

Die aus der Druckabhängigkeit gewonnenen Erkenntnisse sind im Einklang mit den aus der Temperaturabhängigkeit erhaltenen Aktivierungsenergien. Diese sind für die Bildung von *exo*-2 und *syn*-3 praktisch gleich groß, während sie für die Bildung von *endo*-2 und *threo*-4 kleiner sind als für die von *anti*-3 (Tabelle 1). Die kleineren Aktivierungsbarrieren können als Ausdruck einer geringen Resonanzstabilisierung (<2.7 bzw. 3.8 kcal/mol) des Übergangszustands der konzertierten Prozesse gewertet werden. Die geringen Unterschiede in den Aktivierungsenergien machen aber deutlich, daß die Übergangszustände der „konzertierten“ Reaktionen energetisch nur wenig günstiger als die der diradikalischen sind. Die bei einer konzertierten Annäherung für *exo*- und *endo*-2 auftretenden, im Schema 1 nur für die Diradikal-Zwischenstufen angedeuteten sterischen und sekundären elektronischen Effekte dürften den Wechsel im Mechanismus von der *endo*- zur *exo*-Diels-Alder-Reaktion bewirken.

Die Struktur des Übergangszustands der [6+4]-En-Reaktion zum *threo*- und *erythro*-Produkt ist vergleichbar mit der der Sessel- bzw. Boot-Cope-Umlagerung von 1,5-Heptadien^[10]. Für das Ausbleiben von *erythro*-4 könnten daher ähnliche Faktoren wie bei der Boot-Cope-Umlagerung maßgeblich sein.

Eingegangen am 26. September 1985 [Z 1473]

- [1] F. Hofmann, P. Damm, *Mitt. Schlesischen Kohlenforschungsinst. Kaiser-Wilhelm-Ges.* 2 (1925) 97 (*Chem. Zentralbl.* 1926 I, 2342); K. Alder, G. Stein, *Justus Liebigs Ann. Chem.* 496 (1932) 197; G. R. de Maré, G. Huybrechts, M. Toth, P. Goldfinger, *Trans. Farad. Soc.* 67 (1971) 1397.
- [2] Durch sensibilisierte Photolyse von 1 wurde ein gaschromatographisch trennbares Gemisch von *exo*-2, *syn*- und *anti*-3 hergestellt. D. Valentine, N. J. Turro, Jr., G. S. Hammond, *J. Am. Chem. Soc.* 86 (1964) 5202; G. O. Schenck, S.-P. Mannsfeld, G. Schomburg, C. H. Krauch, *Z. Naturforsch. B* 19 (1964) 18; Y. L. Bahyrel, D. J. MacGregor, T. L. Penner, G. S. Hammond, *J. Am. Chem. Soc.* 94 (1972) 637.
- [3] Experimentelle Details finden sich in den Dissertationen von M. P. Cohen („The Crossed Diels-Alder-Reaction: A Mechanistic Inquiry“), Harvard University 1982, sowie von B. M. J. Dorgan („Organische Reaktionen unter hohem Druck; der Druckeffekt auf Konkurrenzreaktionen“), Universität Bochum 1984.
- [4] Monokline Kristalle (aus Toluol); $F_p = 162\text{--}163^\circ\text{C}$; Raumgruppe $P2_1/c$, $Z = 4$, $a = 6.222(5)$, $b = 14.878(22)$, $c = 18.555(23)$ Å, $\beta = 96.51(8)^\circ$; Intensitätsmessungen bei Raumtemperatur auf einem Vierkreis-Diffraktometer; Strukturlösung mit direkten Methoden; Verfeinerung unter Einschluß der 2461 Reflexe mit $|F_0| > 3\sigma(F_0)$; $R = 0.051$, $R_w = 0.044$; alle kristallographischen Rechnungen mit dem Programmsystem SHELX76. Wir danken Dr. W. Gebert, Bochum, für die Intensitätsmessungen. Die beobachtete Molekülstruktur weist keine ungewöhnlichen Merkmale auf. Der Cyclohexenring hat die übliche Halbesselkonformation mit näherungsweiser C_2 -Symmetrie; seine entsprechend gemittelten Torsionswinkel von 2.6, 13.1, -44.7 und 62.7° (Sequenz beginnend mit der Doppelbindung; Standardabweichungen ca. 0.3°) ähneln experimentellen und berechneten Werten für gasförmiges Cyclohexen (Elektronenbeugung, Kraftfeldrechnungen). Weitere Einzelheiten der Kristallstrukturuntersuchung können beim Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik GmbH, D-7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2, unter Angabe der Hinterlegungsnummer CSD 51710, der Autoren und des Zeitschriftenzitats angefordert werden.
- [5] C. A. Stewart, Jr., *J. Am. Chem. Soc.* 93 (1971) 4815; 94 (1972) 635.
- [6] Beispiele für andere, nicht-konzertierte Diels-Alder-Reaktionen: V. Mark, *J. Org. Chem.* 39 (1974) 3179, 3181; G. Huybrechts, B. van Mele, *Int. J. Chem. Kinet.* 10 (1978) 1183. Übersicht: J. Sauer, R. Sustmann, *Angew. Chem.* 92 (1980) 773; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 19 (1980) 779.
- [7] Bei der Thermolyse von *anti*-[4+4]-Dicyclopentadien wird ein zu *threo*-4 analoges Dimer gefunden, das allerdings das Produkt eines diradikalischen Prozesses ist. W. Grimmel, L. Schumachers, W. R. Roth, R. Breuckmann, *Chem. Ber.* 114 (1981) 3197.
- [8] P. G. Gassman, J. L. Marshall, *Org. Synth. Coll. Vol. V* (1973) 91, 424.
- [9] Übersicht: W. R. Dolbier, Jr. in E. Bunzel, C. C. Lee (Hrsg.): *Isotopes in Organic Chemistry, Vol. I (Isotopes in Molecular Rearrangements)*, Elsevier, Amsterdam 1975, S. 51ff.
- [10] M. J. Goldstein, M. S. Benzon, *J. Am. Chem. Soc.* 94 (1972) 7147, zit. Lit.

