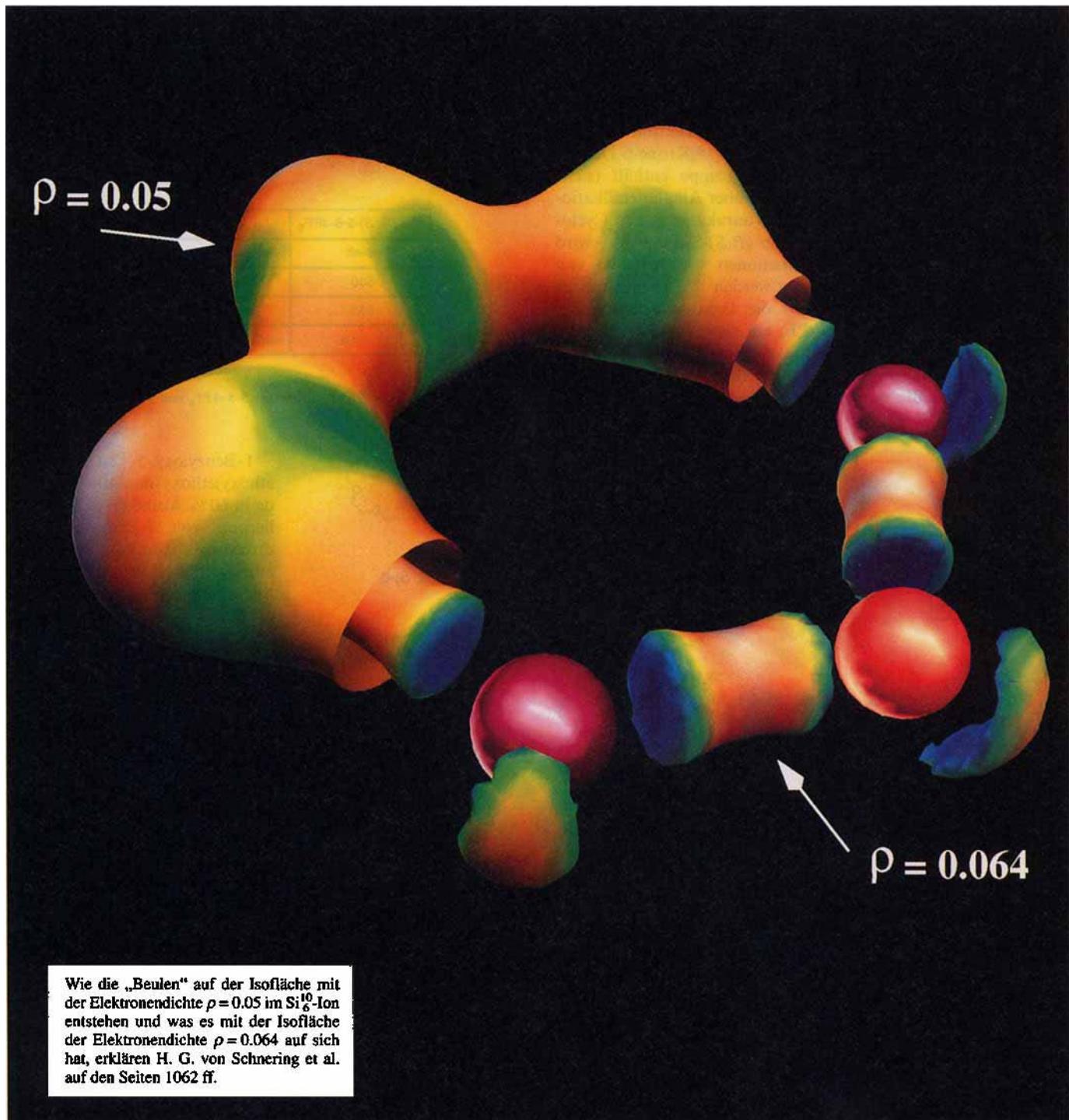


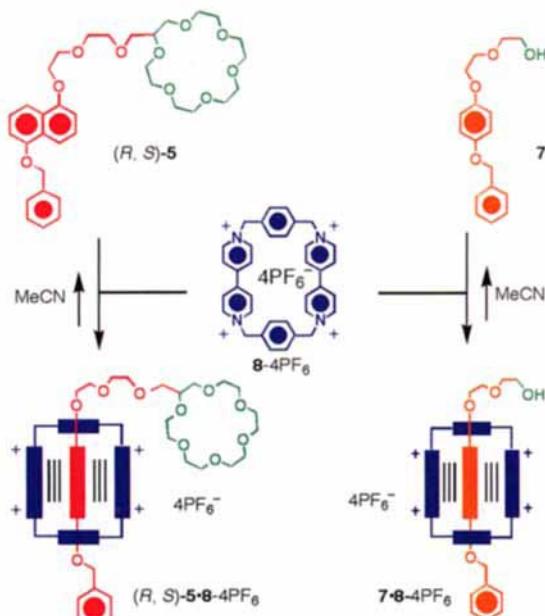
Carbene, Carborane, Calixarene ...

Ein Prototyp eines optisch reagierenden molekularen Schalters auf Pseudorotaxan-Basis**

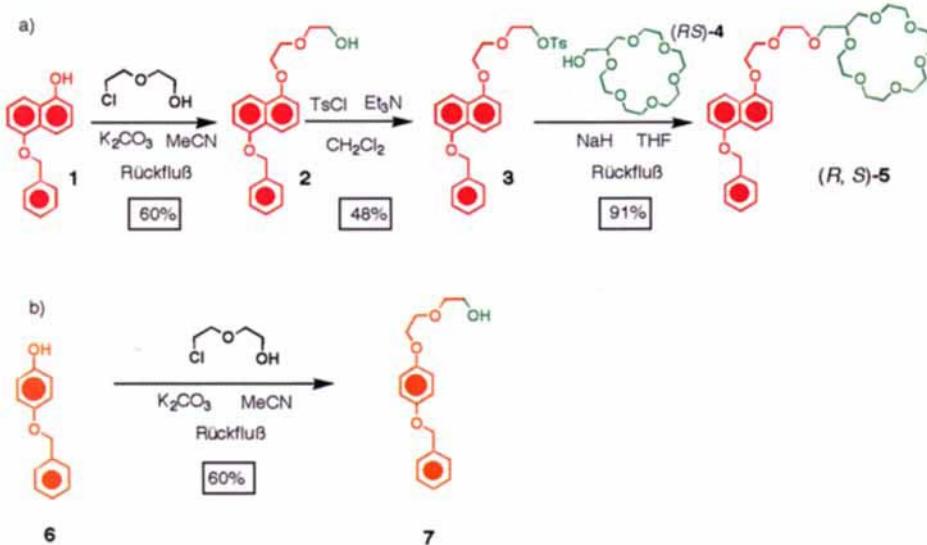
Masumi Asakawa, Sayeedha Iqbal, J. Fraser Stoddart* und Nigel D. Tinker

Konstruktion und Kontrolle supramolekularer Strukturen in Lösung^[1] werden häufig durch eine Kombination von molekularer Erkennung^[2] und Selbstorganisation^[3] erreicht. Interesse findet zunehmend die Entwicklung von molekularen Systemen, die eine technische Anwendung als Sensoren^[4], Funktionseinheiten^[5] und Schalter^[6] versprechen. Die supramolekulare Chemie^[7] spielt hier eine wichtige Rolle.

[2]Pseudorotaxane^[8] und [2]Rotaxane^[9] lassen sich aus Cyclobis(paraquat-*p*-phenylen) als Ring und 1,4-dioxysubstituierten Arenen als Achse aufbauen, die makrocyclische Polyether am Achsenende tragen. Diese [2]Pseudorotaxane werden durch Zugabe von Alkalimetallkationen leicht in ihre Bestandteile zerlegt. Hier zeigen wir nun, wie diese [2]Pseudorotaxane verwendet werden können, um eine optische Reaktion auf die Metallkomplexierung hervorzurufen. Das [18]Krone-6-Derivat (*R,S*)-5, das eine 1,5-Dioxynaphthalingruppe enthält (siehe Schema 1), kann sowohl als Wirt gegenüber Alkalimetallkationen als auch als Gast gegenüber dem tetrakationischen Cyclophan **8**⁴⁺ agieren. Die Bindung von (*R,S*)-5 durch **8**⁴⁺ wird durch Zugabe von Alkalimetallkationen wie K^+ , die von [18]Krone-6-Derivaten komplexiert werden^[10], erheblich reduziert. Auf diese Art können wir die Dekomplexierung des [2]Pseudorotaxans (*R,S*)-5·**8**-4PF₆ auf chemische Weise erzielen und zugleich die Selbstorganisation eines [2]Pseudorotaxans **7**·4PF₆ begünstigen, dem eine [18]Krone-6-Einheit als sperrende Endgruppe fehlt.



