

KFK-145

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

**KERNREAKTOR**

Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. B. H.  
Verwaltung der Zentralbibliothek

2. Juli 1963

April 1962

KFK 145

Institut für Strahlenbiologie

Elektron-Spin-Resonanzen in Bakteriophagen

Gerhart Hotz, Adolf Müller und Karl Günter Zimmer



**KERNREAKTOR**

**BAU- UND BETRIEBS-GESELLSCHAFT M. B. H.**

**KARLSRUHE**

# AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN UND DER LITERATUR

---

ABHANDLUNGEN DER  
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN KLASSE  
JAHRGANG 1962 · NR. 14

## Elektron-Spin-Resonanzen in Bakteriophagen

von

DR. GERHART HOTZ, DR. ADOLF MÜLLER

und

KARL GÜNTER ZIMMER

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

**KERNREAKTOR**  
Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. b. H.  
Verwaltung der Zentralbücherei

2. Juli 1963

VERLAG DER  
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN UND DER LITERATUR IN MAINZ  
IN KOMMISSION BEI FRANZ STEINER VERLAG GMBH · WIESBADEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN UND DER LITERATUR

---

ABHANDLUNGEN DER  
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN KLASSE  
JAHRGANG 1962 · NR. 14

## Elektron-Spin-Resonanzen in Bakteriophagen

von

DR. GERHART HOTZ, DR. ADOLF MÜLLER

und

KARL GÜNTER ZIMMER

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

VERLAG DER  
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN UND DER LITERATUR IN MAINZ  
IN KOMMISSION BEI FRANZ STEINER VERLAG GMBH · WIESBADEN

Vorgetragen in der Sitzung der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse  
am 27. April 1962, zum Druck genehmigt am selben Tage, ausgegeben am 4. April 1963

© 1963 by Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz

DRUCK: L. C. WITFICH, DARMSTADT

## 1. Einleitung

Bei der Messung der Elektron-Spin-Resonanz (ESR) unbestrahlter Bakteriophagen von *E. coli* B beobachteten wir ESR-Absorptionsspektren einer bisher an biologischen Objekten noch nicht gefundenen Form. Zwar sollten diese Messungen ursprünglich nur als notwendige Vorstufe (Kontrollversuch) dienen, und das Ziel der Arbeit bestand in Untersuchungen über die Erzeugung paramagnetischer Zentren durch Röntgenstrahlen, wie sie an lebendem Material zuerst von ZIMMER, EHRENBURG und EHRENBURG<sup>1</sup> beschrieben wurden. Doch erscheinen die an unbestrahlten Bakteriophagen erhaltenen Ergebnisse so interessant, daß hier darüber berichtet werden soll.

Schon in den früheren Untersuchungen zeigten die untersuchten Objekte bereits unbestrahlt eine Absorption von Mikrowellen im 3-cm-Band. Diese fand sich in einem Bereich der magnetischen Feldstärke von etwa 100 Gauss Breite, in dem die ESR-Absorption von freien Radikalen gewöhnlich auftritt. An getrockneten und unbestrahlten Proben der Phagenstämme T1 und T2 fanden wir ebenfalls eine Absorption dieser Art. Bei der Untersuchung eines größeren Feldbereichs stellte sich jedoch heraus, daß diese relativ schmale Absorption einer sehr breiten überlagert ist<sup>2</sup>. Die letztere erstreckt sich über mindestens einige 100 Gauss, in manchen Fällen sogar von 0 bis etwa 4000 Gauss und ist meist schon von endlicher Größe außerhalb eines magnetischen Feldes. Über ähnliche Erscheinungen wurde bisher nur im Zusammenhang mit Untersuchungen der ESR-Absorption einiger Nucleinsäure- und Nucleoproteid-Präparate *in vitro* berichtet<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> ZIMMER, K. G., L. EHRENBURG und A. EHRENBURG: *Strahlentherapie* **103**, 3 (1957), ZIMMER, K. G.: *Studies on Quantitative Radiation Biology*, Edinburgh-London 1961.

<sup>2</sup> MÜLLER, A., G. HOTZ und K. G. ZIMMER: *Biochem. Biophys. Res. Comm.* **4**, 214 (1961); *Zsch. Naturforschg.* **16b**, 658 (1961); *Verhandelingen Koninklijke Academie van België, Klasse der Wetenschappen, Boek 33*, afl. 3, pg. 108 (1961).

<sup>3</sup> BLJUMENFELD, L. A.: *Biofizika* **4**, 515 (1959). — BLOIS, M. S. und J. E. MALING: *Biochem. Biophys. Res. Comm.* **4**, 252 (1961).

## 2. Material und Methoden

Zur Phagenherstellung diente als Ausgangsmaterial modifiziertes synthetisches M-9-Medium nach WEIDEL. Dieses enthielt pro Liter

7,5 g	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
3,03 g	$\text{KH}_2\text{PO}_4$
1 g	$\text{NH}_4\text{Cl}$
0,5 g	$\text{NaCl}$
0,2 g	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
4,4 g	Glucose
0,27 mg	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

Nach dem Ansetzen mit dest. Wasser in 20-Liter-Flaschen gaben wir *E. coli* B zu und inkubierten bei 37° C, bis eine Konzentration von  $5 \cdot 10^8$  Bakterien/ml erreicht war. Die Kultur befand sich dann noch in der exponentiellen Wachstumsphase und wurde im allgemeinen mit einem Phagen pro Bakterium infiziert und während weiterer 18 Stdn. bei 37° C gehalten. Die Titration der plaquebildenden Aktivität erfolgte nach früher beschriebenen Methoden. Das Lysat mit einem durchschnittlichen Titer von  $3 \cdot 10^{11}$  Phagen/ml bei T2 und  $2 \cdot 10^{10}$  Phagen/ml bei T1 versetzten wir mit Chloroform. Nach Abkühlung auf 4° C fällten und reinigten wir T2 nach der Methode von HERRIOTT und BARLOW mit HCl bei  $p_{\text{H}} 4$  (Konzentration durch Zentrifugieren 45 min bei 12500 U/min). T1 Lysate wurden mit  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  bis zur Sättigung versetzt. Nach 4 Tagen bei 4° C waren die Phagen präzipitiert. Nach abwechselnder niedertouriger (5000 U/min) Reinigung und hohtouriger (2 Stdn. bei 15000 U/min) Konzentration wurde die Phagensuspension in gleicher Weise wie bei T2 behandelt. Alle Präparate wurden außerdem mit RNase und DNase versetzt, restliches Coliprotein mit Antiserum ausgefällt und schließlich 3 Tage gegen doppelt dest. Wasser dialysiert.

Nach der Reinigung wurden die Präparate im Aceton-Kohlensäure-Kältebad schnell eingefroren und anschließend im Vakuum gefriergetrocknet. Die dann in Form eines weißen Pulvers vorliegenden Phagen wurden mit einer Schütt-Dichte von etwa  $0,5 \text{ g/cm}^3$  in die zur ESR-Spektrometrie verwendeten Quarzröhrchen von ca. 3,5 mm Innendurchmesser gefüllt. Teilweise wurden diese Röhrchen unter Vakuum abgeschmolzen oder bei der Messung unter Vorschaltung einer mit flüssigem Stickstoff gefüllten Kühlfalle mittels einer Hochvakuumpumpe laufend evakuiert. Für einen Teil der Versuche preßten wir Tabletten von 3,5 mm Durchmesser und bis zu 10 mm Länge mit einer Dichte von  $1,2 \text{ g/cm}^3$  durch An-

wendung von etwa 1 000 kg/cm<sup>2</sup>. Die Tabletten lieferten die gleichen Ergebnisse wie das Pulver, ließen sich jedoch leichter handhaben.