Periodische Potentialflächen in Kristallstrukturen

Von Reinhard Nesper und Hans-Georg von Schnering*

In memoriam Wilhelm Klemm

Anfang 1984 haben wir mit der Berechnung periodischer Potentialflächen – PEPS (Periodic Equi-Potential Surfaces) – begonnen^[1]; jetzt haben wir ein Rechenprogramm entwickelt, das erstmals die gemeinsame Darstellung von Kristallstrukturen oder strukturellen Details und berechneten PEPS gestattet^[2]. Andersson et al. haben in den vergangenen beiden Jahren mehrfach über Beziehungen zwischen periodischen Minimalflächen – PMS (Periodic Minimal Surfaces) – und Kristallstrukturen berichtet^[3-5]. Solche Minimalflächen sind dadurch charakterisiert, daß sie in einem vorgegebenen Rahmen (Randbedingungen) an jedem Punkt der Fläche die mittlere Krümmung $\bar{H} = 0$ aufweisen; eine dieser Minimalflächen hat den kleinsten Flächeninhalt. Minimalflächen sind Gebilde von außerordentlicher Harmonie, die jedem aus dem Spiel mit Seifenblasen bekannt sind. Sie können begrenzt oder auch periodisch fortsetzbar sein, also Translationssymmetrie aufweisen; sie können frei von Intersektionen sein oder auch nicht. Die bisher bekannten PMS^[6] lassen noch keine einfache und vollständige Zuordnung zur Symmetrie der den 3D-Raum charakterisierenden 230 Raumgruppen zu, und sie sind auch nur schwierig über die Beziehungen von Weierstraß^[7] oder andere numerische Approximationen zu erhalten^[8]. Man kann aber zeigen, daß für bestimmte Raumgruppen keine PMS existieren^[2]. Bei aller Faszination, die von der Idee der Raumteilung durch PMS und deren Krümmungseigenschaften ausgeht, fehlt bisher doch ein unmittelbarer Bezug zu physikalischen Eigenschaften. Dieser wird nun durch die PEPS hergestellt.

