

einer Organolithium-Verbindung in Petroläther oder Diäthyläther. Dann läßt man das Reaktionsgemisch Raumtemperatur annehmen, wobei das überschüssige Halogenmethan gasförmig entweicht. Das Gemisch wird mit verdünnter Säure hydrolysiert, gewaschen und getrocknet. Nach dem Abdampfen der

niedrigsiedenden Anteile wird an der Drehbandkolonne, gegebenenfalls im Vakuum, fraktioniert. Die Reaktionsprodukte müssen meistens durch préparative Gaschromatographie nachgereinigt werden.

Eingegangen am 21. Dezember 1970 [Z 324]

## VERSAMMLUNGSBERICHTE

### Untersuchung der Selbstdiffusion kleiner Moleküle in einer hochmolekularen Umgebung

Von Robert Kosfeld<sup>[\*]</sup>

Die Selbstdiffusion ist eine translatorische Bewegung, bei der sich die Moleküle relativ zu ihrer nächsten Umgebung in einer beliebigen Richtung statistischen Gesetzmäßigkeiten gehorchend fortbewegen. Dieser molekularkinetische Prozeß hängt von den Wechselwirkungen zwischen den Molekülen ab, die die Struktur des betreffenden Systems bestimmen. Der charakteristische Parameter der Selbstdiffusion ist der Selbstdiffusionskoeffizient (SDK). Seine genaue Kenntnis als Funktion der Temperatur, des Druckes, der Teilchenkonzentration einzelner Komponenten und der Meßdauer erlaubt einen Einblick in die Struktur des untersuchten Systems.

Insbesondere ist die Untersuchung der translatorischen Bewegung kleiner Moleküle in einer polymeren Umgebung von Interesse, da sowohl zahlreiche synthetische als auch biologische Polymere niedermolekulare Verbindungen (etwa als Weichmacher) enthalten. Nun wird nicht nur das polymere Teilsystem einen Einfluß auf die Beweglichkeit der Lösungsmittelmoleküle haben, sondern auch die Lösungsmittelmoleküle ihrerseits werden die Eigenschaften des polymeren Teilsystems und seine Struktur wesentlich beeinflussen.

Zur Untersuchung derartiger molekularkinetischer Vorgänge haben wir in der Spin-Echo-Technik eine geeignete Methode. Sie bietet zur Bestimmung des SDK eine Reihe von Vorteilen gegenüber konventionellen Methoden. So werden z. B. die Moleküle oder auch Molekülteile hierbei gekennzeichnet, indem ihre präziderierenden Atomkerne eine bestimmte Phasenlage zueinander erhalten. Im Gegensatz zur Tracer-Methode wird hier das zu untersuchende System wesentlich weniger gestört, so daß die Meßergebnisse in besserer Annäherung die Vorgänge im ungestörten System widerspiegeln.

Auch können in Mehrkomponentensystemen, in denen mehrere Selbstdiffusionsprozesse stattfinden, die einzelnen Vorgänge unabhängig voneinander und gleichzeitig erfaßt werden.

Während die übliche Spin-Echo-Technik zur Bestimmung des SDK zeitlich konstante oder nach dem Vorgehen von *Tanner* und *Stejskal*<sup>[1]</sup> impulsförmige Feldgradienten gleichen Vorzeichens verwendet, haben wir ein Verfahren mit alternierenden Feldgradientenimpulsen entwickelt<sup>[2]</sup>. Diese Methode erlaubt es, den SDK im weiten Bereich zwischen  $10^{-10} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  und  $10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  zu bestimmen. Die kürzeste Diffusionszeit, die zur Zeit mit dieser Apparatur erfaßt wird, beträgt 80  $\mu\text{s}$ . Bei der Anwendung gleichsinniger Gradientenimpulse wird eine minimale Diffusionszeit von etwa 2000  $\mu\text{s}$  erreicht. Mit dieser Methode wurden z. B. diffusionszeitabhängige SDK-Messungen am System Glassintermembran-Benzol durchgeführt und der Effekt der behinderten Diffusion näher untersucht.