Für die Messungen verwendeten wir ein ESR-Spektrometer der Fa. Varian, das bei einer Frequenz von 9 500 MHz arbeitet, und für die Versuche bei verschiedenen Temperaturen eine käufliche Zusatzapparatur, die Untersuchungen bei Temperaturen der Probe zwischen  $-196^{\circ}\text{C}$  und  $+300^{\circ}\text{C}$  ermöglicht. Auch bei diesen Versuchen arbeiteten wir teils mit offenen, teils mit während der Messung evakuierten, teils mit abgeschmolzenen Röhren. Mit einer selbstgebauten Zusatzeinrichtung konnten wir bei allen Temperaturen die Proben während der Messung mit UV bestrahlen. Quantitative Messungen der ESR-Absorption wurden mit einem Doppelhohlraum<sup>1</sup> durchgeführt, der mit einer Modulationsfrequenz von 100 kHz betrieben wurde. Die Modulationsspulen dieses Doppelhohlraums bestehen nur aus je einer Windung im Inneren des Hohlraums, in einer Anordnung wie sie von INGRAM angegeben wurde. Um die bei unseren Versuchen erwünschte große Modulationsamplitude zu erreichen, wurden die aus einer Windung bestehenden Spulen durch eine Leitung mit möglichst kleiner Induktivität aus einem vom Röhrengenerator gespeisten Ferritkerntransformator mit nur einer Sekundärwindung mit Energie versorgt. Mit dieser Anordnung ergab sich eine maximale Modulationsamplitude von 25 Gauss.

### 3. Ergebnisse

Hochgereinigte und getrocknete Proben von T1 und T2 zeigten regelmäßig breite Absorptionsspektren, die jedoch unabhängig vom Stamm qualitative Unterschiede aufwiesen, gelegentlich sogar bei verschiedenen Proben aus dem gleichen Präparat. Zwei charakteristische Spektren, bei denen die erste Ableitung der Absorption gegen die magnetische Feldstärke aufgetragen ist, sind in Abb. 1 wiedergegeben. Nach einer meist starken Abnahme von der Feldstärke Null ab, zeigte sich das erste Maximum bei etwa 1 100 Gauss Feldstärke. Dieses Maximum scheint zu einer Linie zu gehören, deren Mitte im Bereich kleiner Feldstärken liegt. Dieser ersten Linie ist manchmal noch eine schwächere Linie bei 1 600 Gauss überlagert, deren Breite schlecht zu bestimmen ist und zu 100 – 200 Gauss geschätzt wird. Zwei weitere Extremwerte zeigen sich bei den Feldstärken

<sup>1</sup> KÖHNLEIN, W. und A. MÜLLER: Z. Naturforschg. **15b**, 138 (1960). — ZIMMER, K. G., W. KÖHNLEIN, G. HOTZ und A. MÜLLER: Strahlentherapie **120**, 161 (1963).

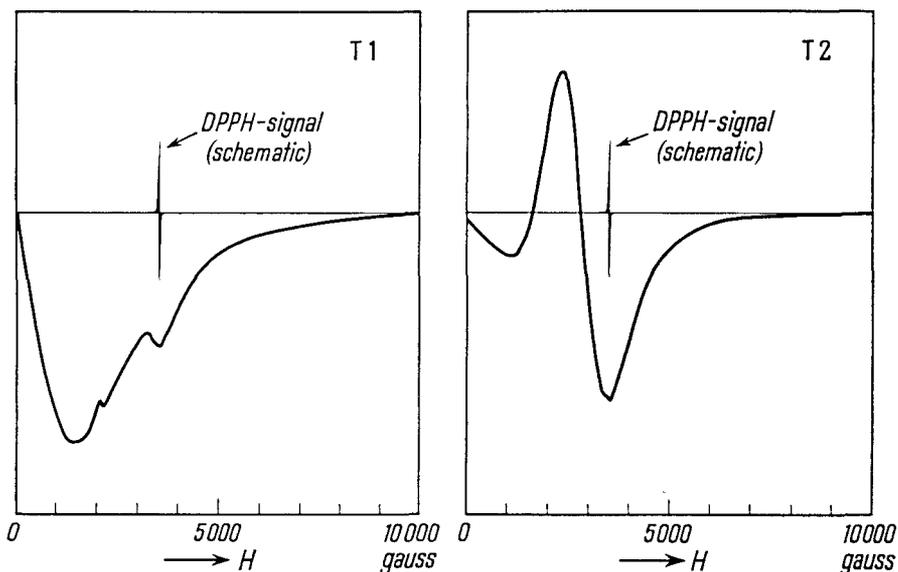


Abb. 1. Typische Beispiele der ESR-Absorption (erste Ableitung) von hochgereinigten Präparaten der Phagen T1 und T2. Die Messungen erfolgten bei 9,5 kHz. Zum Vergleich ist schematisch die Absorption eines freien Radikals (Diphenylpicrylhydrazyl) eingezeichnet.

2300 und 3400 Gauss. Diese kann man als eine Linie bei etwa 2800 Gauss mit 1200 Gauss Breite ansehen. Bei etwa 3400 Gauss ist dann mehr oder minder groß eine relativ schmale Linie überlagert, wie sie von freien Radikalen herrührt. Bei höheren Feldstärken zeigt sich kein weiteres Maximum. Alle vorkommenden Spektren können im wesentlichen als Kombinationen dieser vier Linien aufgefaßt werden.

Die integrierte Absorption der Phagen zeigte beträchtliche Schwankungen. Sie war bei unkorrigierter Berechnung als paramagnetische Absorption im allgemeinen äquivalent  $10^{18}$  bis  $10^{19}$  Spins pro Gramm.

Die Spektren hielten sich bei Aufbewahrung der Proben im evakuierten Exsikkator bei Raumtemperatur über Wochen. Bei Abkühlung der Proben auf die Temperatur flüssigen Stickstoffs zeigte sich keine Änderung (Abb. 2). Eine rasche Abnahme der Absorption verbunden mit tiefbrauner Verfärbung offener wie auch evakuiert abgeschmolzener Proben, wurde bei Erhitzung auf über  $200^{\circ}\text{C}$  beobachtet (Abb. 3). Einstündiges Kochen von T2 vor der Gefriertrocknung veränderte das Spektrum nicht wesentlich. Bestrahlung mit ungefilterter UV-Strahlung aus einer Hg-Niederdruckröhre gab ebenfalls keine Änderung, weder bei Raumtempera-

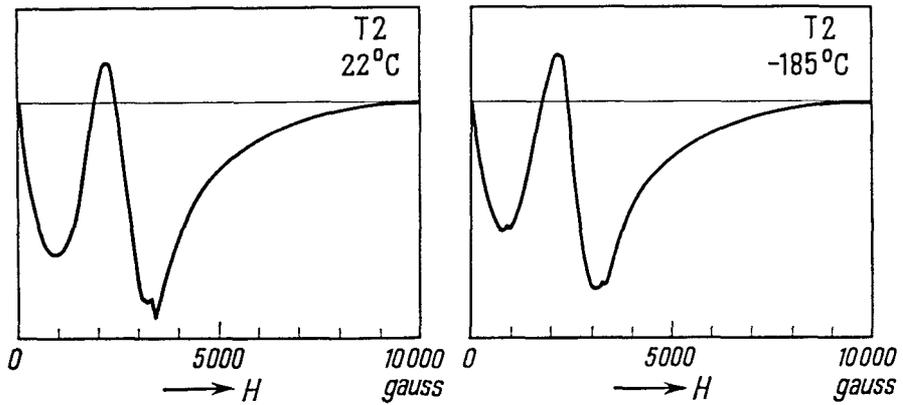


Abb. 2. Erste Ableitung der ESR-Absorption eines hochgereinigten Präparats von T2 bei Zimmertemperatur und bei der Temperatur des flüssigen Stickstoffs.