(<i>R,S</i>)-5·8-4PF ₆	MeCN	7·8-4PF ₆
violett	Farbe der Lösung	rot/orange
530	λ_{max} / nm	475
910	K_a / M ⁻¹	75
4.0	$-ΔG^\circ$ / kcal mol ⁻¹	2.5

Schema 2. Bildung der [2]Pseudorotaxane 5·8-4PF₆ und 7·8-4PF₆ in MeCN.Schema 1. Synthese a) des [18]Krone-6-Derivates (*R,S*)-5, das eine 1,5-Dioxynaphthalingruppe enthält, und b) des 1,4-Dioxoxyzolanderivates 7.

[*] Prof. J. F. Stoddart, Dr. M. Asakawa, S. Iqbal
School of Chemistry, University of Birmingham
Edgbaston, GB-Birmingham B15 2TT (Großbritannien)
Telefax: Int. +121/414-3531

Dr. N. D. Tinker
British Nuclear Fuels Plc, Springfields Works, Salwick
GB-Preston, PR4 0XJ (Großbritannien)

[**] Diese Arbeit wurde von British Nuclear Fuels Plc, dem Engineering and Physical Sciences Research Council, der Wolfson Foundation (Großbritannien) und der Ciba-Geigy Foundation zur Förderung der Wissenschaft (Japan) unterstützt.

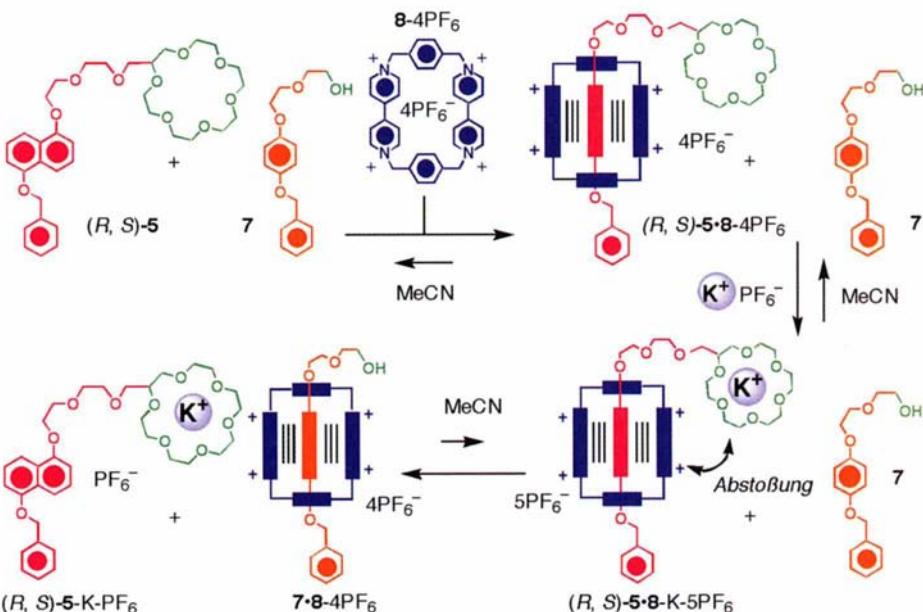
1-Benzyl-5-{2-(2-hydroxyethoxy)naphthalin 2 wurde in 60% Ausbeute durch Alkylierung von 1-Benzyl-5-hydroxynaphthalin 1 mit 2-(2-Chlorethoxy)ethanol unter basischen Bedingungen (K_2CO_3 /MeCN) erhalten (Schema 1)^[11]. Die Tosylierung (TsCl/Et₃N/CH₂Cl₂) des Alkohols 2 ergab das Tosylat 3 (48 %), das mit 1.2 Moläquivalenten 2-Hydroxymethyl-[18]Krone-6 (*R,S*)-4 in 91 % Ausbeute das [18]Krone-6-Derivat (*R,S*)-5 lieferte. 1-Benzyl-4-{2-(2-hydroxyethoxy)ethoxy}benzol 7 wurde durch Alkylierung von 4-Benzylphenol 6 mit 2-(2-Chlorethoxy)ethanol unter basischen Bedingungen (K_2CO_3 /MeCN) in 40 % Ausbeute erhalten^[12].