Wir haben PEPS von Coulomb-Feldern einfacher Punktladungen in den verschiedenen Raumgruppensymmetrien untersucht und dabei festgestellt, daß insbesondere die Nullpotentialflächen („POPS“) den zugehörigen PMS gleicher Symmetrie topologisch sehr ähnlich sind (Abb. 1a: POPS für „CsCl“ (Symmetrie $Im\bar{3}m$; entspricht der Schwarzschen P-Fläche)). Insbesondere dann, wenn die beiden Teilstrukturen kommutativ sind (hier Cs- und Cl-Partialstruktur), teilen die POPS den Raum in zwei gleiche Hälften und sind invariant gegen Vertauschung der Partialstrukturen. Sie sind dann auch topologisch eng verwandt mit interpenetrierenden Kugelpackungen entsprechender Symmetrie^[9,10]. Generell sind nicht die PEPS den bekannten PMS ähnlich, wie kürzlich vermutet wurde^[11], sondern die POPS, da nur diese denselben topologischen Invarianten unterliegen wie die PMS. Für die POPS gilt zwar auch nicht, daß die mittlere Krümmung notwendigerweise verschwindet ($H = 0$), jedoch folgt aus der Vertauschbarkeit von (+) und (-) für kommutative Teilstrukturen, daß die gesamte mittlere Krümmung verschwindet ($\bar{H} = 0$).

Die erstaunliche Konsequenz, mit der die Natur ganz offensichtlich die Topologie von POPS und PMS benutzt, sei an einigen Beispielen demonstriert:

- 1) Im Superionenleiter AgI liegen die experimentell bestimmten, bevorzugten Positionen und Wege von Ag^{+} ^[12] exakt auf der zugehörigen POPS mit der Symmetrie $Im\bar{3}m$ (Abb. 1, oben links). Bevorzugt werden die Positionen mit niedrigen Feldgradienten senkrecht zur POPS. Dagegen werden die freien Räume im Zentrum der Würfelflächen nicht benutzt (Abb. 1, oben rechts). Die Wanderung der

[*] Prof. Dr. H. G. von Schnering, Dr. R. Nesper
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung
Heisenbergstraße 1, D-7000 Stuttgart 80

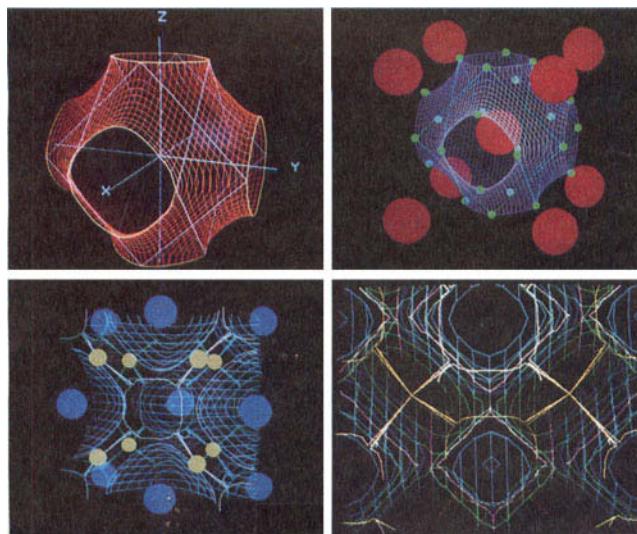


Abb. 1. Oben links: POPS der Symmetrie $Im\bar{3}m$, erzeugt in der Raumgruppe $Pm\bar{3}m$ mit (+) in 1a und (--) in 1b. - Oben rechts: Die gleiche POPS mit der experimentell bestimmten Verteilung von Ag^+ (grün) und I^- (rot) im Superionenleiter AgI . - Unten links: POPS für „ CaF_2 “ ($Fm\bar{3}m$), sowie die Atomverteilung von Pb^{2+} (blau) und F^- (gelb); die experimentell bestimmten Sprungbahnen der F^- -Ionen (grüne und weiße Linien) folgen der Topologie der POPS. - Unten rechts: Ausschnitt mit POPS (blau), einer benachbarten PEPS negativen Potentials (grün) und den F^- -Sprungbahnen (gelb und weiß).

