greater and has a maximum at 48th hour, and suggests that almost three carbon atoms of this molecule are used, possibly as follows:

1. succinate $\rightarrow$ oxalacetate $\rightarrow$ malonate $\rightarrow$ heptacosane.
2. succinate $\rightarrow$ propionate $\rightarrow$ malonate $\rightarrow$ heptacosane.

The last path is supported by the results of the total incorporation of propionate, which is equal to 2×10^{-4} at 24 hr. of metabolism.

Transformation via pyruvate is ruled out by the fact that the incorporation of the latter into heptacosane is lower than that of the [2,3- ^{14}C] succinate.

The incorporation of nonanoate and acetate is particularly interesting. Both of these precursors exhibit much higher incorporation than the other compounds studied. Moreover, the kinetic course is the reverse of that observed in the other cases, the maximum incorporation occurring before the 12th hour of metabolism. Thus acetate and nonanoate

are obviously more direct precursors than the other compounds. Furthermore, since at least 14 molecules of acetate are required in order to obtain heptacosane, as apposed to 3 molecules of nonanoate, it is assumed that the ratio of the incorporations at equilibrium is about 1:5. In fact, the ratio found from the radiochemical data is in agreement with this value, though it varies with time owing to the different rates of uptake.

Thus it appears that the long straight chain of heptacosane is also formed by the condensation of anions of monocarboxylic acids containing large numbers of carbon atoms, such as nonanoate.

Also the incorporation of the mevalonate is quite interesting. The incorporation is of the same order of magnitude of [2,3- ^{14}C] succinate and pyruvate with different kinetic behaviour; probably the compound must be broken down into simpler molecules before it can be utilized.

Temperatur- und Schutzstoffeffekte bei der Inaktivierung von Φ X-174 Phagen mit Protonen

H. H. GÜNTHER und K. O. HERMANN

Institut für Strahlenbiologie, Kernforschungszentrum Karlsruhe

(Z. Naturforschg. 22 b, 53—57 [1967]; eingegangen am 24. Juni 1966)

The radiosensitivity of dry bacteriophage Φ X-174 in vacuo was determined at temperatures varying continuously between 110° and 300 °K and in the absence or presence of cystamine. The dependance of cross section $\sigma(T)$ on temperature for inactivation of plaque-forming ability by fast protons is given by

$$\sigma(T) = \sigma_0 \cdot [1 + 3 \cdot \exp(-E_a/RT)].$$

The constant σ_0 is $1.9 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^2$ for Φ X-174 phages without and $1.5 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^2$ for Φ X-174 in the presence of cystamine. E_a amounts to 1 kcal/mole in both cases. These correlations between inactivation cross section σ and temperature T show two mechanisms of inactivation to occur in Φ X-174: one (σ_0) being independent of temperature while the other has an activation energy of 1 kcal/mole.

Die Fähigkeit der Bakteriophagen, Plaques zu bilden, geht verloren, wenn sie von ionisierenden Strahlen getroffen werden, wobei nach den bisher vorliegenden Ergebnissen bei nicht zu hohen Dosen die Inaktivierung durch Schädigung der Nucleinsäure (DNS) überwiegt. Die Empfindlichkeit der Bakteriophagen gegen Bestrahlung mit Protonen und anderen ionisierenden Strahlen hängt von der Bestrahlungstemperatur und eventuell zugefügten Schutzstoffen ab. Da ähnliche Messungen am T1-Bakterio-

phagen bereits vorliegen¹, sind Versuche am Phagen Φ X-174 mit einsträngiger DNS^{2,3} von besonderem Interesse. Durch vergleichende Untersuchung der Strahlenempfindlichkeit beider Phagentypen unter Variation der Parameter Bestrahlungstemperatur und Anwesenheit von Schutzstoff kann man hoffen, die Frage zu beantworten, ob die Strangzahl der DNS von irgend welchem Einfluß auf die fraglichen Effekte ist. Da außerdem bei Phagen in einsträngiger Form die bisher bekannten Reparatur-

¹ K. O. HERMANN, Z. Naturforschg. 21 b, 678 [1966].

² R. L. SINSHEIMER, J. molecular Biol. 1, 43 [1956].

³ J. TESSMANN, Virology 7, 263 [1959].

mechanismen in der Wirtszelle ausgeschlossen sein sollen⁴, tritt eine wesentlich größere Anzahl der primären Strahlenschädigungen biologisch in Erscheinung. Dadurch ist man in der Lage, quantitative Aussagen über deren Ausmaß zu machen und durch Vergleich mit Messungen an Zweistrangphagen Auskünfte über etwaige Wirtszellreaktivierungen zu erhalten.