Zur Bestimmung der Assoziationskonstanten K_a der Komplexbildung von (*R,S*)-5 und 7 mit dem tetrakationischen Cyclophan **8**-4PF₆ in MeCN bei 25 °C (Schema 2) wurden UV-spektrophotometrische Titrationen unter Verwendung der Charge-Transfer(CT)-Bande durchgeführt^[13]. Beim Mischen äquimolarer Lösungen von (*R,S*)-5 und **8**-4PF₆ in MeCN erhält man sofort eine tiefviolette Farbe mit einer CT-Absorption bei 530 nm, die die Bildung des [2]Pseudorotaxans **5**·**8**-4PF₆ anzeigen. Durch UV-Titration wurde für **5**·**8**-4PF₆ in MeCN bei

25 °C ein K_a -Wert von 910 M^{-1} bestimmt, der einem $-\Delta G^\circ$ -Wert von 4.0 kcal mol $^{-1}$ entspricht. Beim Mischen äquimolarer MeCN-Lösungen von **7** und **8-4PF₆** tritt augenblicklich eine rotorange Farbe mit einer CT-Bande bei 475 nm auf, die für die Bildung des [2]Pseudorotaxans **7-8-4PF₆** spricht. Durch UV-Titration in MeCN bei 25 °C wurde ein K_a -Wert von 75 M^{-1} ermittelt, der einem $-\Delta G^\circ$ -Wert von 2.5 kcal mol $^{-1}$ entspricht. Das [18]Krone-6-Derivat **(R,S)-5** mit einer 1,5-Dioxynaphthalingeruppe hat somit eine größere Neigung, sich im Innern des geladenen Hohlraumes des tetrakationischen Cyclophans aufzuhalten, als das 1,4-Dioxybenzolderivat **7**. Da das tetrakationische Cyclophan zu klein ist^[14], um über die [18]Krone-6-Einheit in **(R,S)-5** zu gleiten, kann die Bildung des [2]Pseudorotaxans **5-8-4PF₆** ausschließlich durch das Auffädeln des tetrakationischen Cyclophans über die Benzyloxygruppe von **(R,S)-5** erfolgen.

Beim Mischen äquimolarer Lösungen von **(R,S)-5**, **7** und **8-4PF₆** in MeCN erhält man eine tiefviolette Farbe mit einer CT-Bande bei 518 nm (Abb. 1, Linie B) – ein Hinweis darauf, daß sich das tetrakationische Cyclophan vorzugsweise um die Naphthalingeruppe von **(R,S)-5** aufhält (Schema 3). Linie A in Abbildung 1 ist die CT-Bande, die für das [2]Pseudorotaxan **(R,S)-5-8-4PF₆** beobachtet wird. Die Zugabe von 10 Moläquivalenten KPF₆ zu äquimolaren Lösungen von **(R,S)-5**, **7** und **8-4PF₆** in MeCN führt zum Auftreten einer CT-Bande bei 475 nm (Abb. 1, Linie C), und die Farbintensität der Lösung wird geringer. Diese Bande gleicht der des [2]Pseudorotaxans **7-8-4PF₆**. Somit ergibt die Zugabe von K $^+$ -Ionen zu äquimolaren Lösungen von **(R,S)-5**, **7** und **8-4PF₆** in MeCN eine bathochrome Verschiebung um 43 nm.

Offensichtlich führt die Zugabe von KPF₆ im Überschuß zu äquimolaren Lösungen von **(R,S)-5**, **7** und **8-4PF₆** in MeCN primär zur Bildung eines instabilen Komplexes **(R,S)-5-8-K-5PF₆** (Schema 3). Elektrostatische Abstoßung zwischen den



Schema 3. Mechanismus der Wirkungsweise eines prototypischen optisch reagierenden molekularen Schalters.

im [18]Krone-6-Ende des 1,5-Dioxynaphthalinderivates **(R,S)-5** komplexierten K $^+$ -Ionen und dem tetrakationischen Cyclophan **8-4PF₆** führt dann zur Dissoziation des metallierten Komplexes **(R,S)-5-8-K-5PF₆**, d. h. zum metallierten **(R,S)-5-K-5PF₆** und zum tetrakationischen Cyclophan **8-4PF₆**, das nun mit dem 1,4-Dioxybenzolderivat **7** den Komplex **7-8-4PF₆** bildet. Bei der Komplexierung des tetrakationischen Cyclophans und des Metallkations durch das [18]Krone-6-Derivat **(R,S)-5** tritt also ein negativer allosterischer Effekt auf, d. h. **(R,S)-5** kann sowohl das Metallkation als auch das tetrakationische Cyclophan binden, aber nicht beide zur selben Zeit. Bisher sind nur wenige Fälle von negativen allosterischen Effekten bekannt^[15].