Ag^+ -Ionen durch diese Räume würde höheren Feldgradienten folgen müssen.

2) Die experimentell bestimmten, gekrümmten Sprungbahnen der F^- -Ionen im Ionenleiter PbF_2 ^[13] folgen dem Verlauf der entsprechenden POPS (Symmetrie $Fm\bar{3}m$; Abb. 1, unten links). Die zu POPS benachbarte PEPS negativen Potentials (Abb. 1, unten rechts) zeigt sehr deutlich die Anharmonizität des Potentials in Richtung der Sprungbahnen. Der freie Raum im Bereich der unbesetzten Position $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$ wird offenbar nicht genutzt^[13]. Eine Bewegung in dieser Richtung würde höheren Feldgradienten folgen müssen, also weniger parallel zu PEPS erfolgen.

3) Die POPS Q^* wurde für die Symmetrie $P6_{2}22$ berechnet, ohne die Struktur von Quarz zu verwenden. Sie teilt den Raum in zwei topologisch gleiche vierarmige Tunnelsysteme, geradezu geschaffen für ein vierbindiges Gerüst. Diese POPS hat helicale Teilstücke entlang $\frac{1}{3} \frac{2}{3} z$ und $\frac{2}{3} \frac{1}{3} z$, aber auch Intersektionen von 120° entlang $0 z$ (Abb. 2, oben links). Die Strukturen von α -Quarz (Tiefquarz) ($P3_{1}21$) und β -Quarz (Hochquarz) ($P6_{4}22$) haben genau diese Topologie, wobei das eine Tunnelsystem besetzt wird und das andere frei bleibt. Das Hydrat $CaSO_4(H_2O)_{0.8}$ kristallisiert in der Untergruppe $P3_{1}21$ von Q^* ^[14]. Hier befinden sich alle Ca-Atome im Zentrum des einen Labyrinths und die S-Atome im Zentrum des anderen, während die O-Atome der Sulfatgruppen dicht bei der POPS Q^* liegen (Abb. 2, oben rechts). Die Symmetrie der POPS Q^* ist durch zwei 3_1 -Schraubenachsen und durch eine 6_2 -Schraubenachse gekennzeichnet, welche die Intersektionen erzeugt. Daran ändert sich bei allen moderaten Verzerrungsvarianten von Q^* nichts. Verschiebt man aber die das Coulomb-Feld erzeugenden Punktladungen^[1] von $x = \frac{1}{2}$ auf $x = \frac{1}{3}$, so verändert sich die POPS kontinuierlich zu einer intersektionsfreien Fläche vom Typ der kubischen P-Fläche ($CsCl$). Hier werden topologische Beziehungen zwischen Raumgruppen und verschiedenen Kristallsystemen deutlich. Zudem könnten solche Zusammenhänge für Phasentransformationen bedeutsam sein.

