

Spektroskopische Untersuchungen an organometallischen Verbindungen VIII¹

IR- und UV-Spektren von Komplexen des substituierten Cyclobutadiens

Von HEINZ P. FRITZ

Aus dem Anorganisch-Chemischen Institut der Universität München

(Z. Naturforsch. 16 b, 415—419 [1961]; eingegangen am 26. April 1961)

Es werden die IR-Spektren zwischen 4000 und 250/cm sowie die Absorptionsspektren im sichtbaren und ultravioletten Bereich von einigen π -Komplexen von C_4X_4 ($X = -CH_3$ und $-C_6H_5$) angegeben. Verschiedene analytisch bedeutsame Komplexbanden werden aufgezeigt. Für die 4 untersuchten Tetraphenyl-cyclobutadien-Komplexe kann diese Struktur aus dem IR-Spektrum durch Vergleich mit $C_4(C_6H_5)_4Fe(CO)_3$ gesichert werden.

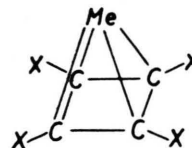
In jüngster Zeit konnten π -Komplexe von Übergangsmetallen mit dem Cyclobutadien-System C_4X_4 ($X = -H$, $-CH_3$ und $-C_6H_5$) verschiedentlich isoliert werden. Zunächst wurde für einen aus Tolan und $Fe(CO)_5$ erhaltenen Komplex² die Struktur $C_4(C_6H_5)_4Fe(CO)_3$ vorgeschlagen, die später bestätigt werden konnte³. Ferner gelang die Darstellung eines violetten $C_4(CH_3)_4NiCl_2$ ⁴, eines farblosen $C_4H_4AgNO_3$ ⁵ und wenig später eines dunkel-rotbraunen $C_4(C_6H_5)_4PdCl_2$ ⁶ und dunkel-blauen $C_4(C_6H_5)_4NiCl_2$ ⁷.

Wegen des rasch wachsenden Interesses an der Chemie der Cyclobutadien-Systeme schien es deshalb lohnend, die IR- und UV-Spektren dieser Komplexe aufzunehmen und kurz zu diskutieren. Vor allem sollte versucht werden, analytische Hilfen zur Erkennung solcher Systeme zu erhalten.

I. Infrarot-Spektren

Soweit die beiden von $C_4(CH_3)_4NiCl_2$ ^{8,9} und $C_4(C_6H_5)_4Fe(CO)_3$ ³ bekannt gewordenen Röntgenuntersuchungen zeigen, liegt jeweils ein ebener, quadratischer Kohlenstoff-Vierring in den Liganden vor. Zusammen mit dem Zentralmetall ergibt sich somit eine tetragonal-pyramidale Struktur nach C_{4v}

für das eigentliche Komplexsystem. Betrachtet man die Substituenten als Massenpunkte X, vernachlässigt man also die Eigenschwingungen der Substituenten, so bietet sich nachstehendes Bild



und es gelten die folgenden spektralen Auswahlregeln:

C_{4v}	MeC_4X_4	C_4X_4	C_4	Me-Lig.	IR-Aktiv.
A_1	4	3	1	1	M_z
A_2	1	1	—	—	
B_1	4	4	2	—	
B_2	2	2	1	—	
E	5	4	1	1	$M_{x,y}$

Neben der Metall-Ligand-Valenz- (A_1) und der Metall-Ligand-Deformations-Schwingung (E) sind also Banden von 7 Normalschwingungen im IR-Spektrum zu erwarten, von denen 5 Schwingungen der Liganden gegen den C_4 -Ring und 2 inneren Schwingungen dieses Ringes zuzuschreiben sind. Wegen der Kompliziertheit der IR-Spektren, besonders der phenylsubstituierten Derivate, ist die Zuordnung selbst dieser nur 7-Ring-Substituenten-

¹ VII. Mitt.: H. P. FRITZ u. H. KELLER, Z. Naturforsch. 16 b, 348 [1961].

² W. HÜBEL und Mitarbb., J. inorg. nucl. Chem. 9, 204 [1959]; 10, 250 [1959].

³ R. P. DODGE u. V. SCHOMAKER, Nature [London] 186, 798 [1960].

⁴ R. CRIGEE u. G. SCHRÖDER, Angew. Chem. 71, 70 [1959].