1. Material und Methodik

1.1. Versuchsobjekt: Für die Wahl des Versuchsobjektes Φ X-174 gelten die eingangs erwähnten Gründe und im übrigen die schon in einer früheren Arbeit¹ aufgezählten Vorteile mancher Bakteriophagen: Hoher DNS-Anteil, exponentielle Inaktivierungskurven, Möglichkeit der Versuchsausführung im Hochvakuum und bei tiefen Temperaturen.

1.2. Herstellung der Phagen: Als Bestrahlungsobjekt verwendeten wir eine Plaquemutante des Φ X-174, die eine um 0,005 g/cm³ höhere Dichte als der Wildtyp hatte, aber hinsichtlich der Empfindlichkeit gegenüber UV-, Gamma- und Protonenbestrahlung von diesem praktisch nicht zu unterscheiden war. Der Stamm, aus dem die Mutante isoliert worden war, stammte aus dem California Institute of Technology. Die Mutante hatte den Vorteil, wesentlich kleinere Plaques zu bilden als der Wildtyp, so daß bis zu 500 Plaques pro Petrischale (Φ 8,5 cm) ausgezählt werden konnten. Wir benutzten zur Lysatherstellung und Titration nicht den üblicherweise verwendeten Wirt *E. coli* C, sondern wiederum eine Mutante, die im Gegensatz zum Wildtyp nicht durch den Phagen T1 infiziert werden kann.

Abb. 1. Inaktivierung von Φ X-174-Bakteriophagen mit 2-MeV-Protonen in Abhängigkeit von der Cystaminkonzentration.

⁴ W. SAUERBIER, Z. Vererbungsl. **95**, 145 [1964].

⁵ G. HOTZ, Habilitationsschrift, TH Karlsruhe 1965.

1.3. Probenherstellung: Es wurden jeweils 0,01 ml Phagensuspension auf Feingoldronden (Φ 12 mm) aufgebracht. Der bei einem Teil der Versuche verwendete Schutzstoff Cystamin (Hersteller: Calbiochem, Los Angeles) war entweder in der Stammsuspension (Lysat) in geeigneter Menge gelöst oder es wurde eine Schutzstofflösung hergestellt, in die man die Stammsuspension verdünnte, so daß schließlich eine Phagensuspension entstand, die 0,1 Mol/l Cystamin enthielt. Vorversuche hatten nämlich ergeben, daß eine höhere Schutzstoffkonzentration keine zusätzliche Schutzwirkung hatte (vgl. Abb. 1). Anschließend wurden die Proben mehrere Std. im Exsikkator aufbewahrt und danach mindestens 20 Std. lang im Hochvakuum getrocknet.

1.4. Bestrahlung: Die Vergleichsversuche mit Gammastrahlung wurden in der von Horz⁵ beschriebenen Weise mit einer ⁶⁰Co-Gamma-Quelle bei einer Dosisleistung von $3 \cdot 10^5$ R/h durchgeführt. Für die Protonenbestrahlungen stand die Einrichtung zur Verfügung, mit der schon die Messungen am T1-Phagen gemacht worden waren¹. Die zur Bestrahlung benutzten 2-MeV-Protonen wurden von einem VAN DE GRAAFF-Beschleuniger geliefert, magnetisch gereinigt, von einem fernbedienten Verschuß nach Bedarf unterbrochen und durch zwei Nickelfolien zur Homogenisierung des Strahls aufgefächert. Die verwendete Bestrahlungskammer enthielt eine Vorrichtung, die es erlaubte, bei beliebigen Temperaturen zwischen 110° und 300° K zu bestrahlen. Die Temperatur der Proben wurde mit einem häufig nachgezeichneten Thermoelement gemessen. Die Dosimetrie der 2-MeV-Protonen geschah durch Integration des in die Kammer gelangenden Stromes.

1.5. Titration der Phagen: Die Phagen wurden nach der Bestrahlung in 1% Trypton-Nährbouillon quantitativ abgelöst, in üblicher Weise verdünnt und nach der Agar-Schicht-Methode⁶ auf Indikator Nährböden⁷ plattiert. Der Verlust der Plaquebildungsfähigkeit galt als Merkmal der Strahlenschädigung.

