurden in der Zentrifuge rasch abgeschleudert; ein völliger Luftausschluß war bei der letzten Operation nicht möglich. Die einzelnen Fraktionen wurden gewogen und ihr Durchschnittspolymerisationsgrad aus den Viscositätszahlen berechnet. Nach Tab. 7 haben die zwei ersten Fraktionen (etwa 60% der Gesamtmenge) denselben Durchschnittspolymerisationsgrad. Der der beiden nächsten Fraktionen III und IV ist nur wenig geringer³⁾.

Tabelle 7

Fraktionierung der Evonymus-Guttapercha. (Viscositätsmessungen von Fraktionen der Evonymus-Guttapercha in Toluol bei 20° C)

Produkt	$\frac{c}{g/Liter}$	$\frac{\eta_r}{20^\circ C}$	$\frac{\eta_{sp}}{c}$	DP $K_m = 1,4 \cdot 10^{-4}$	Menge in %
Evonymus-Guttapercha V unfraktioniert	0,628	1,154	0,245	1750	—
	0,680	1,168	0,247		
Fraktion I	0,636	1,177	0,278	2000	26
	0,636	1,177	0,278		
Fraktion II	0,732	1,200	0,273	1950	35
	0,646	1,179	0,277		
Fraktion III	0,696	1,159	0,228	1650	22
	0,708	1,166	0,230		
Fraktion IV.	0,712	1,144	0,202	1450	13
	0,748	1,150	0,201		

¹⁾ Die einzelnen Fraktionen konnten nicht abfiltriert werden, da sich die Filter durch die Guttapercha verstopfen.

²⁾ Über die kritische Temperatur von Lösungen hochmolekularer Stoffe, B. Brönstedt, Trav. Carlsborg Lab. Sörensen Festschr. 22, 99 (1938); G. V. Schulz, Z. physik. Chem. Abt. B 46, 137 (1940); 47, 155 (1940).

³⁾ Die fehlenden 4% von der Gesamtmenge sind Verluste, die beim Umfällen entstanden sind.

Auf Grund der Ergebnisse bei der Fraktionierung kann man annehmen, daß native Evonymus-Guttapercha eine einheitliche Substanz ist, daß also ihre Makromoleküle die gleiche Größe besitzen. Das Molekulargewicht läßt sich allerdings auf Grund der osmotischen Messungen infolge der Empfindlichkeit dieses Stoffes nur mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 7\%$ angeben. Aber auch bei niedermolekularen Verbindungen erhält man durch physikalische Bestimmungen nie den genauen Wert für ihr Molekulargewicht, sondern nur die annähernde Größe desselben. Bei diesen Stoffen wird das genaue Molekulargewicht bei Kenntnis der Konstitution aus den Atomgewichten additiv errechnet und kann so mit derselben Genauigkeit angegeben werden, mit der die Atomgewichte bekannt sind. Bei makromolekularen Stoffen ist dagegen diese Möglichkeit nicht vorhanden.

Bei der genauen Kenntnis der Konstitution eines niedermolekularen Stoffes ist man in der Lage, Zusammenhänge zwischen seinem Aufbau und seinen physikalischen Eigenschaften aufzufinden. Dies ist auch das Endziel der Konstitutionsaufklärung makromolekularer Stoffe. So kann man heute schon wichtige physikalische Eigenschaften mit der Größe und Gestalt der Makromoleküle in Zusammenhang bringen. Bei Stoffen mit einfachen, unverzweigten Fadenmolekülen ist zu einer Beurteilung ihrer physikalischen Eigenschaften, z. B. ihrer Festigkeit vor allem die Kenntnis der Länge der Makromoleküle notwendig. Bei Produkten mit verzweigten Makromolekülen, wie sie eventuell die Evonymus-Guttapercha besitzt, muß man zur Beurteilung der physikalischen Eigenschaften neben dem Molekulargewicht auch noch die Art und Zahl der Verzweigungsstellen und die Länge der Seitenketten kennen. Diese Konstitutionsaufklärung ist naturgemäß weit schwieriger als die von niedermolekularen Stoffen, da es ja notwendig ist, die Anordnung von 2000 Isoprenresten in diesem kompliziert gebauten Makromolekül zu bestimmen.