Kaliumionen können somit dank eines negativen allosterischen Effektes die Freisetzung des tetrakationischen Cyclophans **8-4PF₆** aus dem [2]Pseudorotaxan **(R,S)-5-8-4PF₆** bewirken. Dies ermöglicht die Bildung des [2]Pseudorotaxans **7-8-4PF₆**. Das Gesamtergebnis ist eine Änderung des Absorptionsverhaltens durch Zugabe von Metallkationen zu äquimolaren Lösungen von **(R,S)-5**, **7** und **8-4PF₆** in MeCN. Die Entwicklung derartiger selbstorganisierender Systeme könnte zu funktionalen supramolekularen Einheiten führen, die durch chemische Stimulation Veränderungen zeigen.

Experimentelles

(R,S)-5: Eine Lösung von **(R,S)-4** (64 mg, 0.22 mmol) in wasserfreiem THF (20 mL) wurde innerhalb von 20 min in eine siedende Suspension von NaH (10 mg, 40 mmol) in wasserfreiem THF (50 mL) getropft. Die Reaktionsmischung wurde weitere 30 min unter Rückfluß gehalten, dann wurde eine Lösung von **3** (100 mg, 0.20 mmol) in wasserfreiem THF (30 mL) innerhalb 1 h zugetropft, und es wurde weitere 24 h unter Rückfluß gerührt. Die Reaktionslösung wurde auf Raumtemperatur abgekühlt, und es wurde H₂O (10 mL) zugesetzt, um überschüssiges NaH zu zerstören. Nach Entfernen des Lösungsmittels im Vakuum wurde das zurückbleibende gelbe Öl zwischen CH₂Cl₂ und eiskalter 10proz. Salzsäure verteilt. Die organische Phase wurde abgetrennt und getrocknet (MgSO₄). Nach Entfernen des Lösungsmittels erhält man ein gelbliches Öl (117 mg, 91%); FAB-MS: m/z : 637 [M + Na] $^+$, 614 [M] $^+$; ¹H-NMR (300 MHz, CDCl₃): δ = 7.95–7.88 (2 H, 2 \times d, J = 8 Hz), 7.58–7.54 (2 H, d, J = 8 Hz), 7.48–7.88 (5 H, m), 6.89–6.84 (2 H, 2 \times d, J = 8 Hz), 6.75 (2 H, s), 4.38–4.32 (4 H, m), 4.05–3.90 (2 H, m), 3.82–3.78 (2 H, m), 3.70–3.55 (23 H, m); ¹³C-NMR (75 MHz, CDCl₃): δ = 128.6, 127.9, 127.4, 125.2, 114.7, 106.0, 105.8, 78.3, 71.6, 71.3, 71.0, 70.8, 70.6, 70.1, 69.8, 68.0.

(R,S)-5-8-4PF₆: Beim Mischen äquimolarer Lösungen ($6.69 \times 10^{-3} \text{ M}^{-1}$) von **(R,S)-5** und **8-4PF₆** in MeCN bildet sich das [2]Pseudorotaxan **(R,S)-5-8-4PF₆**.

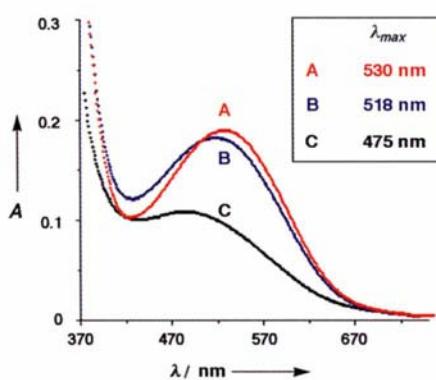


Abb. 1. UV/Vis-Spektren, die die CT-Banden (Konzentration, $4.47 \times 10^{-3} \text{ M}^{-1}$ in MeCN) des [2]Pseudorotaxans **5-8-4PF₆** (A), einer äquimolaren Lösung von **5**, **7** und **8-4PF₆** (B) und einer äquimolaren Mischung von **5**, **7** und **8-4PF₆** nach Zugabe von KPF₆ im zehnfachen Überschuß (C) zeigen. A = Absorption.

