

Organometall-Komplexe von Übergangsmetall wurden in allen Fällen zum Vergleich herangezogen.

[\*] Dr. H. Lehmkuhl und Dr. J. Čuljковиć  
Max-Planck-Institut für Kohlenforschung  
433 Mülheim/Ruhr, Kaiser-Wilhelm-Platz 1

[1] H. Lehmkuhl, Angew. Chem. 77, 623 (1965); Angew. Chem. internat. Edit. 4, 600 (1965).

[2] H. Lehmkuhl, Liebigs Ann. Chem. 719, 20 (1968).

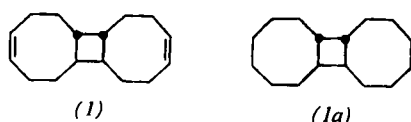
[3] H. Lehmkuhl, Angew. Chem. 78, 675 (1966); Angew. Chem. internat. Edit. 5, 663 (1966).

[4] E. Bonitz, Chem. Ber. 88, 742 (1955); H. Lehmkuhl u. H. D. Kobs, Liebigs Ann. Chem. 719, 11 (1968).

### Die thermische Dimerisierung von *cis,trans*-1,5-Cyclooctadien

Von J. Leitich [\*]

Racemisches *cis,trans*-1,5-Cyclooctadien dimerisiert bei Raumtemperatur im Dunkeln durch Zusammentritt zweier *trans*-Doppelbindungen zu einem Cyclobutanring. Hierbei entstehen drei Stereoisomere: *trans-trans* (*syn*) (1), *trans-cis* (2) und *trans-trans* (*anti*) (3) im Mengenverhältnis von ca. 10 : 4 : 1.



In (1) und (3) sind die *trans*-Konfigurationen der reagierenden Zentren erhalten, in (2) ist eine Inversion eingetreten. Die zweifach invertierten Isomeren entstehen nicht (Nachweisgrenze 0.1%); die einzigen Nebenprodukte sind ca. 3% *cis,cis*-1,5-Cyclooctadien und wechselnde Mengen Polymere. Bildungsgeschwindigkeit und Mengenverhältnis der Dimeren sind unabhängig von Licht und katalytischen Einflüssen sowie nahezu unabhängig vom Lösungsmittel ( $k_{\text{Cyclohexan}}/k_{\text{Dimethylformamid}} = 2.1$ ), das Mengenverhältnis ist zudem kaum temperaturabhängig. Kinetische Parameter [für (1), in DMF zwischen 30 und 50°C]: Reaktionsordnung: 2;  $\Delta H^\ddagger = -17.0 \pm 1.0$  kcal/mol;  $\Delta S^\ddagger = -31 \pm 3$  cal.

(R)-(-)-*cis,trans*-1,5-Cyclooctadien bildet dagegen (+)-(2) und (+)-(3) im Mengenverhältnis von 1 : 2.9 und kein (1).

Auch rac. *trans*-Cycloocten bildet bei 150°C neben Polymeren und Isomeren in kleiner Menge die analogen gesättigten Dimeren (1a), (2a) und (3a) im Verhältnis 2 : 6 : 1.

Die Frage, ob für einen an einen viergliedrigen Ring kondensierten achtgliedrigen Ring die *trans*- oder die *cis*-Verknüpfung energetisch stabiler ist, wurde ferner anhand der Gleichgewichtslagen im Cyclobutan- und im Benzocyclobutensystem untersucht. Beim gesättigten achtgliedrigen Ring ist der

Energieunterschied gering:  $c_c^{\text{äqu.}}/c_t^{\text{äqu.}} = 1$  bzw. 3; beim 5-*cis*-ungesättigten achtgliedrigen Ring ist die *trans*-Anordnung klar bevorzugt ( $c_t^{\text{äqu.}}/c_c^{\text{äqu.}} > 100$ ).

Die genannten Befunde erlauben folgende Rückschlüsse auf den Reaktionsverlauf: Die Dimerisierung beginnt in allen Fällen mit der Knüpfung einer Bindung unter Bildung eines biradikalartigen Zwischenzustands (geschwindigkeitsbestimmender Schritt). Danach schließt sich die zweite Bindung unter Retention der Konfigurationen beider Zentren rasch genug, daß Inversion daneben nur dann zum Zuge kommen kann, wenn sie zu einem energetisch günstigeren Endprodukt führt [(2a)] oder wenn die reagierende Doppelbindung stärker verdreht ist [Bildung von (2)]. Es zeigt sich hierbei eine spezifische Begünstigung der Mono-inversion, die stereo-elektronischen Ursprungs sein muß. Da dies für eine konzentrierte Vierringbildung aus den Woodward-Hoffmann-Regeln vorhergesagt wird, bedeutet das Resultat eine gewisse Gültigkeit dieser Regeln auch für diskonzertierte Cycloadditionen.