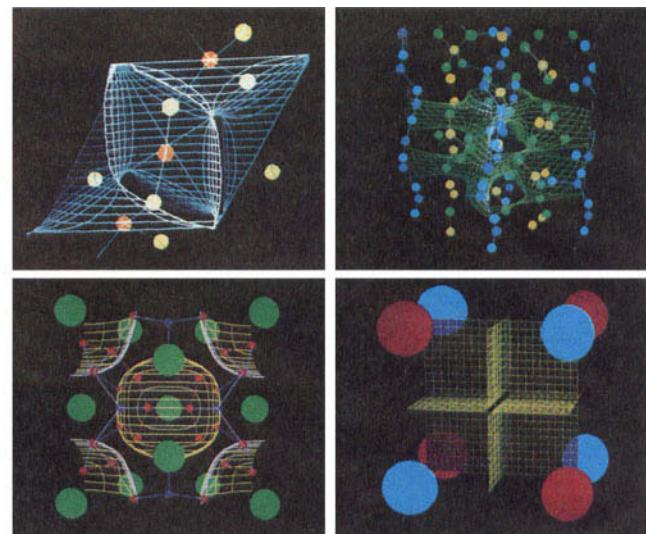


Abb. 2. Oben links: Q^* -Fläche mit der Struktur von β -Quarz (Si = orange). - Oben rechts: Q^* -Fläche mit der Struktur von $CaSO_4(H_2O)_{0.8}$ mit Ca (dunkelblau), S (hellgelb) und O (grün und blau). - Unten links: POPS der A15-Struktur ($Pm\bar{3}n$) mit der Clathratstruktur von $Xe_8(H_2O)_{46}$; Xe (grün), O (rot und blau). - Unten rechts: POPS der Symmetrie $Pm\bar{3}m$, typisch für die $NaCl$ -Struktur.

4) Abbildung 2 zeigt unten links die POPS für den Strukturtyp A15, sowie die einbeschriebenen Strukturen von Cr_3Si (große Kreise) und von Clathrat-I = $Xe_8(H_2O)_{46}$ (große und kleine Kreise). Diese POPS bildet, ebenso wie die von PbF_2 , keine zusammenhängende Fläche, sondern Blasen der Symmetrie $m\bar{3}$ um die Si-Positionen. Im Clathrat besetzen die Xe-Atome die Positionen von Cr und Si der A15-Struktur, während die O-Atome der H_2O -Moleküle bis auf eines praktisch auf der POPS liegen. Die eine sich im Raum befindende O-Position ist in defekten Clathratstrukturen (z. B. $K_8Ge_{44}\square_2$ ^[15]) ausschließlich der Ort von Unterbesetzungen.

5) Die NaCl-Struktur gehört zu einer ebenso einfachen wie ungewöhnlichen POPS: Drei Sätze zueinander orthogonaler Ebenen bilden geschlossene Würfel um die Ladungsaufpunkte! Es ist dies der bisher einzige Fall, bei dem die beiden erzeugenden Ladungsschwerpunkte vollständig abgeschirmt sind. Die POPS weist hier offenbar ideale Bedingungen für eine ionische Verbindung AB auf (Abb. 2, unten rechts).

Zur Bearbeitung von Problemen der Diffusion, der Elektronendichte und bei Phasentransformationen sowie allgemeiner topologischer Fragen haben die periodischen Potentialflächen große Bedeutung.

Verfahren

Die Potentialräume werden nach Besetzung ausgewählter Punktkonfigurationen [16] in den betreffenden Raumgruppen mit (+)- und (−)-Ladungen über die Ewald-Näherung für vorgegebene 3D-Stützpunktnetze ermittelt. Die PEPS für $CsCl$ erhält man für die Ladungsverteilung (+) auf den Wyckoff-Positionen 1a und (−) auf 1b in $Pm\bar{3}m$. Beide Positionen spannen primitive Punktkonfigurationen P auf. Die zugehörige POPS ist danach charakterisiert durch $P_{(1a)}^+ \wedge P_{(1b)}^-$ und erhält das Kurzsymbol P^* ($Im\bar{3}m$). In gleicher Weise erhält man die Schwarzsche D-Fläche aus der Kombination $D_{(1a)}^{(+)} \wedge D_{(1b)}^{(-)}$ in $Fd\bar{3}m$. Anders als bisher beschrieben [6] gehört sie zur Cheshire-Gruppe $Pn\bar{3}m$, da die erzeugenden Punktkonfigurationen bereits die Symmetrie $Fd\bar{3}m$ haben. - Die Abbildungen wurden unter Benutzung von DI-3000-Graphiksoftware in eigenen Programmen erstellt und von einem Farbgraphiksschirm AED-767 abphotographiert.