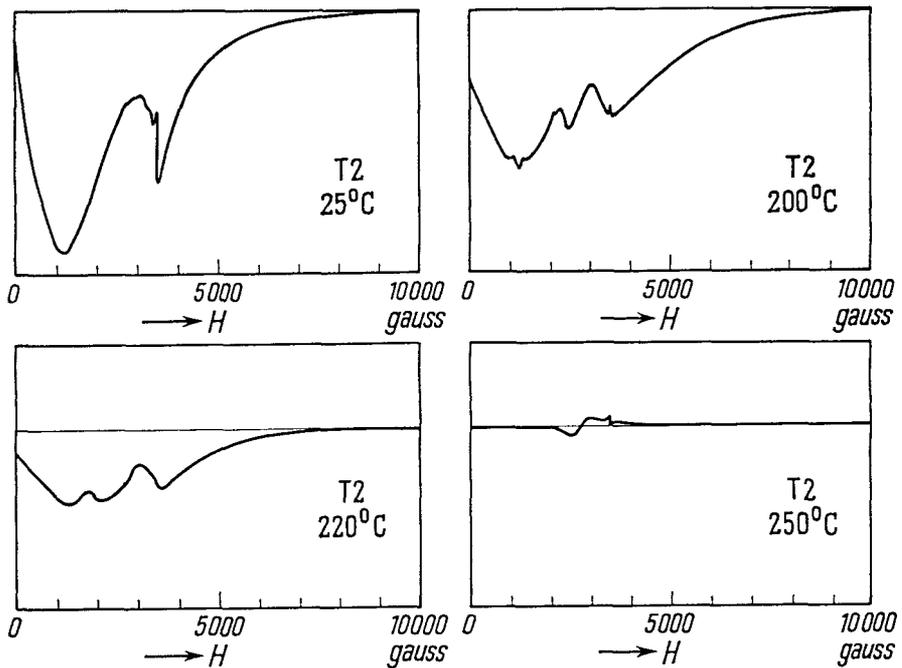


Abb. 3. Erste Ableitung der ESR-Absorption eines hochgereinigten Präparats von T2 vor und nach Hitze-Behandlung.

tur noch bei der Temperatur flüssigen Stickstoffs. Untersuchungen über die Einwirkung von Röntgenstrahlung sind noch im Gange, ihre Ergebnisse werden im einzelnen an anderer Stelle beschrieben werden<sup>1</sup>.

Naturgemäß waren viele unserer Bemühungen darauf gerichtet, denkbare Möglichkeiten für die Entstehung der beobachteten Phänomene auszuschließen, die nichts mit den biologischen Eigenschaften der untersuchten Objekte zu tun haben. Die Möglichkeit einer „mechanischen Verunreinigung“ durch kleine Metallteile (abgerieben von den bei einem Teil der Versuche benutzten Metallwerkzeugen) sei zunächst betrachtet. Abgefeilte sehr feine Späne dieser Metallteile ergaben lediglich eine Verstimmung des Probenhohlraums des Mikrowellen-Spektrometers durch unselektive, jedoch keinerlei selektive Absorption, das heißt keine Linien. Die in Metallpartikeln vorhandenen ungepaarten Elektronen können also nicht die Ursache der von uns beschriebenen Erscheinungen sein. Als nächstes kommt eine „chemische Verunreinigung“ durch paramagnetische Ionen in Betracht. Diese Möglichkeit scheint uns schon durch die völlig andere Temperaturabhängigkeit der Spektren solcher Salze ausgeschlossen, die sich von der an Phagen gefundenen Temperaturabhängigkeit der ESR-Absorption wesentlich unterscheidet. Die Spektren paramagnetischer Ionen werden nicht schon bei 200°C verändert und auch nicht durch die Einwirkung von Wasserdampf. Im gleichen Sinne, das ist gegen eine Verunreinigung durch paramagnetische Ionen, sprechen auch folgende Versuche. Eine Prüfung des zur Bakterienkultur verwendeten M-9 Mediums allein zeigte keine Absorption, weder wenn dieses Medium rein mechanisch aus den trockenen Komponenten gemischt, noch wenn es aufgelöst und gefriergetrocknet worden war. Die gereinigten und getrockneten Bakterien *E. coli* B allein ergaben eine für die Bakteriophagen charakteristische, doch nicht sehr starke Absorption. Es bleibt jedoch die Möglichkeit, daß die beobachtete Absorption durch ein Zusammenwirken paramagnetischer Ionen mit dem Phagenmaterial zustandekommt. Dies wird durch unsere Versuche nicht ausgeschlossen, würde jedoch die Bedeutung der Befunde nicht per se einschränken, weil die Rolle paramagnetischer Ionen in der molekularen Bau- und Wirkungsweise organischer Strukturen eher noch unbekannter ist als diese selbst. Hiervon wird im Abschnitt „Diskussion“ noch ausführlicher die Rede sein.

Aus dem gleichen Grund macht ein Beitrag des Sauerstoffs die Bedeutung der Spektren nicht ohne weiteres hinfällig. Im Zusammenhang mit dieser Frage sind Versuche folgender Art interessant.

<sup>1</sup> MÜLLER, A.: *Internat. Journ. Radiation Biol.* (im Druck).

(1) Bei Evakuierung der unbestrahlten Proben zeigte sich keine Änderung des Spektrums.

(2) Nach dem Einbringen in eine mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre verschwand das Spektrum, trat jedoch nach dem Trocknen verändert wieder auf.

(3) Frisch präparierte, gereinigte Phagensuspensionen wurden teils mit reinem Sauerstoff, teils mit reinem Stickstoff gesättigt. Nach der anschließenden Gefriertrocknung hielten wir andere Gase von den Proben dadurch fern, daß wir alle Manipulationen in einer mit den betreffenden Gasen gefüllten Glovebox ausführten. Ein mit T1 erhaltenes Beispiel der Spektren von so unter definiertem Gasgehalt präparierten Proben ist in Abb. 4 wiedergegeben. Die Struktur bei geringen magnetischen Feldstärken, die nach der Behandlung mit Sauerstoff stark hervortritt, ist in der unter Stickstoff präparierten Probe fast verschwunden. Die Linien bei höheren Feldstärken werden durch die Behandlung nicht beeinflußt. Wir konnten den Effekt nicht beobachten, wenn der Sauerstoff nicht bereits vor der Gefriertrocknung entfernt wurde. An kommerziellen DNS-Präparaten, die auch breite Absorptionslinien aufweisen, konnte ein derartiger Sauerstoff-Effekt von uns nicht gefunden werden.

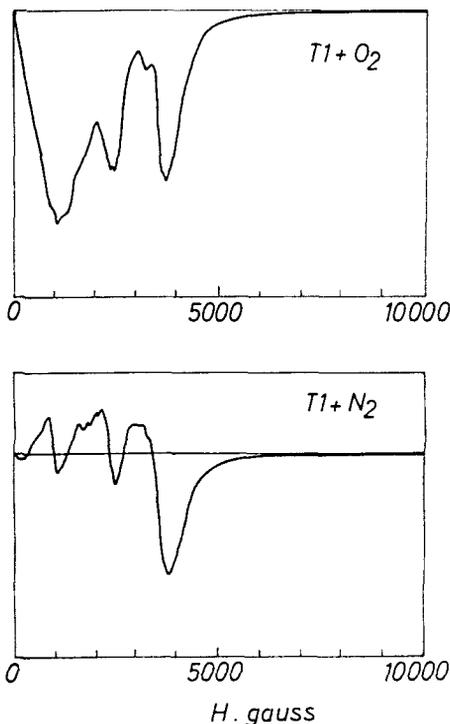


Abb. 4. Abgeleitete der ESR-Absorption bei 9,5 kHz in gereinigten Phagen T1, gesättigt mit Sauerstoff (oben) und Stickstoff (unten).

Von Interesse sind schließlich noch folgende Befunde. Die Prüfung auf Plaque-Bildung bei T2 ergab meist vollkommene Inaktivierung nach der Trocknung. Frisch getrocknete, hochgereinigte T1-Phagen waren ohne Zusatz noch zu etwa 10 %, dagegen nach Zugabe von Normalbouillon getrocknet noch zu etwa 80 % aktiv. Die angegebenen Bruchteile sind als untere Grenze zu betrachten, da sie nach Resuspension bestimmt wurden, die selbst eine Inaktivierung unbekanntes Ausmaßes, besonders bei T2,

herbeiführen kann. Die verschieden stark inaktivierten Phagen zeigten keine wesentlichen und reproduzierbaren Unterschiede. Das Auftreten der beobachteten Absorptionsspektren hat also nichts mit der Aktivität („Lebensfähigkeit“) der Objekte zu tun. Elektronenoptische Bilder der getrockneten und resuspendierten T2-Phagen zeigten, daß die „Schwänze“ von den „Köpfen“ getrennt waren.