[\*] Dr. J. Leitich

Max-Planck-Institut für Kohlenforschung,  
Abteilung Strahlenchemie  
433 Mülheim/Ruhr, Stiftstraße 34–36

### Bestimmung von Kupfer, Blei und Cadmium in unterschiedlichen Konzentrationsverhältnissen mit verschiedenen voltammetrischen Methoden

Von B. Lendermann (Votr.), H. Monien und H. Specker [\*]

Die Bestimmung von Spurenelementen mit voltammetrischen Methoden wird durch die Anwesenheit anderer elektroaktiver Ionen beeinflusst. Die zulässigen Überschußkonzentrationen an Begleitelementen hängen entscheidend vom elektrochemischen Verhalten sowohl der Spur als auch des Überschußelements und schließlich von der angewendeten voltammetrischen Methode ab.

Bei der Bestimmung von Kupfer, Blei und Cadmium in den Systemen Cu–Pb, Pb–Cd und Pb–Cd–Cu wird gezeigt, bei welchen Konzentrationsverhältnissen eins der Elemente in Gegenwart der anderen noch bestimmbar ist, ohne daß das Meßsignal beeinflusst wird, und wo die Bestimmungsgrenze für steigende Überschußkonzentrationen liegt. Die Messungen wurden mit einem konventionellen Gleichstrom-Polarographen, mit einem Kathodenstrahl-Polarographen nach Davis und inversvoltammetrisch am hängenden Quecksilbertropfen sowie an der Kohlepaste-Elektrode ausgeführt. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse erlaubt es abzuschätzen, welche Meßmethode für das diskutierte Analysenproblem am geeignetsten ist.

[\*] Dipl.-Chem. B. Lendermann, Dr. H. Monien und Prof. Dr. H. Specker

Institut für Spektrochemie und angewandte Spektroskopie  
46 Dortmund, Bunsen-Kirchhoff-Straße 11

### Die Reinigung von kontaminierten Abgasen bei der Verbrennung von bestrahlten HTGR-Graphitkernbrennelementen

Von M. F. Lepold [\*]

Zur Entfernung des Graphitballastes geht dem Aufarbeiten von HTGR-Kernbrennelementen ein Verbrennungsaufschluß bei ca. 1000°C voraus. Das Verbrennungsabgas besteht aus etwa 65–75 Vol.-% CO<sub>2</sub>, 15–25 Vol.-% CO, 5–10 Vol.-% O<sub>2</sub> und enthält alle bei der Verbrennung flüchtigen Spaltprodukte. Es wird zunächst durch Metallsinterfilter und Glasfasfilter vorgereinigt und dann an einem Katalysator in ein zu mehr als 99.7 Vol.-% aus CO<sub>2</sub> bestehendes Gas umgewandelt. Hierbei wird die im Unterschuß vorhandene Komponente, CO oder O<sub>2</sub>, jeweils vor dem Katalysator zugepeist.

$^{131}\text{J}$  und  $^{106}\text{Ru}$  werden aus diesem Gas an Aktivkohle ausgefiltert. Bei  $80^\circ\text{C}$  und einer linearen Strömungsgeschwindigkeit des Kohlendioxids von  $5.2\text{ cm/s}$  ist ein Dekontaminationsfaktor  $D \geq 10^5$  für  $^{106}\text{Ru}$  und  $^{131}\text{J}$  realisierbar, solange sich die dafür erforderliche Schichthöhe von  $4\text{ cm}$  unter dem Einfluß des strömenden Kohlendioxids im Sinne einer Gas-Festkörperchromatographie verschieben kann. Die untersuchten Aktivkohlen haben BET-Oberflächen zwischen  $950$  und  $2500\text{ m}^2/\text{g}$ ; die Kapazität für Jod beträgt bei  $80^\circ\text{C}$  und Sättigung des  $\text{CO}_2$  mit  $\text{J}_2$   $1.1$  bis  $2.9\text{ g pro g Aktivkohle}$ .