2. Auswertung und Ergebnisse

Wie bei den T1-Bakteriophagen erhielten wir auch bei den Φ X-174-Phagen exponentielle Inaktivierungskurven, sog. Eintrefferkurven (Abb. 1). Bei dicht ionisierender Partikelstrahlung gibt man als charakteristisches Maß für die Strahlenempfindlichkeit von Mikroorganismen häufig außer der Dosis (krad) den Teilchenfluß ($p \cdot \text{cm}^{-2}$) an, der erforderlich ist, um die Zahl der bestrahlten aktiven Individuen auf $1/e \approx 0,37$ zu vermindern. Der reziproke Wert dieses Teilchenflusses hat die Dimension einer Fläche (Inaktivierungsquerschnitt) und wird aus

⁶ M. H. ADAMS, Bacteriophages, Interscience Publish. Inc., New York 1959.

⁷ C. BRESCH, Zbl. Bakteriell. **159**, 47 [1952].

der Steigung der Inaktivierungskurven abgeleitet. Wir erhielten bei den Protonenbestrahlungen die in Tab. 1 angegebenen Werte. Da wir unter allen Bestrahlungsbedingungen Dosis-Effekt-Kurven fanden, die im halblogarithmischen Maßstab Geraden sind, genügte es, im Fortgang der Arbeit jeweils einen Punkt der Inaktivierungskurve zu messen, um ihre

Phage	T [°K]	D_{37} [krad]	F_{37} [10^{11} p·cm ⁻²]	$\sigma(T)$ [10^{-12} cm ²]	$\sigma/\sigma_{\text{geom}}$
Φ X-174	293	965	2,63	2,76	0,90
Φ X-174+Cy	293	1260	4,73	2,11	0,69
Φ X-174	123	1500	5,61	1,78	0,58
Φ X-174+Cy	125	1880	7,04	1,42	0,46
T1	293	494	1,85	5,41	0,62
T1+Cy	293	1079	4,09	2,44	0,28
T1	101	845	3,17	3,16	0,36
T1+Cy	117	1513	5,67	1,76	0,20

Tab. 1. 37%-Dosen und Wirkungsquerschnitte $\sigma(T)$ für die Inaktivierung von Phagen Φ X-174 und T1 in vacuo mit 2-MeV-Protonen in Abhängigkeit von der Temperatur und der Anwesenheit von Cystamin (Daten für T1 nach l. c. ¹). $\sigma/\sigma_{\text{geom}}$ ist das Verhältnis von gemessenem Inaktivierungsquerschnitt zu den mittleren geometrischen DNS-Querschnitten.

Steigung $-\sigma$ zu bestimmen. Deshalb wurden zur Untersuchung der Abhängigkeit des Inaktivierungsquerschnitts von der Bestrahlungstemperatur die Proben mit einer bestimmten festen Dosis bestrahlt und dabei die Probentemperatur variiert. Zur Darstellung der Meßergebnisse von Temperaturabhängigkeiten ist das Arrhenius-Diagramm zweckmäßig. Zusammenhänge der Form

$$\sigma_t = \text{const} \cdot \exp(-E_a/RT). \quad (1)$$

(E_a ist die Aktivierungsenergie, R die allgemeine Gaskonstante und T die absolute Temperatur) ergeben bei Auftragung von $\log \sigma_t$ über der reziproken Temperatur bei Prozessen mit einer einheitlichen Aktivierungsenergie Geraden. Die Kurven I (ohne Cystamin) und II (mit Cystamin) in Abb. 2 geben die von uns an Φ X-174 in Abhängigkeit von der Temperatur gemessenen Inaktivierungsquerschnitte wieder. Da die experimentell erhaltenen Kurven gekrümmt sind, kann angenommen werden, daß mehrere Prozesse unterschiedlicher Aktivierungsenergie vorliegen. Der einfachste denkbare Fall ist der, daß sich der Gesamtinaktivierungs-Querschnitt $\sigma(T)$ additiv aus einem Temperatur-unabhängigen, konstanten Anteil σ_0 und einem Temperatur-abhängigen An-

teil σ_t zusammensetzt. Letzterer rührt von Prozessen her, denen eine pauschale Aktivierungsenergie E_a und damit eine Temperaturabhängigkeit des Inaktivierungsquerschnitts der Form von Gl. (1) zugeordnet werden kann. Nach Abzug des Temperatur-unabhängigen Anteils σ_0 (unterbrochene Geraden in Abb. 2) ergeben sich mit hinreichender Genauigkeit

Abb. 2. Verlauf des Inaktivierungsquerschnitts von Φ X-174-Bakteriophagen durch 2-MeV-Protonen mit der Temperatur. I ohne Cystamin, II mit Cystamin, I_a ohne Cystamin nach Abzug des konstanten Anteils σ_{01} , II_a mit Cystamin nach Abzug des konstanten Anteils σ_{02} .