⁵ M. AVRAM, E. MARICA u. C. D. NENITZESCU, Chem. Ber. 92, 1088 [1959].

⁶ L. MALATESTA, S. SANTARELLA, L. VALLARINO u. F. ZINGALES, Angew. Chem. 72, 34 [1960].

⁷ W. HÜBEL, persönliche Mitteilung *.

* Anm. b. d. Korr.: Inzwischen wurde die unabhängig erfolgte Darstellung des $C_4(C_6H_5)_4NiBr_2$ beschrieben. H. H. FREEDMAN, J. Amer. chem. Soc. 83, 2194 [1961].

⁸ J. D. DUNITZ, H. C. MEZ u. H. M. M. SHEARER, XVII. IUPAC-Kongreß München 1959, Tagg.-Ber.

⁹ J. D. DUNITZ und Mitarbb., Vortrag Int. Conf. Kristallographie, Cambridge 1960; Ref. Angew. Chem. 72, 753 [1960].

Frequenzen nicht gesichert durchführbar, ohne das gesamte Schwingungsspektrum zu kennen. Es seien darum im folgenden von den in Tab. 1 angeführten Banden nur wenige, jedoch typische besprochen.

1. $C_4H_4AgNO_3$

Über das IR-Spektrum dieser Verbindung wurde bereits kürzlich in einer vorläufigen Mitteilung berichtet¹⁰. Es stehen dafür drei verschiedene Möglichkeiten des Aufbaues zur Debatte. Es könnten monomere C_4H_4 -Liganden, ein $AgNO_3$ -Komplex des Tricyclo-okta-diens-1.5, $C_8H_8[AgNO_3]_2$, oder aber mit der gleichen Summenformel ein Komplex des Cyclo-okta-tetraens vorliegen.

Diese letzte Ansicht läßt sich durch Vergleich mit den Spektren mehrerer anderer Cyclo-okta-tetraen-Komplexe mit großer Wahrscheinlichkeit ausschließen, zumal IR- und NMR-Spektrum^{11,12} des aus dem $C_4H_4AgNO_3$ freigesetzten Kohlenwasserstoffes C_8H_8 , der verschiedentlich als Kronenform des Cyclo-okta-tetraens aufgefaßt wird, nach allem auf Tri-cyclo-okta-dien-1.5. hinweisen.

Dagegen ließ sich zwischen den beiden ersten Strukturen nicht völlig sicher unterscheiden, doch sprechen verschiedene Gründe für diejenige mit C_4H_4 -Liganden.

2. $C_4(CH_3)_4NiCl_2$

Eine „vorläufige“ Deutung des IR-Spektrums dieser Verbindung gestaltet sich relativ einfach. Die intensive asymmetrische CC-Valenzschwingung des C_4 -Ringes liegt mit 1541/cm bemerkenswert hoch für ein „durchkonjugiertes“, π -gebundenes cyclisches System. Diese Zuordnung dürfte jedoch eindeutig sein, da einmal in diesem Bereich sicherlich keine Methylfrequenzen mehr liegen, zum anderen Mal aber die durch die vier Methylgruppen erhöhte Elektronendichte im Ring eine Bindungsverfestigung bewirkt. Die nur wenig intensiv zu erwartende symmetrische CC-Valenzfrequenz des Ringes sei versuchsweise der schwachen, bei 1009/cm beobachteten Bande zugewiesen. Die sonstigen z. T. starken Banden lassen sich völlig zwanglos den Schwingungen der Methylgruppen oder den Ring-Methyl-Frequenzen zuordnen. So werden die üblichen CH-Valenzschwingungen bei 2941 und 2890/cm, asymmetrische und symmetrische CH_3 -C-Deformationsfre-

quenzen bei 1440 und 1355/cm sowie CH-Deformations- und CC-Valenzschwingungen bei 1067, 998, 912 und 776/cm zuzuordnen sein. Um 615, 560 und 415/cm treten wie bei den anderen untersuchten Cyclobutadien-Komplexen Banden auf, die sicher von CCC-Deformationsschwingungen herrühren. Da die starke und breite Absorption bei 292/cm zweifellos von brückenbildenden Ni-Cl-Bindungen stammt, bleibt für die Ni-Ligand-Valenzschwingungen nur die Bande bei 467/cm zuzuordnen.