Zur Abtrennung der Spaltdelgase (Konzentration in der Größenordnung  $1\text{ mg/Nm}^3$ ) wird  $\text{CO}_2$  reversibel an einen  $5\text{-\AA}$ -Molekularsiebzeolith gebunden, dessen Zwischenkornvolumen mit Argon gefüllt ist und die Spaltdelgase aufnimmt. Durch Spülen des Zwischenkornvolumens mit  $\text{CO}_2$  nach Erreichen der  $\text{CO}_2$ -Sättigung des Molekularsiebzeoliths werden das Argon und die darin enthaltenen Spaltdelgase aus der Zeolithfüllung entfernt. Das vom Molekularsiebzeolith desorbierte  $\text{CO}_2$  ist bei einem Dekontaminationsfaktor von  $6 \times 10^3$  für  $^{85}\text{Kr}$  aus  $\text{CO}_2$  weitgehend aktivitätsfrei, während das mit  $^{85}\text{Kr}$  angereicherte Argon als konzentrierter gasförmiger Abfall bei  $-78^\circ\text{C}$  in Aluminiumflaschen an Aktivkohle gebunden wird. Beim Erwärmen auf Raumtemperatur baut sich ein Druck von  $7\text{ atm}$  in der Flasche auf. Die Beladungskapazität des Molekularsiebzeoliths für  $\text{CO}_2$  beträgt innerhalb der Extreme ( $25^\circ\text{C}$ ,  $600\text{ Torr}$  bei der Adsorption und  $150^\circ\text{C}$ ,  $1\text{ Torr}$  bei der Desorption)  $20\%$  des Eigengewichtes der Zeolithfüllung.

Auf diesen Ergebnissen aufbauend wurde eine halbtechnische Anlage für die kontinuierliche Reinigung von stündlich  $2.5\text{ Nm}^3\text{ CO}_2$  in Jülich in der Heißen Zelle erstellt.

[\*] Dr. M. F. Lepold  
Farbenfabriken Bayer AG  
509 Leverkusen-Bayerwerk

## Kohlendioxid-Absorption in gepufferten Arsenitlösungen

Von A. Löwe (Vortr.), N. Neth und K. Dialer[\*]

Die Absorption — genauer gesagt die Reaktion — von Kohlendioxid in Wasser wird durch Arsenitionen beschleunigt. Diese Tatsache wird für  $\text{CO}_2$ -Wäschen nach dem „Vetrocoke“-Verfahren industriell genutzt. Von dieser technischen Anwendung abgesehen bietet das Absorptionssystem außerdem die interessante Möglichkeit, spezifische Austauschflächen in Absorbern zu messen. Für diesen Zweck muß die pH-abhängige Katalysatorkonzentration durch einen Puffer möglichst konstant gehalten werden, um Verarmungerscheinungen in der Absorptionsgrenzschicht entgegenzuwirken. Wählt man, wie es nahe liegt, einen Carbonat-Puffer, so ist nach den thermodynamischen Gleichgewichtskonstanten bei einem Pufferverhältnis (Carbonat/Hydrogencarbonat) von eins die arsenige Säure zu über neunzig Prozent dissoziiert.

Untersuchungen der Gleichgewichte in Arsenitlösungen mit Carbonatpuffern haben jedoch ergeben, daß die Berechnungen aufgrund thermodynamischer Konstanten oder mit Konstanten, die in Abhängigkeit von der Ionenstärke mit großen Überschüssen an Neutralsalzen ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ) ermittelt worden waren, zu falschen Ergebnissen über die Zusammensetzung der Lösungen führen.

Die Dissoziationsgrade der arsenigen Säure sind z.T. weit aus geringer als bisher geschätzt wurde. Außerdem ändert sich die Hydrolysekonstante des Arsenits empfindlich mit dem Dissoziationsgrad und mit geringen Zugaben von Neutralsalzen. Die Angabe von Ionenstärken oder von Pufferverhältnissen, besonders wenn sie auf eingewogene Mengen bezogen sind, ist daher wenig charakteristisch für diese Absorptionen.

Mit zunehmender Carbonisierung einer bestimmten Lösung wird die Hydrolysekonstante des Carbonats größer, die des Arsenits kleiner. Das ist im Hinblick auf die erwähnten

Grenzschichtverarmungen ein glücklicher Umstand, da sich im wesentlichen nur das Pufferverhältnis ändert, während die Katalysatorkonzentration praktisch konstant bleibt.

Kinetische Messungen in einem Filmabsorber bei verschiedenen  $\text{CO}_2$ -Drucken und Verweilzeiten ergaben auch keinen Hinweis auf Grenzschichtverarmungen. Zur genauen Auswertung der Messungen mußte berücksichtigt werden, daß die „Endeffekte“ von der Absorptionsgeschwindigkeit abhängen und nicht durch Messungen der physikalischen Absorption vorherbestimmt werden können.