Geraden (Kurven I_a und II_a in Abb. 2), deren Steigung einer Aktivierungsenergie von 1 kcal/Mol entspricht. Folgende Ausdrücke beschreiben die Abhängigkeit der Inaktivierungsquerschnitte $\sigma(T)$ von der Temperatur:

$$\begin{aligned} \sigma_1(T) &= 1,9 \cdot [1 + 3,3 \cdot \exp(-E_a/RT)] \cdot 10^{-12} \text{ cm}^2, \\ \sigma_2(T) &= 1,5 \cdot [1 + 2,8 \cdot \exp(-E_a/RT)] \cdot 10^{-12} \text{ cm}^2, \\ E_a &= 1 \text{ kcal/Mol}. \end{aligned} \quad (2)$$

σ_1 gilt für Φ X-174-Phagen ohne Cystaminzusatz und σ_2 für Φ X-174-Phagen mit Cystaminzusatz bei Inaktivierung durch Protonen.

3. Diskussion

Auch beim Φ X-174 können wir, wie früher bei T1-Phagen ¹ feststellen, daß die Klammerausdrücke, die die Temperaturabhängigkeit wiedergeben [vgl. Gl. (2)], innerhalb der Fehlergrenzen mit und ohne Schutzstoff etwa gleich sind. Die Temperatur-abhängigen Anteile sind jedoch beim Φ X-174-Phagen signi-

fikant kleiner als die entsprechenden Anteile beim T1-Phagen. Auch der Schutzfaktor des Cystamins, das Verhältnis $\sigma_1(T)/\sigma_2(T)$, ist mit 1,26 unabhängig von der Temperatur nur etwa halb so groß wie beim Zweistrangphagen T1. Ähnlich wie bei den Versuchen mit Gammastrahlen⁵ ist also auch mit Protonen der maximale Schutzeffekt durch Cystamin beim Φ X-174 geringer als beim T1-Phagen. Wie beim T1-Bakteriophagen setzt sich die biologische Wirkung der Protonen aus zwei Komponenten zusammen, von denen eine, σ_0 , nur durch Cystaminzusatz verändert wird, während die andere, $\sigma_0 \cdot 3 \exp(-E_a/RT)$, darüber hinaus noch durch die Bestrahlungstemperatur zu beeinflussen ist. Bemerkenswert ist, daß die Aktivierungsenergie auch hier den häufig¹¹ beobachteten Wert von einer Kilo-calorie/Mol hat. Dies wurde schon früher^{1, 12} auf die Wirkung auch bei tiefer Temperatur noch diffusibler Agenzien (Wasserstoffatome, Elektronen) zurückgeführt, die je nach Temperatur harmlose oder schädliche Reaktionen auslösen. Solche Reaktionen führen zu Radikalen wie sie ESR-spektroskopisch auch in DNS und deren Bestandteilen nachgewiesen wurden¹³. Neben diesem ist als Ursache der Temperatureffekte noch eine Reihe weiterer Mechanismen vorgeschlagen worden (AUGENSTEIN⁸, POLLARD¹⁴). Unsere Befunde ermöglichen noch keine eindeutige Entscheidung zwischen diesen Möglichkeiten. Sie zeigen jedoch klar, daß das Vorliegen der DNS in ein- oder zweisträngiger Form keinen qualitativen, sondern nur einen quantitativen Einfluß auf Temperatur- und Schutzstoffeffekte hat.

Für die in Anbetracht der geringen Größe des Φ X-174 im Vergleich zu den T-Phagen relativ hohe Strahlenempfindlichkeit wird gewöhnlich die Einsträngigkeit seiner DNS verantwortlich gemacht, wegen der auch Reparaturvorgänge in der Wirtszelle sehr erschwert, wenn nicht unmöglich sein sollten⁴. Bei der doppelsträngigen Φ X-174-DNS, der sog. replikativen Form (RF) wurde nämlich schon von SINSHEIMER und Mitarb.^{15, 16} eine um den Faktor 10