#### 4. Diskussion

Etwa gleichzeitig mit dem Bekanntwerden unserer ersten Befunde an Bakteriophagen und wohl durch diese angeregt, setzte eine lebhaft theoretische und experimentelle Analyse der bis dahin wenig beachteten Ergebnisse ein, die an kommerziellen Präparaten von Nukleinsäuren erhalten worden waren. Insbesondere suchte man nach Alternativen für die von BLJUMENFELD<sup>1</sup> ursprünglich vorgeschlagene Erklärung für das Zustandekommen der ungewöhnlich breiten ESR-Absorptionslinien bei diesen Präparaten sowie bei den daraus mit Eiweißen *in vitro* hergestellten Komplexen<sup>2</sup>.

Ohne auf genauere theoretische Betrachtungen eingehen zu wollen, lassen sich nach BLJUMENFELD<sup>3</sup> die beobachteten Erscheinungen auf einen Elektronenzustand zurückführen, bei dem durch bestimmte räumliche Anordnung von Molekülgruppen und deren periodische Wiederholung ein Zustand der energetisch niedrigste wird, der sich mit einem Triplettzustand vergleichen läßt. Durch die starke Wechselwirkung der beiden zu solch einem Zustand gehörenden Elektronen wird die Breite des Spektrums erklärt, während das Auftreten der Linie bei 3400 Gauss auf lokale Störungen dieser Ordnung und daraus folgende Vergrößerung des Abstandes der ungepaarten Elektronen zurückgeführt werden kann. Gegen solche und ähnliche Deutungen als „Kollektiv-Effekt“ innerhalb eines hochpolymeren Stoffes, wie ihn Nukleinsäuren zweifellos darstellen, bestehen Bedenken theoretischer Natur, und es wurde auf Grund experimenteller Daten darauf hingewiesen, daß es auch andere Deutungsmöglichkeiten gibt. Bljumenfeld und Mitarbeiter hatten ein völliges Verschwinden der ESR-Absorptionsspektren bei tiefer Temperatur und daraus auf das Vorliegen eines dem antiferromagnetischen ähnlichen Zustandes ihrer

<sup>1</sup> S. Anm. 3 auf S. 3.

<sup>2</sup> SHEN, P. G., L. A. BLJUMENFELD und A. E. KALMANSON: *Biofizika* **5**, 645 (1960).

<sup>3</sup> BLJUMENFELD, L. A.: *Verhandelingen Koninklijke Academie van België, Klasse der Wetenschappen, Boek 33, afl. 3, pg. 93 (1961).*

Präparate geschlossen. Wir hatten unter gut definierten experimentellen Bedingungen bei Bakteriophagen, wie oben erwähnt (Abb. 2), ein solches Verschwinden nicht feststellen können. Zwischen Zimmertemperatur und der Temperatur des flüssigen Stickstoffs zeigte sich in unseren Versuchen keinerlei Veränderung der Spektren, sobald sich das Material in evakuierten Röhren befand und dadurch die Kondensation von Wasser und Sauerstoff in der Probe verhindert war. Damit schien keine Notwendigkeit mehr zu bestehen, antiferromagnetische Zustände in Betracht zu ziehen. Praktisch gleichzeitig wurde jedoch von ISENBERG<sup>1</sup> und von SHULMAN, WALSH, WILLIAMS und WRIGHT<sup>2</sup> darauf hingewiesen, daß unter bestimmten Bedingungen auch Deutungen der Phänomene als para- oder ferromagnetische Erscheinungen möglich seien.

Durch sorgfältige chemische Analysen von Nukleinsäuren, die aus vielerlei verschiedenen biologischen Materialien abgetrennt worden waren, hatten WACKER und VALLEE<sup>3</sup> gezeigt, daß Nukleinsäuren weitgehend unabhängig von ihrer Herkunft verschiedene Metallatome in geringen aber recht konstanten Mengen enthalten. Dabei ergab sich für Ribonucleinsäuren 1 Metallatom auf 50 Phosphatgruppen, für Desoxyribonucleinsäuren 1 Metallatom auf 150 Phosphatgruppen. Diese Metallmengen sind viel zu gering, um als Einzelionen die beobachteten ESR-Absorptionsspektren verursachen zu können. Es bestehen jedoch zwei weitere Denkmöglichkeiten: 1) Die Metallionen, unter denen in merklicher Menge auch Eisenionen sind, könnten Mikrokristallite mit ferromagnetischen Eigenschaften bilden, und 2) die vorhandenen paramagnetischen Ionen könnten mit Hilfe der Grundstruktur der Nukleinsäure in Wechselwirkung treten und so die beobachteten Absorptionsspektren bedingen. Auf diese Möglichkeit wurde oben im Abschnitt „Ergebnisse“ bereits hingewiesen. Eine von BLJUMENFELD, BENDERSKII und KALMANSON<sup>4</sup> versuchte theoretische Diskussion liefert keine klare Entscheidung zwischen diesen beiden Möglichkeiten, weder untereinander noch gegenüber der ersten Hypothese BLJUMENFELDS, der Annahme eines Kollektiveffekts der Elektronen in der organischen Struktur der Nukleinsäure selbst.

Beachtenswert sind jedoch neuere experimentelle Befunde. ISENBERG<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ISENBERG, I.: Biochem. Biophys. Res. Comm. 5, 139 (1961).

<sup>2</sup> SHULMAN, R. G., W. M. WALSH, H. J. WILLIAMS und J. P. WRIGHT: Biochem. Biophys. Res. Comm. 5, 52 (1961).

<sup>3</sup> WACKER, W. E. C. und B. L. VALLEE: Journ. Biol. Chem. 234, 3257 (1959).

<sup>4</sup> BLJUMENFELD, L. A., V. A. BENDERSKII und A. E. KALMANSON: Biofizika 6, 631 (1961).

und WALSH, SHULMAN und HEIDENREICH<sup>1</sup> konnten in getrockneten Nukleinsäure- und Nukleoproteinpräparaten elektronenmikroskopisch dichtere Einschlüsse sichtbar machen und durch Elektronenbeugung deren Kristallcharakter nachweisen. Weiter wurden Nukleinsäureproben einer ausgedehnten Behandlung mit dem Komplexbildner Äthylendiamintetraessigsäure unterworfen, um möglichst viele Metallionen zu entfernen, und dann mittels Röntgenfluoreszenzanalyse das verbliebene Eisen quantitativ bestimmt. Die in Tabelle I zusammengestellten Ergebnisse dieser analytischen sowie magnetischer Messungen von WALSH, SHULMAN und HEIDENREICH<sup>1</sup> zeigen, daß bei Annahme eines ferromagnetischen Effekts die nachgewiesenen Eisenmengen gut ausreichen, um die magnetischen Eigenschaften der Nukleinsäurepräparate zu erklären. Ein ähnliches Ergebnis hatten auch Versuche von ALEKSANDROV, GAVRILOV, KISELEV, LAZURKIN und MOKULSKII<sup>2</sup>, die Nukleinsäurepräparate mit Desoxyribonuklease und Diesterase fermentativ abbauten, die Lösung zentrifugierten und dann im Niederschlag, der feinste dunkle Teilchen enthielt, quantitativ und qualitativ gleiche ESR-Absorption fanden, wie vorher im Nukleinsäurepräparat.

Damit scheint zumindest ein erheblicher Anteil ferromagnetischer Art am beobachteten Effekt nachgewiesen und gleichzeitig die Deutung nur als Kollektiveffekt der organischen Struktur unwahrscheinlich gemacht. Die Beteiligung paramagnetischer Ionen in einer durch die organische Struktur ermöglichten Wechselwirkung ist nach wie vor möglich. Eine endgültige Klärung dieser Frage wie auch vor allem der nach dem Zustandekommen von Mikrokristalliten mit ferromagnetischen Eigenschaften kann nur durch weitere experimentelle Arbeit erbracht werden. In diesem Zusammenhang ist eine Arbeit von WALSH, RUPP und WYLUDA<sup>3</sup> zu erwähnen, in der versucht wird, Aufschluß über Bindungsart und mögliche Gitterstruktur bei der Anlagerung für unser Problem interessierender Metallionen an Nukleinsäuren zu erhalten. In dieser Arbeit wurden Resonanzlinien gefunden, die von Komplexen zwischen Nukleinsäure und definierten Metallionen herrühren. Obwohl dabei weder alle möglichen Metallionen noch die Anwesenheit von Proteinen in den Bakteriophagen berücksichtigt wurden, besteht eine ziemlich gute Überein-

<sup>1</sup> WALSH, W. M., R. G. SHULMAN und R. D. HEIDENREICH: *Nature* **192**, 1041 (1961).