3. $C_4(C_6H_5)_4$ -Komplexe

Zunächst fällt sofort die vor allem im NaCl-Bereich erstaunliche Ähnlichkeit der IR-Spektren dieser Verbindungen auf. Ihre Struktur als Tetraphenyl-cyclobutadien-Komplexe ist also anknüpfend an die röntgenographisch ermittelte Struktur des $C_4(C_6H_5)_4Fe(CO)_3$ ³ absolut sicher.

Die Zuordnung bestimmter Banden stößt jedoch bei diesen Verbindungen im Bereich der Ligandenschwingungen wegen des Bandenreichtums der Phenyl-Spektren auf Schwierigkeiten. Der Vergleich mit zwei anderen Gliedern des Typs $[C(C_6H_5)]_n$ mit $n = 2$ bzw. 6, Diphenylacetylen und Hexaphenylbenzol, ermöglicht allerdings besonders im längerwelligen Bereich eine Zuordnung mehrerer Absorptionen zu Schwingungen des C_4X_4 -Systems, während andererseits die ähnliche Lage der Phenylbanden aus Tab. 1 deutlich wird.

Zwischen 1385 und 1380/cm werden bei den vier untersuchten Komplexen starke bis mittelstarke Absorptionen beobachtet, die bei $C_2(C_6H_5)_2$ und $C_6(C_6H_5)_6$ nicht oder nur schwach erscheinen. Eine Verschiebung von Phenylbanden der beiden letzten Verbindungen in diese Frequenzlage kann ausgeschlossen werden, da sämtliche davon in Frage kommenden Banden zwanglos auch bei den Komplexen zugeordnet werden können; eher wäre noch an ein Aktivwerden durch Symmetrierniedrigung bei der Komplexbildung zu denken. Daß es sich hierbei um die nur im Komplex auftretende asymmetrische CC-Valenzschwingung des Vierringes handelt, kann ohne Kenntnis der Spektren z. B. der perdeuterierten Verbindungen nicht sicher ermittelt werden. Die Lage ließe sich jedoch durch Ringspannung, komplexe Bindung und vor allem durch die sicher außergewöhnlich starke Delokalisierung der

¹⁰ H. P. FRITZ, J. F. W. McOMIE u. N. SHEPPARD, *Tetrahedron Lett.* Hft. 26, 35 [1960].

¹¹ M. AVRAM, GH. MATEESCU, J. G. DINULESCU, E. MARICA u. C. D. NENITZESCU, *Tetrahedron Lett.* Hft. 1, 21 [1961].

¹² H. P. FRITZ u. H. KELLER, noch unveröffentlicht.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
2941 s 2890 s 2304 sw, br 2151 sw	3060 m	3030 w—m	3050 m	3050 w 2940 m	3040 sh 3012 s	3058 m 3030 sh
			$\left. \begin{matrix} (2040) \\ (1974) \end{matrix} \right\} \text{ in } C_6H_{12}$	$\left. \begin{matrix} (2045) \\ (1978) \end{matrix} \right\} \text{ in } C_6H_{12}$		
	1971 sw	1960 sw	2033 s 1961 ss 1930 sw	2040 s 1977 ss 1905 sw		
	1894 sw 1808 sw	1898 sw		1779 sw 1637 sw 1592 w	1942 w 1866 w 1792 w	1953 w 1876 w
1541 s	1595 s 1574 w 1494 w 1461 sw	1590 s 1570 w 1492 w 1452 sw	1599 m 1572 w 1498 s 1460 sw	1568 sw 1497 s 1461 sw	1600 s 1577 w 1495 s	1600 m 1494 s
1440 ss	1445 m 1409 sh 1381 s	1440 m 1420 s 1381 s	1442 m 1396 sh, w 1385 m	1451 sw 1403 w 1380 m	1441 s 1397 s	1443 s 1395 w 1383 w
1388 sh, w 1355 m	1314 m 1289 w	1363 m, sh 1310 m 1287 w	1343 w 1318 w 1286 sw 1259 sw	1297 sw 1262 sw 1231 sw	1325 w 1306 sw 1271 sw	1311 w 1279 w
1202 w	1181 s 1158 w 1124 sw	1180 m 1156 w	1179 w 1155 w		1174 w 1155 w 1140 w—m	1153 w
1067 s	1070 w—m 1024 m	1070 w 1024 m	1075 w 1070 w 1024 m	1113 w 1098 m 1086 s 1028 s	1073 s 1026 s	1100 sw 1070 s 1025 m
1009 w, sh 998 ss	999 w—m 970 w 924 w	997 w 968 sw 922 sw	997 w 968 w 916 w	967 w 940 w	1000 w—m 918 sh 907 m 820 w	997 w 983 w 917 s
912 w	845 w	840 w	855 sw 837 sw	832 s		
776 w	786 s 776 m 751 sh 745 m—s 707 s 684 ss	786 s 775 m 751 sh 743 m 708 s 684 ss	785 s 774 m 754 sh 744 m 706 sh 696 ss	783 sh, w 776 s 765 sw 741 w 711 w	781 s 729 ss 696 ss 668 w 617 sw	762 ss 689 ss 666 w
617 m	615 w	613 w	615 s 608 s 590 ss	635 m 612 s 588 s 579 s		
557 w	567 m 539 s	573 m 560 w 539 s	551 s 534 w 505 s	535 m 510 w 502 m	554 ss	533 s 506 s
467 m, br			488 w 477 w 464 m	488 w 480 w 465 m 454 m		464 m
416 m	436 m 414 w 396 w 337 s, br	418 w 400 w 305 sh 298 s, br	427 m 416 w 401 w 377 m	438 w 418 w 411 w 398 sw 303 m		
292 ss, br						