FAB-MS: m/z : 1737 [$M + Na$]⁺, 1592 [$M + Na - PF_6$]⁺, 1569 [$M - PF_6$]⁺, 1424 [$M - 2PF_6$]⁺; ¹H-NMR (300 MHz, CD₃CN): δ = 8.82–8.76 (8 H, d, J = 8 Hz), 7.90–7.68 (5 H, m), 7.63 (8 H, s), 7.63–7.58 (8 H, d, J = 8 Hz), 6.75–6.40 (4 H, m), 5.74 (8 H, s), 5.20 (2 H, s), 4.32–4.28 (2 H, m), 4.15–1.11 (2 H, m), 3.95–3.91 (2 H, m), 3.82–3.88 (2 H, m), 3.7–3.30 (25 H, m).

7-8-4PF₆: Beim Mischen äquimolarer Lösungen ($6.69 \times 10^{-3} \text{ M}^{-1}$) von **7** und **8-4PF₆** in MeCN bildet sich das [2]Pseudorotaxan **7-8-4PF₆**; ¹H-NMR (300 MHz, CD₃CN): δ = 8.82–8.76 (8 H, d, J = 8 Hz), 7.90–7.68 (5 H, m), 7.63 (8 H, s), 7.63–7.58 (8 H, d, J = 8 Hz), 5.74 (8 H, s), 5.20 (2 H, s), 4.32–4.28 (2 H, m), 4.15–1.11 (2 H, m), 3.95–3.91 (2 H, m), 3.82–3.88 (2 H, m).

Eingegangen am 24. Oktober 1995 [Z 8493]

Stichworte: Allosterischer Effekt · Kationenerkennung · Molekulare Schalter · Pseudorotaxane · Supramolekulare Chemie