<sup>2</sup> ALEKSANDROV, A. A., V. JU. GAVRILOV, A. G. KISELEV, JU. S. LAZURKIN und M. A. MOKULSKII: *Doklady Akad. Nauk SSSR* **141**, 1483 (1961).

<sup>3</sup> WALSH, W. M., L. W. RUPP und B. J. WYLUDA: *Proceedings of the First International Conference on Paramagnetic Resonance, Jerusalem 1962* (im Druck).

Tabelle 1.

Vergleich von Spin-Resonanz, statischem magnetischem Moment und Eisen-Analyse zweier Nukleinsäureproben mit starker ESR-Absorption. Alle Angaben sind auf 1 g „trockenes“ Material bezogen. Nach WALSH, SHULMAN und HEIDENREICH, 1961.

Untersuchungsmethode	Desoxyribonukleinsäure aus Herings-Spermien	Desoxyribonukleinsäure aus Kalbs-Thymus
Elektron-Spin-Resonanz	Spinzahl $S = 1/2$ , paramagnetisch: $9 \cdot 10^{20}$ Spins/g Spinzahl $S' = 2$ , ferromagnetisch: $2,2 \cdot 10^{17}$ Spins/g	Spinzahl $S = 1/2$ , paramagnetisch: $16 \cdot 10^{20}$ Spins/g Spinzahl $S' = 2$ , ferromagnetisch: $3,8 \cdot 10^{17}$ Spins/g
Statisches magnetisches Moment	Spinzahl $S = 1/2$ , paramagnetisch: $14 \cdot 10^{20}$ Spins/g Spinzahl $S' = 2$ , ferromagnetisch: $3,4 \cdot 10^{17}$ Spins/g	Spinzahl $S = 1/2$ , paramagnetisch: $6 \cdot 10^{20}$ Spins/g Spinzahl $S' = 2$ , ferromagnetisch: $1,4 \cdot 10^{17}$ Spins/g
Analyse auf „gebundenes“ Eisen	$4,8 \cdot 10^{-4}$ g Fe/g $5 \cdot 10^{18}$ Atome Fe/g	$4,9 \cdot 10^{-4}$ g Fe/g $5 \cdot 10^{18}$ Atome Fe/g

stimmung zwischen den von WALSH, RUPP und WYLUKA und den von uns an Bakteriophagen gemessenen Linien. Von uns wurden Linien bei 1100, 1600 und 2800 Gauss beobachtet, denen  $g$ -Faktoren von 6,2; 4,25 und 2,43 entsprechen. Diese sind mit  $g$ -Faktoren von 5,9 des Nukleinsäurekomplexes mit  $Gd^{3+}$ , 4,35 mit  $Fe^{3+}$  und 4,27 mit  $Co^{2+}$  sowie 2,56 mit  $Fe^{3+}$  und 2,35 mit  $Cu^{2+}$  zu vergleichen. Durch derartige Untersuchungen wird festgestellt werden können, ob und in welcher Weise die Metallionen für Struktur und Funktion der Nukleinsäuren wichtig sind. Dieser Gedanke liegt nahe, da jetzt schon feststeht, daß die beobachteten ESR-Absorptionsspektren der Nukleinsäuren nicht von zufälligen Verunreinigungen herrühren, sondern von Metallionen, die vor jeder Präparation *in vivo* bereits vorhanden sind. Messungen der ESR-Absorption scheinen nach dem augenblicklichen Stand des Problems eine wertvolle Methode zur Aufklärung dieser Zusammenhänge zu sein, deren Wichtigkeit noch dadurch unterstrichen wird, daß die Nukleinsäuren als Sitz der vererbten Information gelten müssen.

# ABHANDLUNGEN DER AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN UND DER LITERATUR

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

Jahrgang 1950

1. PASCUAL JORDAN, Zur Theorie der Cayley-Größen. 7 S., DM 1,20
2. KARL HÖHN, Untersuchungen über Hydathoden und deren Funktion. 34 S. mit 5 Abb., DM 3,20
3. JOS. L. HOFMANN, Nicolaus Mercator (Kaufmann). Sein Leben und Wirken, vorzugsweise als Mathematiker. 61 S. mit 6 Abb. u. 14 Taf., DM 10,—
4. OTMAR FRHR. V. VERSCHUER, Die Anwendung von Erkenntnissen der allgemeinen Genetik auf den Menschen und ihre Grenzen. 18 S., DM 1,60
5. PASCUAL JORDAN, Zur Axiomatik der Quanten-Algebra. 9 S., DM 1,20
6. HANS WEBER, Morphologische und anatomische Studien über *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. 29 S. mit 15 Abb., DM 3,20
7. KLAUS STOPP, Karpologische Studien I und II. 56 S. mit 45 Abb., DM 4,20
8. PASCUAL JORDAN, Über die empirischen Tatsachen zum Problem der Sternentstehung. 13 S., DM 1,60
9. ILSE SCHWIDETZKY, Turaniden-Studien. 59 S. mit 24 Abb., DM 7,80
10. WILHELM TROLL, Zur Klärung der Polaritätsverhältnisse des Pteridophytenembryos. 24 S. mit 16 Abb., DM 2,20
11. PASCUAL JORDAN, Vierdimensionale Begründung der erweiterten Gravitations-Theorie. 18 S., DM 1,60
12. PASCUAL JORDAN, Über polynomiale Fastringe. 6 S., DM 1,—
13. WILHELM TROLL, Botanische Notizen I. 18 S. mit 18 Abb., DM 1,80
14. GERHARD ROSSBERG, Hörschwellenkurve und Resonanzeigenschaften der knöchernen Labyrinthkapsel. 16 S. mit 11 Abb., DM 1,60
15. WILHELM TROLL, Über den Infloreszenzbegriff und seine Anwendung auf die blühende Region krautiger Pflanzen. 41 S. mit 32 Abb., DM 3,60
16. HEINRICH SCHADE, Ergebnisse einer Bevölkerungsuntersuchung in der Schwalm. 75 S. mit 5 Abb. u. 28 Tab., DM 6,—
17. KLAUS STOPP, Karpologische Studien III und IV. 50 S. mit 30 Abb., DM 3,60
18. ADOLF REMANE, Die biologischen Grundlagen des Handelns. 40 S. mit 2 Abb., DM 3,—

Jahrgang 1951

1. OTTO H. SCHINDEWOLF, Glaziale Erscheinungen im Oberdevon von Menorca. 21 S. mit 1 Abb. u. 5 Tafeln. DM 4,80
2. WILHELM TROLL, Botanische Notizen II. 58 S. mit 54 Abb., DM 4,80
3. WILHELM TROLL, Botanische Notizen III. 36 S. mit 22 Abb., DM 3,—
4. WILHELM TROLL und WERNER RAUH, Mykologische Studien. 21 S. mit 9 Abb., DM 1,80
5. WILHELM TROLL und BERTA HEIDENHAIN, Beiträge zur Kenntnis racemöser Infloreszenzformen. 76 S. mit 63 Abb., DM 7,50
6. LOTHAR GEITLER, Die Stellungen der Kopulationspartner und der Auxosporen bei *Gomphonema*-Arten. 11 S. mit 12 Abb., DM 1,40
7. KARL WEZLER und ERNST LOTZ, Die Hauttemperatur des Menschen bei wechselnden Windgeschwindigkeiten und Raumtemperaturen. 23 S. mit 9 Abb., DM 2,—