Tab. 1. IR-Spektren der C_4X_4 -Komplexe.

Die Spalten 1.—7. enthalten die Spektren folgender Verbindungen: 1. $C_4(CH_3)_4NiCl_2$, in KBr und Nujol; 2. $C_4(C_6H_5)_4NiCl_2$, in KJ; 3. $C_4(C_6H_5)_4PdCl_2$, in KBr/Nujol; 4. $C_4(C_6H_5)_4Fe(CO)_3$, in KBr/Nujol; 5. $C_4(C_6H_4Cl)_4Fe(CO)_3$, in KBr/Nujol; 6. $C_6(C_6H_5)_6$, KBr/Nujol und 7. $C_2(C_6H_5)_2$, in KBr/Nujol.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
in HCCl_3	in H_2CCl_2	in HCCl_3	in HCCl_3	in HCCl_3	in HCCl_3
503 (3,8)	577 (3,3)				
	388 (5,2)	390 (3,8)			
315 (3,2)	335 (4,4)	318 (4,1)	308 (3,3)	320 (3,4)	
	281 (4,4)	285 (4,0)			277 (4,2)
245 (4,1)	238 (3,4)	245 (3,0)	258 (4,3)	268 (4,4)	249 (5,0)

Tab. 2. UV-Spektren der C_4X_4 -Komplexe.

Die Spalten 1. — 6. enthalten die Absorptionsspektren der auch bei Tab. 1 entsprechend nummerierten Verbindungen.

π -Elektronen des C_4 -Ringes durch die Konjugation mit den vier Phenylgruppen relativ plausibel erklären.

Bei den γ_{CH} -Schwingungen unterscheiden sich die Komplexe deutlich von den beiden reinen Kohlenwasserstoffen. Tab. 1 zeigt, daß die Banden um 775, 743 und 708/cm nur bei den Komplexen auftreten. Diese Schwingungen sind besonders in π -Komplexen empfindlich gegenüber Veränderungen der elektronischen Verhältnisse; die bemerkenswerte Konstanz kann daher als ein wichtiger Hinweis auf die gleichartige Bindung in den Komplexen gelten.