- J.-M. Lehn, *Angew. Chem.* **1988**, *100*, 91; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1988**, *27*, 89; G. M. Whitesides, J. P. Mathias, C. T. Seto, *Science* **1991**, *254*, 1312; G. M. Whitesides, E. E. Simanek, J. P. Mathias, C. T. Seto, D. N. Chin, M. Mammen, D. M. Gordon, *Acc. Chem. Res.* **1995**, *28*, 37.
- C. J. Pedersen, *Angew. Chem.* **1988**, *100*, 1053; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1988**, *27*, 1021; J.-M. Lehn, *ibid.* **1988**, *100*, 91 bzw. **1988**, *27*, 89; D. J. Cram, *ibid.* **1988**, *100*, 1041 bzw. **1988**, *27*, 1009; J.-M. Lehn, *Science* **1993**, *260*, 1762; G. W. Gokel in *Crown Ethers and Cryptands* (Monographs in Supramolecular Chemistry, Hrsg.: J. F. Stoddart), The Royal Society of Chemistry, Cambridge, **1991**; J.-M. Lehn, *Supramolecular Chemistry – Concepts and Perspectives*, VCH, Weinheim, **1995**.
- J. S. Lindsey, *New J. Chem.* **1991**, *15*, 153; D. Philp, J. F. Stoddart, *Synlett* **1991**, 445; *Angew. Chem.* **1996**, *108*, im Druck; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1996**, *35*, im Druck.
- M. Aizawa in *Analytical Chemistry Series, Chemical Sensors* (Hrsg.: T. Seiyama, K. Fukui, J. Shiozawa, S. Suzuki), Elsevier, Fukuoka, **1983**, S. 683; R. B. Beswick, C. W. Pitt, *J. Colloid Interface Sci.* **1988**, *124*, 146; J. Whittall in *Photochromism, Molecules and Systems* (Hrsg.: H. Dürr, H. Bouas-Laurent), Elsevier, Amsterdam, **1990**, S. 467.
- Für Beispiele molekulärer Verbindungen siehe: *Molecular Electronic Devices* (Hrsg.: F. L. Carter), Marcel Dekker, New York, **1982**; S. L. Gilat, S. H. Kawai, J.-M. Lehn, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1993**, 1439; N. P. M. Huck, B. L. Feringa, *ibid.* **1995**, 1095.
- Für schaltbare Catenene und Rotaxane siehe: P. R. Ashton, R. A. Bissell, N. Spencer, J. F. Stoddart, M. S. Tolley, *Synlett* **1992**, 914; P. R. Ashton, R. Ballardini, V. Balzani, M. Blower, M. Ciano, M. T. Gandolfi, C. H. McLean, D. Philp, L. Prodi, N. Spencer, J. F. Stoddart, M. S. Tolley, *New J. Chem.* **1993**, *17*, 68; R. A. Bissell, E. Córdova, A. E. Kaifer, J. F. Stoddart, *Nature* **1994**, *369*, 133; A. C. Benniston, A. Harriman, V. M. Lynch, *Tetrahedron Lett.* **1994**, *35*, 1473; R. Hoss, F. Vögtle, *Angew. Chem.* **1994**, *106*, 389; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1994**, *33*, 375; P. R. Ashton, L. Pérez-García, J. F. Stoddart, A. J. P. White, D. J. Williams, *ibid.* **1995**, *107*, 607 bzw. **1995**, *34*, 571; Beispiele für molekulare Schalter siehe: S. Shinkai in *Studies in Organic Chemistry, Vol. 45: Crown Ethers and Analogous Compounds* (Hrsg.: M. Hiraoka), Elsevier, Amsterdam, **1992**; P. D. Beer, *Chem. Soc. Rev.* **1989**, *18*, 409; S. Nespurek, *Int. J. Electron.* **1992**, *73*, 1059; T. Saika, M. Irie, T. Shimidu, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1994**, 2123; P. D. Beer, J. P. Danks, D. Hasek, J. F. McAlister, *ibid.* **1993**, *1735*; M. Shimomura, S. Aiba, S. Oguma, M. Oguchi, M. Matsute, H. Shimada, R. Kagitara, H. Emori, K. Yishiwara, K. Okuyana, T. Miyashita, A. Watanabe, M. Matsuda, *Supramol. Sci.* **1994**, *1*, 33.
- V. Balzani, L. De Cola, *Supramolecular Chemistry*, Kluwer, Amsterdam, **1992**; F. Vögtle, *Supramolekulare Chemie*, 2. Aufl., Teubner, Stuttgart, **1991**.
- P. R. Ashton, S. Iqbal, J. F. Stoddart, N. D. Tinker, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, im Druck.
- S. Iqbal, J. F. Stoddart, N. D. Tinker, unveröffentlichte Ergebnisse.
- Cation Binding by Macrocycles (Hrsg.: Y. Inoue, G. W. Gokel), Marcel Dekker, New York, **1990**.
- D. B. Amabilino, P.-L. Anelli, P. R. Ashton, G. R. Brown, E. Córdova, L. A. Gómez, W. Hayes, A. E. Kaifer, D. Philp, A. M. Z. Slawin, N. Spencer, J. F. Stoddart, M. S. Tolley, D. J. Williams, *J. Am. Chem. Soc.* **1995**, *117*, 11142.
- P. L. Anelli, P. R. Ashton, R. Ballardini, V. Balzani, M. Delgado, M. T. Gandolfi, T. T. Goodnow, A. E. Kaifer, D. Philp, M. Pietraszkiewicz, L. Prodi, M. V. Reddington, A. M. Z. Slawin, N. Spencer, J. F. Stoddart, C. Vicent, D. J. Williams, *J. Am. Chem. Soc.* **1992**, *114*, 193.
- Die Assoziationskonstanten K_a der [2]Pseudorotaxane wurden durch UV-Titration in MeCN bei 25 °C bestimmt (K. A. Connors, *Binding Constants*, Wiley, New York, **1987**). Die Aufbereitung der Daten mit Hilfe des nichtlinearen Kurvenkorrekturprogrammes UltraFit 2.11 lieferte die K_a -Werte.
- Für Literaturhinweise zur Auffädelungsmethode siehe: P. R. Ashton, M. Bélohradsky, D. Philp, J. F. Stoddart, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1993**, 1269; P. R. Ashton, M. Bélohradsky, J. F. Stoddart, *ibid.* **1993**, 1274; D. B. Amabilino, P. R. Ashton, M. Bélohradsky, F. M. Raymo, J. F. Stoddart, *ibid.* **1995**, *745*, 751.
- H.-J. Schneider, F. Werner, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1992**, 490; A. M. Costero, S. Rodriguez, *Tetrahedron* **1992**, *48*, 6265; J. C. Rodriguez-Ubis, O. Juanes, E. Brunet, *Tetrahedron Lett.* **1994**, *35*, 1295.