Jahrgang 1952

1. WILHELM TROLL und CARL WETTER, Beiträge zur Kenntnis der Radikationsverhältnisse von Farnen. 84 S. mit 52 Abb., DM 6,—
2. WILHELM TROLL und ANNELIESE MEISTER, Bau und Entwicklung der Infloreszenz von *Phyllorhachis sagittata* Trim. 17 S. mit 8 Abb., DM 1,80
3. WOLFRAM NOODT, Marine Harpacticiden (Cop.) aus dem eulitoralischen Sandstrand der Insel Sylt. 40 S. mit 99 Abb., DM 3,—
4. OTTO H. SCHINDEWOLF, Korallen aus dem Oberkarbon (Namur) des oberschlesischen Steinkohlen-Beckens. 85 S. mit 29 Abb. und 2 Tafeln, DM 7,80
5. HANS DIETER BAEHR, Zur Thermodynamik der Zweiphasengleichgewichte. Über Umwandlungen höherer Ordnung, über das Verdampfungs-gleichgewicht und den Aufbau der Dampfdruckformel. 85 S. mit 27 Abb., DM 6,60
6. SEBASTIAN GERLACH, Nematoden aus dem Küstengrundwasser. 58 S. mit 31 Abb., DM 4,80
7. MAX PFANNENSTIEL, Das Quartär der Levante. Teil I: Die Küste Palästina-Syriens. 103 S. mit 3 Abb. und 8 Ausschlagtafeln, DM 12,60
8. EMIL WERTH, Die eustatischen Bewegungen des Meeresspiegels während der Eiszeit und die Bildung der Korallenriffe. 142 S. mit 102 Abb., DM 10,80
9. BERTA HEIDENHAIN, Über die Blütenstände der Campanulaceen. 32 S. mit 23 Abb., DM 2,40
10. HERMANN BECKER, Retrograde und transneurone Degeneration der Neurone. 161 S. mit 16 Tafeln, DM 19,20
11. DIETRICH BOCK, Die Hauttemperatur als Ausgleichsgröße zwischen Umwelt und Organismus und ihre Messung mit einer Thermokompensationsmaßanlage. 88 S. mit 15 Abb., DM 6,80
12. KLAUS STOPP, Morphologische und verbreitungsbiologische Untersuchungen über persistierende Blütenkelche. 71 S. mit 32 Abb., DM 5,40

Jahrgang 1953

1. LUTZ ZIEGLER, Zur analytischen Darstellung der thermischen Eigenschaften des Wasserdampfes im überkritischen Gebiet. 57 S. mit 25 Abb., DM 4,80
2. PASCUAL JORDAN, Zur Theorie der nicht-kommutativen Verbände. 6 S., DM 1,—
3. PAUL DIEPGEN, Die Lehre von der Entzündung. Von der Begründung der Zellulärpathologie bis

zum Aufkommen der Bakteriologie. 21 S., DM 1,80

4. JOHANNES ROHEN, Die funktionelle Gestalt des Auges und seiner Hilfsorgane. (Untersuchungen zur funktionellen Anatomie des Auges.) 135 S. und 40 Tafeln, DM 26,20
5. PASCUAL JORDAN und ERNST WITT, Zur Theorie der Schrägverbände I. 10 S., DM 1,20

#### Jahrgang 1954

1. HARTWIG BENZLER, Zur Zustandsgleichung reiner fluider Stoffe, insbesondere bei überkritischen Dichten. 76 S., mit 52 Abb., DM 6,—
2. PASCUAL JORDAN und WERNER BÖGE, Zur Theorie der Schrägverbände II. 16 S., DM 1,20
3. MAX DEURING, Zur Transformationstheorie der elliptischen Funktionen. 12 S., DM 1,20
4. KURT GERHARDT, Vom Reifungswandel der menschlichen Physiognomie. Morphoplastische Wachstumsvollzüge von der Kindheit bis zur frühen Reife. 89 S. mit 7 Abb. und 53 Tabellen im Text und 10 Tafeln, DM 12,60
5. FRANZ PATAT, Quantentheoretische Betrachtungen über die makromolekulare Stoffwelt des organischen Lebens. 14 S. mit 3 Abb., DM 1,20
6. HANS WEBER, Wurzelstudien an tropischen Pflanzen I. 41 S. mit 26 Abb., DM 3,—
7. DIETRICH HAFEMANN, Zur Frage der jungen Niveauveränderungen an den Küsten der Britischen Inseln. 62 S. mit 5 Abb., DM 4,80
8. EMIL WERTH, Die Litorinasenkung und die steinzeitlichen Kulturen im Rahmen der isostatischen Meeresspiegelschwankungen des nord-europäischen Postglazials. 256 S. mit 98 Abb., DM 19,20

#### Jahrgang 1955

1. BERNHARD DE RUDDER, gemeinsam mit INGRID MOLL und INCEBORG POHL, Über die Häufigkeit gewisser „Stigmen“ und einen Status degenerativus beim Menschen. 10 S., DM 1,20
2. LUDWIG HEMPEL, Frostbodenbildung und Lößanwehung in der Würmeiszeit auf Muschelkalk und Buntsandstein bei Göttingen. 32 S. mit 8 Abb., DM 2,40
3. WERNER RAUH, Botanische Mitteilungen aus den Anden (I—III). 27 S. mit 16 Abb., DM 3,60
4. FRANZ SCHLÜTER und KARL WEZLER, Die Wirkung konstringierender und dilatierender Stoffe auf die Querdehnbarkeit isolierter kleiner Arterien vom muskulären Typ. 70 S. mit 13 Abb., DM 5,40
5. WILHELM TROLL und DIMITRI HARTL, Über einige Bauseigentümlichkeiten von *Limosella aquatica* L., insbesondere ihre Infloreszenz. 14 S. mit 6 Abb., DM 1,20
6. GERHARD SCHÖNBACH und HEINZ LANGENDORF, Das Verhältnis von Innenradius und Wandstärke in den kleinen Blutgefäßen. 32 S. mit 19 Abb., DM 3,60
7. OTTO HAUPT und CHRISTIAN Y. PAUC, Bemerkungen über Inhalte und Maße in lokal bikompakten Räumen. 32 S., DM 2,40
8. WALTER G. CADY, Theory of the Plane Wave Acoustic Filter with Periodic Structure. 16 S. mit 3 Abb., DM 1,20
9. JOHAN ARVID HEDVALL, Die Anwendung der physikalischen Chemie zur Konservierung antiker Kunstwerke und in der modernen Bautechnik. 22 S. mit 32 Abb., DM 6,—
10. OTTO H. SCHINDEWOLF und ADOLF SEILACHER, Beiträge zur Kenntnis des Kambriums in der Salt Range (Pakistan). 190 S. mit 36 Abb. und 33 Tafeln, DM 28,—
11. HANS WEBER, Über die Blütenkelche tropischer Rubiaceen. 20 S. mit 9 Abb. und 1 Vierfarbtafel, DM 3,—
12. ADOLF REMANE, Ist Oreopithecus ein Homi- nide? 31 S. mit 23 Abb., DM 2,40
13. PETER AX, Monographie der Otoplanidae (Turbellaria). Morphologie und Systematik. 298 S. mit 286 Abb., DM 22,20

#### Jahrgang 1956

1. EDUARD JUSTI, KURT BISCHOFF und HERBERT SPENGLER, Stand und Aussichten der reversiblen Erzeugung elektrischer Energie aus festen Brennstoffen in Brennstoffelementen mit festem Elektrolyten. 26 S. mit 13 Abb., DM 3,—
2. PASCUAL JORDAN, Beiträge zur Theorie der Schrägverbände. 16 S., DM 1,20
3. DIETRICH HAFEMANN, Beiträge zur Siedlungsgeographie des römischen Britannien. I. Die militärischen Siedlungen. 197 S. mit 15 Karten, DM 22,20
4. OTMAR FRER. v. VERSCHUER und ERNST KOBER, Die Frage der erblichen Disposition zum Krebs, Ergebnis einer Forschung durch 20 Jahre an einer auslesefreien Zwillingsserie. 88 S. mit 20 Tab., DM 6,60
5. MAX PFANNENSTIEL, Das Quartär der Levante. III. Rezente Froststrukturböden und Karst des Uludagh (Westtürkei). 12 S. mit 7 Tafeln, DM 4,20
6. WERNER RAUH, Morphologische, entwicklungs- geschichtliche, histogenetische und anatomische Untersuchungen an den Sprossen der Didiereaceen. 104 S. mit 63 Abb., DM 8,80
7. WILHELM BLASCHKE und GÜNTHER SCHOPPE, Regiomontanus: Commensurator. 85 S., DM 6,60
8. PETER AX, Die Gnathostomulida, eine rätselhafte Wurmgruppe aus dem Meeressand. 32 S. mit 48 Abb., DM 2,40
9. HANS WEBER, Histogenetische Untersuchungen am Sproßscheiden von *Espeletia*, mit einem Überblick über das Scheitelwachstum überhaupt. 56 S. mit 23 Abb., DM 5,40
10. GISELA NEUROTH-SCHMITT, Der Einfluß des arteriellen und venösen Druckes auf die Gleich-

gewichtskurven des isolierten, spontan schlagenden Froschherzens unter auxotonischen Bedingungen. 24 S. mit 8 Abb., DM 1,80