gegenüber der normalen Einstrang-DNS (SS) verringerte UV-Empfindlichkeit festgestellt, die sie auf Wirtszell-Reaktivierungsprozesse zurückführten, die etwa 90% der Schäden ausheilen sollten. Von SZYBALSKI¹⁷ wurde bereits eine 80–90-proz. Reparation von Strahlenschäden für möglich gehalten. Für UV fand DAVID¹⁸ beim Vergleich mit T4-Phagen eine 15-mal höhere Empfindlichkeit von Φ X-174 (SS) als dem DNS-Gewicht entspricht und machte reaktivierbare Schäden hierfür verantwortlich. Normalerweise wird zwar nur UV-Schäden eine Reaktivierbarkeit zuerkannt, doch fand SAUERBIER¹⁹ eine 22-proz. Wirtszellreaktivierung von Gammaschäden beim T1-Phagen, die durch Coffein, genetisch, sowie durch UV-Bestrahlung der Bakterien blockiert werden konnte. Die Messungen schließen jedoch nicht aus, daß darüber hinaus ein größerer Prozentsatz der Schäden repariert wird. Die Versuche mit ⁶⁰Co-Gammastrahlen ergaben, daß die 37%-Dosen für die Inaktivierung von Φ X-174 und T1-Bakteriophagen etwa gleich sind (s. Tab. 2). Da das Verhältnis der

T1		Φ X-174	
D_{37} [krad]	Autoren	D_{37} [krad]	Autoren
380	HOTZ ⁵	400	eigene Messungen
550	SCHAMBRA u. HUTCHINSON ⁹	440	HOTZ ⁵
470	FLUKE u. FORRO ¹⁰	—	—

Tab. 2. 37%-Dosen mit ⁶⁰Co-Gammastrahlung inaktivierter T1- und Φ X-174-Phagen in vacuo.

DNS-Volumina von T1 und Φ X-174 etwa 35:1 beträgt, ist wegen der etwa gleichen DNS-Dichte die Empfindlichkeit pro Phagen-DNS beim Φ X ~ 30-mal größer als beim T1-Phagen⁹. Dies könnte bedeuten, daß im Wirtsbakterium beim T1-Phagen ~ 97% der Schäden repariert werden.

Trotz der prinzipiellen Unsicherheiten Treffbereichs-theoretischer Auswertungen²⁰ soll zur Illustration der Ergebnisse ein Vergleich des gemesse-

⁸ L. G. AUGENSTEIN et al., *Advances Rad. Biol.* **1**, 228 [1964].

⁹ Ph. E. SCHAMBRA and F. HUTCHINSON, *Radiat. Res.* **23**, 514 [1964].

¹⁰ D. J. FLUKE and F. FORRO, *Radiat. Res.* **13**, 305 [1960].

¹¹ T. HENRIKSEN, Univ. of Calif. Radiat. Res. Lab. Rep. UCRL-16358 (1965).

¹² R. BRAAMS, *Nature [London]* **200**, 752 [1963].

¹³ A. MÜLLER, *Abh. Akad. Wiss. Lit. Mainz, Jahrg. 1964*, Nr. 5, S. 139.

¹⁴ E. C. POLLARD, in: *Advances in Chemical Physics Vol. VII*, Interscience Publish., New York 1964.

¹⁵ R. L. SINSHEIMER et al., *J. Molecular Biol.* **4**, 142 [1962].

¹⁶ M. YARUS and R. L. SINSHEIMER, *J. molecular Biol.* **8**, 614 [1964].

¹⁷ W. SZYBALSKI, Workshop Conf. on Space Rad. Biol. Berkeley (1964).

¹⁸ Ch. N. DAVID, *Z. Vererbungsl.* **95**, 318 [1964].

¹⁹ W. SAUERBIER, *Biochem. biophysic. Res. Commun.* **17**, 46 [1964].

²⁰ K. G. ZIMMER, *Studies on Quantitative Radiation Biology*, Oliver & Boyd, Edinburgh-London 1961.

nen Inaktivierungsquerschnitts $\sigma(T)$ mit den geometrischen Abmessungen der Phagen-DNS gezogen werden (vgl. Tab. 1 letzte Spalte). Bei einem Energieaufwand von 60 eV pro Ionenpaar²¹ berechnet man aus unseren Versuchen im Mittel 5 Primärionisationen für die Φ X-DNS und 15 für die T1-DNS pro Protonendurchgang. Die bei Zimmertemperatur mit Protonen gemessenen Inaktivierungsquerschnitte von Φ X-174 liegen nach der Korrektur auf die endliche Ionisierungsdichte zufällig nahe am Wert für den mittleren geometrischen DNS-Querschnitt, während für T1 die Inaktivierungsquerschnitte deutlich unter den geometrischen Querschnitten liegen. Dies bedeutet, daß beim Φ X-174 nahezu jeder Protonendurchgang inaktivierend wirkt⁷, während beim T1-Phagen in der Hälfte aller Fälle 15