Einfache molekulare Maschinen: chemisch gesteuertes Ausfädeln und Rück einfädeln eines [2]Pseudorotaxans**

Roberto Ballardini, Vincenzo Balzani, Alberto Credi, Maria Teresa Gandolfi, Steven J. Langford, Stephan Menzer, Luca Prodi, J. Fraser Stoddart*, Margherita Venturi und David J. Williams

Die Verkleinerung eines „Gerätes“ (engl. device) auf molekulare Dimensionen^[1–5] ist nicht nur von akademischem Interesse, sondern auch für die Entwicklung einer Nanotechnologie von Bedeutung. Fortschritte bei der Konstruktion molekulärer Maschinen sind wichtig für ein biomimetisches Engineering, für die Computertechnologie^[7–9] und für zahlreiche Sensortechnologien^[10, 11]. Dabei sind molekulare Geräte, bei denen die relativen Positionen ihrer Komponenten durch externe Stimulation verändert werden können, von besonderem Interesse. Wir nennen sie mechanische molekulare Maschinen^[12–16]. Hier beschreiben wir die Selbstorganisation eines neuen [2]Pseudorotaxans und die Wirkungsweise einer sehr einfachen molekularen Maschine, die mit einem chemisch induzierten, cyclischen Ausfädelungs- und Rück einfädelungsprozeß arbeitet. Pseudorotaxane sind Übermoleküle, die aus wenigstens einem Makrocyclus bestehen, in den eine acyclische Komponente eingefädelt ist^[17]. Wir konzentrieren uns hier auf das [2]Pseudorotaxan **1²⁺**, das durch Selbstorganisation des 2,7-Dibenzyl-2,7-diazoniapyrén-Dikations **2²⁺** mit dem Kronenether **3** (Prozeß I in Abb. 1) erhalten wurde.

Gibt man **2-2PF₆** zu einer Lösung von **3** in MeCN, so fädelt sich das Elektronenacceptor-Dikation **2²⁺** spontan durch das Zentrum des Makrocyclus **3**, welcher zwei 1,5-Dioxynaphthalingruppen als Elektronendonoren enthält. Das [2]Pseudorotaxan **1-2PF₆** wurde durch Massenspektrometrie^[18], ¹H-NMR-Spektroskopie und eine Röntgenstrukturanalyse^[19] charakterisiert. Sein Massenspektrum zeigt deutlich die Abspaltung von einem und zwei PF₆[–]-Gegenionen, was zu den [M – PF₆]⁺- und [M – 2PF₆]⁺-Peaks bei m/z 1167 bzw. 1022 führt. Ein Vergleich der ¹H-NMR-Spektren (Abb. 2) des freien Salzes **2-2PF₆** und des Kronenethers **3** mit dem Spektrum des [2]Pseudorotaxans **1-2PF₆** zeigt signifikante Änderungen der chemischen Verschiebung aller Protonen ($\Delta\delta$ -Werte bis ca. 0.70). Nach einer Röntgenstrukturanalyse (Abb. 3) kristallisiert **1²⁺** (als PF₆[–]-Salz) mit zwei kristallographisch unabhängigen, C₂-symmetrischen Molekülen in der asymmetrischen Elementarzelle. In beiden Komplexen liegt die π -elektronenarme Diazoniapyrreneinheit

[*] Prof. J. F. Stoddart, Dr. S. J. Langford

School of Chemistry, University of Birmingham
Edgbaston, GB-Birmingham B15 2TT (Großbritannien)

Telefax: Int. +121/414-3531

Dr. R. Ballardini, Prof. V. Balzani, A. Credi, Dr. M. T. Gandolfi, Dr. L. Prodi, Dr. M. Venturi

Dipartimento di Chimica „G. Ciamician“ dell’Università
und

Istituto FRAE-CNR
I-40126 Bologna (Italien)

Dr. S. Menzer, Dr. D. J. Williams

Chemical Crystallography Laboratory, Department of Chemistry
Imperial College

South Kensington, GB-London SW7 2AY (Großbritannien)

[**] Diese Arbeit wurde vom Engineering and Physical Sciences Research Council (Großbritannien) sowie vom Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto Strategico Tecnologie Chimiche Innovative, und vom Ministero dell’Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (Italien) unterstützt. Wir danken dem Ramsay Memorial Trust für ein Postdoktoranden-Stipendium für S. J. L. und der Ciba-Geigy (Divisione Additivi) für ein Stipendium für A. C. Wir danken P. R. Ashton, Dr. N. Spencer und M. S. Tolley für die Aufnahme der Massenspektren und ¹H-NMR-Spektren der Addukte.