11. WERNER SINN, Die Elastizität der Arterien und ihre Bedeutung für die Dynamik des arteriellen Systems. 190 S. mit 30 Abb., DM 15,40

#### Jahrgang 1957

1. FOCKO WEBERLING, Morphologische Untersuchungen zur Systematik der Caprifoliaceen. 50 S. mit 18 Abb., DM 4,80
2. DIMITRI HARTL, Die Pseudosympetalie von *Correa speciosa* (Rutaceae) und *Oxalis tubiflora* (Oxalidaceae). 13 S. mit 4 Abb., DM 1,20
3. MAX PFANNENSTIEL und LOTHAR FORCART, Das Quartär der Levante. IV. Der Kalktuff von Bursa. 31 S. mit 8 Tafeln, DM 3,60
4. GERHARD VOSSIUS, Experimentelle Untersuchungen über die gezielte Handbewegung des Menschen. 23 S. mit 12 Abb., DM 1,80
5. SEBASTIAN A. GERLACH, Marine Nematoden aus dem Mangrove-Gebiet von Cananéia (Brasilianische Meeres-Nematoden III). 48 S. mit 12 Abb., DM 6,—
6. OTTO HAUPT und CHRISTIAN Y. PAUC, Über Adjunktion von Idealen in Booleschen Verbänden. 17 S., DM 1,60
7. ROLF SIEWING, Anatomie und Histologie von *Thermosbaena mirabilis*. Ein Beitrag zur Phylogenie der Reihe Pancarida (Thermosbaenacea). 76 S. mit 43 Abb., DM 10,60
8. OTTO HAUPT und CHRISTIAN Y. PAUC, Über Erweiterungen von Inhalten durch Adjunktion von Nullsomen. 20 S., DM 2,20
9. CAHIT ARF, Über ein Analogon des Riemann-Rochschen Satzes in Zahlkörpern. 38 S. DM 3,80

#### Jahrgang 1958

1. KARL WILHELM BUTZER, Studien zum vor- und frühgeschichtlichen Landschaftswandel der Sahara. I-II 49 S. mit 8 Karten, DM 4,80
2. WOLFRAM NOODT, Die Copepoda Harpacticoides des Brandungsstrandes von Teneriffa (Kanarische Inseln). 66 S. mit 213 Abb. auf 19 Tafeln, DM 6,50
3. HANS WEBER, Die Páramos von Costa Rica und ihre pflanzengeographische Verkettung mit den Hochanden Südamerikas. 78 S. u. 90 Tafeln sowie 1 Ausschlagtafel mit insgesamt 105 Abb., DM 27,—
4. WOLFGANG HENGST und KARL WEZLER, Beitrag zur Dynamik des isolierten, spontan schlagenden Warmblüterherzens. 32 S. mit 13 Abb., DM 3,80
5. PASCUAL JORDAN, Über distributive Schrägverbände. 31 S., DM 3,—
6. OTTO H. SCHINDEWOLF, Würmer und Korallen als Synöken. Zur Kenntnis der Systeme *Aspidosiphon/Heteropsammia* und *Hicetes/Pleurodictyum*. 70 S. mit 13 Abb. und 14 Tafeln, DM 12,—

#### Jahrgang 1959

1. OTTO HAUPT und CHRISTIAN Y. PAUC, Über eine Erweiterung d. Fubinischen Satzes. 41 S., DM 4,—
2. KARL WILHELM BUTZER, Studien zum vor- und frühgeschichtlichen Landschaftswandel der Sahara. III. Die Naturlandschaft Ägyptens während der Vorgeschichte und der Dynastischen Zeit. 80 S. mit 8 Abb. im Text u. 12 auf 6 Tafeln, DM 8,80
3. JOHANNES ROHEN und HANNS-HELLMUTH UNGER, Zur Morphologie und Pathologie der Kammerbucht des Auges. 84 S. u. 69 Abb. auf 53 Tafeln, DM 18,—
4. RICHARD VIEWEG, Kulturbedeutung der Werkstoffe. 18 S., DM 1,80
5. WILHELM TROLL, Neue Beiträge zur Kenntnis der Blütenstände und Blüten von *Ceropegia*-Arten. Mit 34 Abbildungen im Text. 40 S., DM 4,80
6. STEFAN VOGEL, Organographie der Blüten kapländischer Ophrydeen mit Bemerkungen zum Koaptations-Problem. Teil I: Disinae und Satyriinae. 137 S. mit 74 Abb., DM 13,60
7. STEFAN VOGEL, Organographie der Blüten kapländischer Ophrydeen mit Bemerkungen zum Koaptations-Problem. Teil II: Disperidinae — Über Beziehungssystem und Koaptation der Ophrydeenblüten. 130 S. mit 65 Abb., DM 13,60
8. EDUARD JUSTI, MANFRED PILKUH, WOLFGANG SCHEIBE und AUGUST WINSEL, Hochbelastbare Wasserstoff-Diffusions-Elektroden für Betrieb bei Umgebungstemperatur und Niederdruck. 235 S. mit 125 Abb., DM 22,40
9. PASCUAL JORDAN, Die Bedeutung der Diracschen Hypothese für die Geophysik. 27 S. mit 3 Abb., DM 2,40
10. WERNER RAUH und FOCKO WEBERLING, Morphologische und anatomische Untersuchungen an der Valerianaceengattung *Stangea* GRAEBNER. 43 Seiten mit 25 Abb. im Text und auf 3 Tafeln, DM 4,80
11. HEINRICH SCHADE und GOTTFRIED RUETZ, Untersuchung zur Auflösung eines kleinen sozialen großräumlichen Isolates. 30 S. mit 3 Abb. und 10 Tabellen, DM 3,20
12. ERNST MARCUS und EVELINE MARCUS, *Opisthobranchia* aus dem Roten Meer und von den Malediven. 64 Seiten mit 86 Abb. auf 10 Tafeln, DM 6,—
13. BURKHARD FRENZEL, Die Vegetations- und Landschaftszonen Nord-Eurasiens während der letzten Eiszeit und während der postglazialen Wärmezeit. I. Teil: Allgemeine Grundlagen. 165 S. mit 17 Abb. u. 3 Faltkarten, DM 18,—
14. HERMANN VON WISSMANN, Die heutige Vergletscherung und Schneegrenze in Hochasien, mit einem Beitrag von HERMANN FLOHN, Bemerkungen zur Klimatologie von Hochasien. Aktuelle Schneegrenze und Sommerklima. 333 Seiten mit 27 Abb., 4 Tafeln und 3 Faltkarten, DM 34,40.
15. RICHARD SCHERHAG, Über die Luftdruck-, Temperatur- und Windschwankungen in der Stratosphäre. 95 S. mit 59 Abb. und 11 Tabellen, DM 10,40

#### Jahrgang 1960

1. BERNHARD DE RUDDER, Über die „Abkunterfeigung“ Baierns von 1531 und ihren Kartographen Avenarius. 20 S. und 1 Abb., DM 2,—
2. PASCUAL JORDAN, JÜRGEN EHLERS und WOLFGANG KUNDT, Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie. 85 S. mit 2 Tab., DM 8,40
3. KARL GÜNTER ZIMMER, Studien zur quantitativen Strahlenbiologie. 111 S. mit 40 Abb., DM 10,80
4. HANS-GEORG ELLAS und FRANZ PATAT, Zur Isolierung und Charakterisierung von Chondroitinschwefelsäuren. 58 S. mit 14 Tab. und 7 Abb., DM 5,60