Im langwelligen Bereich zeigen die beiden reinen Kohlenwasserstoffe, die Ausgangs- und hauptsächlich Endprodukt der Komplexbildungs-Reaktion darstellen, nur eine bzw. drei deutliche Absorptionen. Sie finden sich teilweise ohne wesentliche Verschiebungen auch in den Spektren der Komplexe. Bei diesen treten stets um 615, 416 und 400/cm und außer bei den Eisentricarbonyl-Derivaten auch um 565/cm Banden auf, die sicherlich von CCC-Deformations-Schwingungen herrühren. Die Metall-Ligand-Valenzschwingungen seien versuchsweise für die Tetraphenyl-cyclobutadien-Komplexe des Ni, Pd und Fe bei 436, 573 (560), 377 bzw. 303/cm zugeordnet. Eine Metall-Ligand-Deformations-Schwingung konnte nicht eindeutig erkannt werden. Die Lage der Ni—Cl- und Pd—Cl-Valenzschwingungen bei wahrscheinlich 337 und 298/cm läßt ferner eine monomere Struktur von $\text{C}_4(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{NiCl}_2$ und $\text{C}_4(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{PdCl}_2$ gegenüber der über Cl-Brücken gebundenen, dimeren des $\text{C}_4(\text{CH}_3)_4\text{NiCl}_2$ möglich erscheinen. Zumindest liegen wesentlich schwächer gebundene Molekülhälften vor.

Die CO-Gruppen der beiden untersuchten Carbonyl-Komplexe zeigen — im festen Zustand — ihre Valenzfrequenzen bei 2033 und 1961 bzw. 2040 und 1977/cm, die Fe—C—O-Deformations-Schwingungen bei 608 und 599 bzw. 588 und 579/cm und die Fe—C-Valenzschwingungen bei 427 und 411/cm.

II. UV-Spektren

Tab. 2 bringt die von Lösungen der Komplexe erhaltenen Absorptionsspektren im sichtbaren und ultravioletten Bereich. Zum Vergleich wurde auch hier Hexaphenylbenzol mit vermessen.

Als wesentlich dürfen hier die Ergebnisse am $\text{C}_4(\text{CH}_3)_4\text{NiCl}_2$ gelten, da bei dieser Verbindung in den untersuchten Bereichen nur Absorptionen durch Vierring oder Nickel-Ion hervorgerufen werden. Die Bande 503 m μ entspricht einem 4- oder 5-fach koordinierten Ni(II). Die Absorption um 315 m μ erscheint bei allen untersuchten Komplexen etwa an dieser Stelle und dürfte deshalb vom C_4 -Ring herrühren. Versuchsweise sei die 245 m μ -Bande dem Übergang in den niedersten Anregungszustand des komplex gebundenen Tetramethylcyclobutadiens zugewiesen.

Bei $\text{C}_4(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{NiCl}_2$ erscheint die „Ni(II)-Bande“ bei 577 m μ und weist damit auf ein in dieser Verbindung schwächeres Ligandenfeld des substituierten Cyclobutadiens als in der Tetramethylverbindung hin. Eine Zuordnung der übrigen Banden der restlichen Komplexe ist zur Zeit noch unsicher, doch dürfte die allgemein zwischen 308 und 335 m μ auftretende Absorption vom Vierring hervorgerufen werden. Die erste, beim $\text{C}_4(\text{CH}_3)_4\text{NiCl}_2$ bei 245 m μ beobachtete Absorption könnte bei den Phenylderivaten durch Phenylabsorptionen überlagert sein.

III. Experimenteller Teil

Die IR-Spektren der Tab. 1 wurden mit einem Perkin-Elmer IR-Spektrophotometer Mod. 21 mit NaCl- und CsBr-Optiken aufgenommen. Die Einbettungs- bzw. Lösungsmittel sind jeweils angegeben, die Intensitäten geschätzt. Es bedeuten: sw sehr schwache, w schwache, m mittelstarke, s starke und ss sehr starke Absorption, sh eine Schulter und br breite Bandenkontur.

Die UV-Spektren wurden mit einem Perkin-Elmer UV-Spektrophotometer Spectracord 4000-A vermessen.

Die Lösungsmittel sind jeweils angegeben. Die Logarithmen von ϵ stehen stets in Klammern hinter der Wellenlänge $\lambda_{\max}$ [m μ].

Herrn Dr. W. HÜBEL, European Research Associates, Brüssel, und Frl. Dr. L. VALLARINO, Mailand, danke ich für die Überlassung der Substanzen und Diskussionen recht herzlich. Herrn Prof. Dr. E. O. FISCHER bin ich für

die Förderung dieser Arbeit durch Überlassung der beiden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg, zur Verfügung gestellten Spektralphotometer zu großem Dank verpflichtet. Herrn Dr. J. W. MILLER bin ich für wertvolle Diskussionen über die UV-Spektren und Frl. H. HUMMEL für ihre Hilfe bei der Messung der Spektren Dank schuldig.