[\*] Dr. A. Löwe, Dipl.-Chem. N. Neth und Prof. Dr. K. Dialer  
1. Institut für Technische Chemie der Universität  
7 Stuttgart, Böblinger Straße 70

## Die Gitterschwingungsspektren von Schwermetallthiospinellen

Von H. D. Lutz[\*]

Die IR-Absorptionsspektren der Thiospinelle:  $\text{MnCr}_2\text{S}_4$ ,  $\text{FeCr}_2\text{S}_4$ ,  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$ ,  $\text{ZnCr}_2\text{S}_4$ ,  $\text{ZnAl}_2\text{S}_4$ ,  $\text{CdCr}_2\text{S}_4$ ,  $\text{HgCr}_2\text{S}_4$ ,  $\text{CrGa}_2\text{S}_4$ ,  $\text{CrIn}_2\text{S}_4$ ,  $\text{MnIn}_2\text{S}_4$ ,  $\text{FeIn}_2\text{S}_4$ ,  $\text{CoIn}_2\text{S}_4$ ,  $\text{NiIn}_2\text{S}_4$  und  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$  haben im Bereich  $300\text{--}450$ ,  $230\text{--}350$ ,  $170\text{--}300$  und  $70\text{--}120\text{ cm}^{-1}$  vier meist sehr scharfe Absorptionsmaxima, die den vier IR-aktiven Schwingungen des Typs  $F_{1u}$  entsprechen.

Aus den Schwingungsformen<sup>[1]</sup> der Gitterschwingungen des Spinellgitters geht hervor, daß alle Atome der Basiszelle an den IR-aktiven Schwingungen beteiligt sind. Die Spezies der IR-inaktiven Schwingungstypen lassen sich aufgrund ihrer Symmetrieeigenschaften streng in Schwingungen von  $\text{M}^{\text{II}}\text{S}_4$ -Tetraedern und in Schwingungen von  $\text{M}_4^{\text{II}}\text{S}_4$ -Würfeln trennen. Die Zuordnung der Absorptionsmaxima zu den IR-aktiven Schwingungen erfolgte unter Zugrundelegung des Einflusses der Masse der Atome auf die Lage der Schwingungen, des Wellenzahlverhältnisses der Maxima einander entsprechender Oxo- und Thiospinelle sowie der Intensität der Schwingungen.

Die beiden kurzwelligen, sehr intensiven Gitterschwingungen werden in der Reihe vom  $\text{MnCr}_2\text{S}_4$  zum  $\text{ZnCr}_2\text{S}_4$  trotz zunehmender Masse der Metallatome zu höheren Wellenzahlen hin verschoben. Die daraus zu schließende starke Zunahme der Kraftkonstanten steht mit einer entsprechenden Abnahme der CrS- und der SS-Abstände im Gitter und einer zunehmenden Stauchung der  $\text{M}^{\text{II}}\text{S}_4$ -Tetraeder in Zusammenhang. In den Spektren der in der inversen Spinellstruktur kristallisierenden Indiumthiospinelle ist die kurzwelligste Schwingung intensiver als die nächstfolgende; in den Spektren der im Normaltyp kristallisierenden Chromthiospinelle ist es umgekehrt. Diese Umkehr der Intensitäten der beiden kurzwelligen Absorptionsmaxima kann man als eine Folge des Austausches der  $\text{M}^{\text{II}}$ -Ionen auf den Tetraederplätzen durch höherwertige Ionen interpretieren.

[\*] Priv.-Doz. Dr. H. D. Lutz  
Institut für Anorganische Chemie der Universität  
5 Köln, Zulpicher Straße 47

[1] H. D. Lutz, Z. Naturforsch. 24a, 1417 (1969).

## Über die $\alpha$ -Strahlung des $^{228}\text{Ac}(\text{MsTh}_2)$ . Eine neue $\alpha$ -Verzweigung in der Thorium-Zerfallsreihe

Von F. Lux (Vortr.) und N. Kaubisch[\*]

Aufgrund der Theorien über den  $\alpha$ -Zerfall wurde für  $^{228}\text{Ac}(\text{MsTh}_2)$ , ein Glied der Thorium-Zerfallsreihe, eine  $\alpha$ -Verzweigung mit der Zerfallsenergie von etwa  $4.6\text{ MeV}$  und dem Verzweigungsverhältnis von  $0.8 \cdot 10^{-8}$  oder  $3.5 \cdot 10^{-8}$  abgeschätzt.

Für die experimentelle Prüfung stand ein Präparat von  $8\text{ mCi } ^{228}\text{Ra}(\text{MsTh}_1)$  zur Verfügung, das außerdem  $10\text{ mCi } ^{226}\text{Ra}$  enthielt. Bei der radiochemischen Abtrennung und Reinigung des  $^{228}\text{Ac}$  mußte vor allem das  $^{226}\text{Ra}$  sorgfältig entfernt werden, da seine  $\alpha$ -Strahlung von  $4.78\text{ MeV}$  den  $\alpha$ -