5. FRANZ PATAT, Zur Genesis von Enzymreaktionen. 9 S. mit 3 Abb. und 1 Farbtafel, DM 1,60
6. BURKHARD FRENZEL, Die Vegetations- und Landschaftszonen Nord-Eurasiens während der letzten Eiszeit und während der postglazialen Wärmezeit. II. Teil: Rekonstruktionsversuch der letzteiszeitlichen und wärmezeitlichen Vegetation Nord-Eurasiens. 168 S. mit 36 Abb. u. 2 Falkarten. DM 18,—
7. JÜRGEN KULLMANN, Die Ammonoidea des Devon im Kantabrischen Gebirge (Nordspanien). 105 S. mit 20 Abb. im Text und 9 Tafeln, DM 13,20
8. HANS HERLOFF INHOFFEN, JOACHIM HESE u. WILHELM BARTMANN, Darstellung partiell aromatisierter Derivate des 20-iso-Cyclonorcholans aus Desoxycholsäure. 20 S., DM 2,—
9. WILHELM SCHULZ, Aimé Bonpland, Alexander von Humboldts Begleiter auf der Amerikareise 1799—1804. Sein Leben und Wirken; besonders nach 1817 in Argentinien; 53 S. u. 1 Tafel, DM 5,60
10. OTTO H. SCHINDEWOLF, Studien zur Stammesgeschichte der Ammoniten. Lieferung I, 110 S., mit 58 Abbildungen und 2 Tafeln, DM 10,80
11. BERNDT HEYDEMANN, Die biozönotische Entwicklung vom Vorland zum Koog. Vergleichend-ökologische Untersuchungen an der Nordseeküste. I. Teil: Spinnen (Araneae). 169 S. mit 15 Tabellen, 3 Tafeln und 65 Abb. im Text, DM 16,40
12. KARL-HEINZ DEGENHARDT, Die genetische und morphologische Analyse spezieller. Entwicklungsstörungen in einem Stamm gezüchteter Hermelin-Kaninchen. 74 S., mit 55 Abbildungen und 20 Tabellen, DM 19,80.

*Jahrgang 1961*

1. PASCUAL JORDAN, JÜRGEN EHLERS und RAINER K. SACHS, Beiträge zur Theorie der reinen Gravitationsstrahlung. Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie II. 62 S., DM 6,—
2. RUDOLF MAASS, Die Geologie, insbesondere das Devon, im Bereich der Orte Castuera - Cabeza del Buey - Monterrubio (Extremadura, Südspanien). 22 S. u. 2 Karten, DM 2,40
3. PASCUAL JORDAN und WOLFGANG KUNDT, Geometrodynamik im Nullfall. Strenge Lösungen der Feldgleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie III. 13 S., DM 1,60
4. REINHARD REMANE, Revision der Gattung Mocydiopsis Ribaut (Hom. Cicadellidae). 51 S. mit 14 Abb. u. 2 Tab., DM 5,—
5. FOCKO WEBERLING, Die Infloreszenzen der Valerianaceen und ihre systematische Bedeutung. 131 S., mit 60 Abbildungen im Text und auf 29 Tafeln, DM 18,80
6. FRANZ LOTZE und KLAUS SDZUY, Das Kambrium Spaniens, Teil I: Stratigraphie. 216 S. mit 48 Abb. und 12 Tab. DM 21,—
7. FRANZ LOTZE und KLAUS SDZUY, Das Kambrium Spaniens. Teil II: Trilobiten, 1. Abschnitt. 96 S., mit 23 Abb. im Text und 15 Tafeln, DM 15,—
8. FRANZ LOTZE und KLAUS SDZUY, Das Kambrium Spaniens. Teil II: Trilobiten, 2. Abschnitt. 100 S., mit 30 Abb. im Text und 19 Tafeln, DM 16,—
9. PASCUAL JORDAN, Über distributiv-modulare Schrägverbände. 26 S. DM 2,40
10. ADOLF SEILACHER, Die Sphinctozoa, eine Gruppe fossiler Kalkschwämme. 70 S., mit 8 Abb. und 9 Tafeln, DM 10,80
11. JÜRGEN EHLERS, Beiträge zur relativistischen Mechanik kontinuierlicher Medien. (PASCUAL JORDAN, JÜRGEN EHLERS, WOLFGANG KUNDT, RAINER K. SACHS, Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie IV). 47 S., DM 4,40
12. THEODOR WIELAND, Über differente und multiple Formen von Enzymen. 15 S. mit 4 Tabellen und 4 Abbildungen im Text, DM 1,60

*Jahrgang 1962*

1. JOST WIEDMANN, Unterkreide-Ammoniten von Mallorca. 1. Lieferung: Lytoceratina, Aptychi. 148 S. mit 36 Abb., 1 Tabelle im Text und 10 Tafeln, DM 18,40
2. FRANZ LOTZE, Pleistozäne Vergletscherungen im Ostteil des Kantabrischen Gebirges (Spanien). 22 S. mit 10 Abb. im Text und 7 Farbbildern auf 4 Tafeln, DM 4,40
3. OTMAR FRHR. VON VERSCHUER, Gefährdung des Erbguts — ein genetisches Problem. 22 S., mit 4 Tabellen und 13 Abbildungen im Text, DM 2,20
4. KLAUS VOGEL, Muscheln mit Schloßzähnen aus dem spanischen Kambrium und ihre Bedeutung für die Evolution der Lamellibranchiaten. 52 S. mit 19 Abb. im Text und 5 Tafeln. DM 7,20
5. MAX KOHLER, Die Bedeutung der Symmetrie in der Physik, 14 S., DM 1,60
6. JÜRGEN KULLMANN, Die Goniatiten der Namur-Stufe (Oberkarbon) im Kantabrischen Gebirge, Nordspanien, 119 S. mit 17 Abb. im Text und 7 Tafeln. DM 13,60
7. OTTO HAUPT und CHRISTIAN Y. PAUC, Über Produkte von Inhalten und Maßen, die an eine Topologie adaptiert sind. 46 S., DM 4,40
8. OTTO H. SCHINDEWOLF, Studien zur Stammesgeschichte der Ammoniten. Lieferung II, 148 S. mit 91 Abbildungen im Text und 1 Tafel, DM 14,40
9. HJALMAR GRANHOLM, Der Einsturz des Bogengerüsts der Sandbrücke. 26 S. mit 22 Abb. und 1 Tab., DM 2,40
10. STEFAN VOGEL, Duftdrüsen im Dienste der Bestäubung. 165 S., mit 50 Abb. und 13 Tab. im Text, DM 15,60
11. BERNDT HEYDEMANN, Die biozönotische Entwicklung vom Vorland zum Koog. Vergleichend-ökologische Untersuchungen an der Nordseeküste. II. Teil: Käfer (Coleoptera). 200 S. mit 11 Tabellen, 3 Tafeln und 91 Abb. im Text, DM 21,—
12. WOLFGANG KUNDT und MANFRED TRÜMPER, Beiträge zur Theorie der Gravitations-Strahlungsfelder. (PASCUAL JORDAN, JÜRGEN EHLERS, WOLFGANG KUNDT, RAINER K. SACHS und MANFRED TRÜMPER, Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie V.) 36 S., DM 3,40
13. ISTVÁN OZSVÁTH, Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen mit einfach transitiver Bewegungsgruppe. (PASCUAL JORDAN, JÜRGEN EHLERS, WOLFGANG KUNDT, ISTVÁN OZSVÁTH, RAINER K. SACHS, MANFRED TRÜMPER, Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie VI.) 22 S., DM 2,20
14. GERHART HOTZ, ADOLF MÜLLER, KARL GÜNTER ZIMMER, Elektron-Spin-Resonanzen in Bakteriophagen. 14 S., mit 4 Abb. und 1 Tabelle im Text. DM 1,60

VERLAG DER

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN UND DER LITERATUR IN MAINZ  
IN KOMMISSION BEI FRANZ STEINER VERLAG GMBH · WIESBADEN