Beziehungen der Infrarotschwingungen von 4-substituierten Benzonitrilen zur antibakteriellen Wirkung der aus ihnen synthetisierten Benzolcarbonsäurethioamide

Von JOACHIM SEYDEL

Aus dem Tuberkulose-Forschungsinstitut Borstel, Institut für experimentelle Biologie und Medizin
(Direktor: Prof. Dr. Dr. ENNO FREERKSEN)

(Z. Naturforschg. 16 b, 419—422 [1961]; eingegangen am 23. Februar 1961)

Es werden IR-Spektren von *p*-substituierten Benzonitrilen diskutiert, insbesondere die Intensität der Nitril- und der Ringschwingung. Dabei ergibt sich eine Beziehung zur Ausbeute, zur Lage der C=S-Schwingung und zur minimalen in vitro-Hemmkonzentration der aus den Benzonitrilen synthetisierten Benzolcarbonsäurethioamide.

In Fortsetzung der Arbeit über die Zusammenhänge von Struktur und antibakterieller Wirkung gegenüber dem *Mycobacterium tuberculosis* und anderen Mykobakterien bei Benzolcarbonsäurethioamiden (KAKIMOTO, SEYDEL und WEMPE, 1961)¹ wurden die ir-spektrographischen Untersuchungen auf die Syntheseprodukte der Benzolcarbonsäurethioamide, die Nitrile, ausgedehnt.

Von der Beobachtung ausgehend, daß einige Nitrile bei der Umsetzung mit Schwefelwasserstoff in Gegenwart von Pyridinbasen mit hohen Ausbeuten das entsprechende Carbonsäurethioamid liefern, andere dagegen unter diesen Bedingungen schlecht oder gar nicht reagieren, wurden die IR-Spektren einiger Benzonitrile aufgenommen. Es fiel auf, daß Nitrile, die sich nicht so gut mit Schwefelwasserstoff umsetzen, Carbonsäurethioamide von größerer antibakterieller Wirksamkeit liefern.

Es schien uns daher von Nutzen zu sein, durch ir-spektrographische Untersuchungen Kenntnisse über die Elektronenverhältnisse an diesen Nitrilen, insbesondere an der Nitrilgruppe zu gewinnen, um daraus Schlüsse auf die Verhältnisse bei den entsprechenden Benzolcarbonsäurethioamiden ziehen zu können, bei denen infolge der schwierigen Zuord-

nung im Spektralbereich 1350–1250 cm⁻¹ und der schlechten Löslichkeit die Aussagen unsicher blieben (KAKIMOTO und Mitarbb., 1961)¹.

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an den 10 Verbindungen der Tabelle durchgeführt. Diese Verbindungen wurden von uns synthetisiert und gereinigt. Die korrigierten Schmelzpunkte der Substanzen (Leitz Schmelzpunktmikroskop) stimmen mit den Literaturwerten hinreichend überein. Für die IR-Messungen wurde der vollautomatische Leitz-IR-Spektrograph mit linearer Wellenzahlskala verwendet (NaCl-Prisma, Meßbereich 4000 bis 650 cm⁻¹, Spaltprogramm 3, Laufzeit 2,4 min/500 bzw. 100 cm⁻¹). Die Messungen erfolgten:

a) an KBr-Preßlingen, die 10 μ Mole Substanz auf 1 g KBr enthielten und bei 30 t etwa 1 min lang gepreßt wurden,

b) in Chloroformlösung, die 100 μ Mole/ml enthielt.

Es wurden Küvetten mit NaCl-Fensterplatten von 45 mm Durchmesser und 5 mm Dicke mit einem Abstandsring von 0,1 mm verwendet. Die Wellenzahlskala wurde vor jeder Messung mit einer Polystyrolfolie (0,05 mm dick) auf die Banden bei 3060 und 3026 cm⁻¹ geeicht. Von der Schwingung der C $\equiv$ N-Gruppe ist die Maximal-Extinktion

$$\epsilon_{\max} = \frac{\ln I_0/I}{c \cdot l}$$

angegeben. Zur Bestimmung der Intensität der Ringschwingung bei ~ 1600 cm⁻¹ wurde die Formel von

¹ S. KAKIMOTO, J. SEYDEL u. E. WEMPE, Jber. Borstel 5, im Druck.