Ausführlicher wurde die Temperaturabhängigkeit des SDK von Polystyrol (PST) in einer Lösung mit 85.7 Mol-% deuteriertem Benzol untersucht. Zwischen 40°C und 100°C läßt sich der Diffusionsprozeß durch einen Arrhenius-Ansatz mit einer Aktivierungsenergie von  $\Delta E = 3.7 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$  beschreiben. Für den Diffusionsprozeß bei reinem Benzol wurde die Aktivierungsenergie zu  $\Delta E = 3.0 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$  bestimmt.

Der Temperatur- und Konzentrationsabhängigkeit des SDK von Benzol in vernetztem und unvernetztem PST widmeten wir eine eingehendere Untersuchung. Eine Arrhenius-Darstellung

liefert auch für den SDK des Benzols sowohl in vernetztem als auch in unvernetztem PST einen linearen Zusammenhang. Die Aktivierungsenergie steigt mit der Polymerkonzentration von 3  $\text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$  bis auf 12  $\text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$  in einem System, das noch 25 Gew.-% Benzol enthält. Die Konzentrationsabhängigkeit des SDK von Benzol genügt oberhalb von 60 Gew.-% Benzol einer einfachen Exponentialbeziehung. Eine Auswertung der Meßergebnisse nach der Doolittle-Fujita-Theorie<sup>[3]</sup> erlaubt es, das relative freie, wirksame Volumen f und den SDK  $D_{so}$  des reinen PST zu bestimmen:

T (°C)	30	40	50	60	70
f · 100	5.9	6.1	9.5	7.9	7.9
D <sub>so</sub> (cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	2.2 · 10 <sup>-11</sup>	4.6 · 10 <sup>-11</sup>	9.0 · 10 <sup>-8</sup>	1.8 · 10 <sup>-9</sup>	1.6 · 10 <sup>-9</sup>

T (°C)	80	90	100
f · 100	8.6	9.6	10.1
D <sub>so</sub> (cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	4.6 · 10 <sup>-9</sup>	2 · 10 <sup>-8</sup>	7.3 · 10 <sup>-8</sup>

Aus druck- und temperaturabhängigen Volumenmessungen bei 90°C ermittelten andere Autoren<sup>[4]</sup> für das freie Volumen einen Wert von 0.13. Hierbei wird als freies Volumen das gesamte Volumen, vermindert um das Volumen der Moleküle in dichtester Packung, angesehen. Nun ist hier anzumerken, daß durch zwischenmolekulare Wechselwirkungen zwischen Polymer- und Benzolmolekülen ein zusätzliches Volumen beansprucht wird, das beim Selbstdiffusionsexperiment für die Benzolmoleküle nicht mehr zur Verfügung steht. Hierdurch kann – wenigstens qualitativ – der Unterschied der nach beiden Verfahren bestimmten freien Volumina erklärt werden.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß im Verlauf der Temperaturabhängigkeit des SDK vom reinen PST bei 50°C eine „Unstetigkeit“ beobachtet wird, die auf eine Umlagerung der Phenylkerne im PST zurückgeführt werden kann.

[GDCh-Ortsverband Bochum, am 26. November 1970]  
[VB 265]

[\*] Doz. Dr. R. Kosfeld  
Institut für Physikalische Chemie  
der Technischen Hochschule  
51 Aachen, Templergraben 59

- [1] J. E. Tanner u. E. O. Stejskal, J. Chem. Phys. 42, 288 (1965).
- [2] B. Groß u. R. Kosfeld, Meßtechnik 7/8, 171 (1969).
- [3] A. K. Doolittle u. H. Fujita, Advan. Polymer Sci. 3, 1 (1961).
- [4] R. N. Haward, H. Breuer u. G. Rehage, Polymer Lett. 4, 375 (1966).

### Kontinuierliche Emulsionspolymerisation

Von Heinz Gerrrens<sup>[\*]</sup>

Mehrere technisch wichtige Kunststoffe wie Butadien-Styrol-Kautschuk oder Emulsions-Polyvinylchlorid werden heute in kontinuierlicher Emulsionspolymerisation hergestellt. Auch bei den Kunststoff-Dispersionen kann man erwarten, daß mit steigender Produktion ein zunehmender Teil in kontinuierlichen