Primärionisationen ohne schädliche Wirkung bleiben. Übertragen wir unsere bei dem Vergleich der Gammamessungen gefundene Zahl für die Wahrscheinlichkeit einer Reparatur bei T1 auf die vorliegenden Experimente mit Protonen. Unter den sicher sehr vereinfachenden Annahmen, daß 1. jede Primärionisation einen „Schaden“ erzeugt, daß 2. die Reparaturvorgänge unabhängig voneinander vor sich gehen und daß 3. die Wahrscheinlichkeit der Reparatur eines Schadens 95% beträgt, so werden 15 Schäden mit einer Wahrscheinlichkeit von $(95\%)^{15} \cong 46\%$ repariert. Der mit Protonen gemessene Inaktivierungsquerschnitt sollte folglich etwa 54% des geometrischen Querschnitts erreichen.

Wir danken Fräulein E. PIETSCH, Herrn Dr. JUNG und Herrn Priv.-Doz. Dr. HOTZ für zahlreiche nützliche Ratschläge und Unterstützung bei der mikrobiologischen Technik, sowie Herrn KINDERMANN für die Durchführung der Bestrahlungen.

²¹ A. M. RAUTH and F. HUTCHINSON, in: Biological Effects of Ionizing Radiation at the Molecular Level, p. 25, IAEA, Wien 1962.

Analyse der cyclischen Carbonsäure-Dimerisation in Benzol

KURT PALM

Physikalisch-chemisches Laboratorium an der Medizinischen Klinik
der Medizinischen Akademie Erfurt

(Z. Naturforsch. 22 b, 57—65 [1967]; eingegangen am 29. Juli 1966)

Die Substituenten-Abhängigkeit des Dimerisations-Gleichgewichtes von Benzoesäuren und von aliphatischen Carbonsäuren in Benzol wird mittels thermodynamischer Daten (σ_{dim} , ΔU_{dim} , ΔS_{dim}) charakterisiert. Sich ergebende Zusammenhänge mit der Protonendissoziation (σ_{diss}) der Säuren in Wasser und mit ihrer Ionenpaarbildung (σ_{ass}) mit Diphenylguanidin in Benzol sowie mit den in Tetrachlorkohlenstoff gemessenen infraroten Frequenzlagen ($\nu_{\text{OH mon}}$, $\nu_{\text{CO mon, dim}}$) weisen darauf hin, daß primär die substitutionsvariable Protonendonator-Fähigkeit der Hydroxylgruppe mit ihrer Solvations-Wechselwirkung und sekundär der substitutionsveränderte Carbonylakzeptor den Grad der Dimerisation in Benzol bestimmen.

Biochemische und molekularbiologische Vorgänge sowie die Molekülstruktur der Nucleinsäuren und Proteine enthalten Wasserstoffbrückenbindungen als strukturbildendes Element. Fortschritte auf diesen Gebieten sind daher mit der Aufklärung von Feinheiten der Wasserstoffbrückenbindung verbunden¹. Hierzu ist die quantitative Analyse ihrer Struktur und Bindungsenergie an einfachen Systemen mittels experimenteller Methoden unerlässlich. Deshalb wurde die intermolekulare Wechselwirkung an Carbonsäuren, bei denen die Zusammenlagerung zweier

Säuremoleküle über zwei Wasserstoffbrücken zum dimeren Ring gegenüber höherzähligen Assoziaten und gegenüber anderen über Wasserstoffbrücken assoziierenden Stoffen wie Wasser, Alkohole, Phenole stabilisiert ist^{2a}, in einem nichtwäßrigen Lösungsmittel studiert. In dieser Arbeit werden aus thermodynamischen und aus IR-spektroskopischen Messungen gewonnene Ergebnisse zusammenfassend dargestellt und auf der Grundlage der Protonendonator-Protonenakzeptor-Wechselwirkung gedeutet.

¹ M. EIGEN, Naturwissenschaften 50, 426 [1963].

² H. A. STAAB, Einführung in die theoretische organische Chemie, Verlag Chemie GmbH, Weinheim 1963, a) S. 678, b) S. 602.