Eingegangen am 7. November,
ergänzte Fassung am 26. November 1985 [Z 1524]

- [1] R. Nesper, H. G. von Schnering, *Z. Kristallogr.* 170 (1985) 138.
 [2] R. Nesper, H. G. von Schnering, unveröffentlicht.
 [3] S. Andersson, T. S. Hyde, H. G. von Schnering, *Z. Kristallogr.* 168 (1984) 1.
 [4] S. T. Hyde, S. Andersson, *Z. Kristallogr.* 168 (1984) 221.
 [5] S. T. Hyde, S. Andersson, *Z. Kristallogr.* 170 (1985) 225.
 [6] A. H. Schoen, *NASA Technical Note D-5541* (1970).
 [7] K. Weierstraß: *Mathematische Werke I. Bd. 3*, Mayer & Müller, Berlin 1903.
 [8] H. J. Wagner, *Computing* 19 (1977) 35.
 [9] W. Fischer, *Z. Kristallogr.* 133 (1971) 18; *ibid.* 138 (1983) 129; *ibid.* 140 (1984) 50.
 [10] W. Fischer, E. Koch, *Acta Crystallogr. A* 32 (1976) 225.
 [11] A. L. Mackay, *Physica B+C (Amsterdam)* 131 (1985) 300.
 [12] R. J. Cava, F. Reidinger, B. J. Wünsch, *Solid State Commun.* 24 (1977) 411.
 [13] R. Bachmann, H. Schulz, *Solid State Ionics* 9 (1983) 521.
 [14] W. Abriel, *Acta Crystallogr. C* 39 (1983) 956.
 [15] L. Lianos, *Dissertation*, Universität Stuttgart 1982.
 [16] T. Hahn (Hrsg.): *International Tables for Crystallography. Vol. A*. Reidel, Dordrecht, Holland 1983, S. 819 ff.

NEUE BÜCHER

Industrielle Anorganische Chemie. Von *W. Büchner, R. Schliebs, G. Winter und K. H. Büchel*. Verlag Chemie, Weinheim 1984. XXIII, 645 S., geb. DM 108.00. – ISBN 3-527-26069-2

Die „Industrielle Anorganische Chemie“ ist sowohl ein Lehrbuch als auch ein Nachschlagewerk über anorganische Produkte. Die klare Gliederung und das ausführliche Register gestatten eine schnelle und bequeme Handhabung und ermöglichen dem Leser, sich einen Überblick über die Vielfalt dieses wichtigen Bereiches der Chemie zu verschaffen.

Die Hauptkapitel, Anorganische Grundprodukte, Mineralische Dünger, Metalle und ihre Verbindungen, Silicone, Anorganische Festkörper und Kernbrennstoffkreislauf, sind ihrerseits nach chemischen Aspekten untergliedert. So enthält beispielsweise das Kapitel Anorganische Grundprodukte die Unterkapitel: Wasser, Wasserstoff, Wasserstoffperoxid und anorganische Stickstoffverbindungen, Phosphor und seine Verbindungen, Schwefel und Schwefelverbindungen sowie Halogene und Halogenverbindungen. In jedem dieser Unterkapitel werden Vorkommen der Rohstoffe, Verfahren zur Herstellung und Aufarbeitung, Reinigung der Produkte, wirtschaftliche Bedeutung und technische Anwendung behandelt. Am Schluß eines jeden Unterkapitels verweisen Zitate auf weiterführende Literatur.

Besonders detailliert werden Herstellungsverfahren beschrieben, wobei auch Rohstoffsituation, Energieverbrauch und ökologische Probleme diskutiert werden. Auf metallurgische Prozesse wird mit wenigen Ausnahmen nicht eingegangen. Besonderes Augenmerk wird des weiteren auf wirtschaftliche Aspekte und die Verwendung der Produkte gerichtet; zahlreiche Tabellen mit allerdings zum Teil relativ alten Daten dienen hier der Illustration.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß dieses Buch das weite Feld der industriellen Anorganischen Chemie in übersichtlicher und komprimierter Form darstellt. Die vorzügliche Aufmachung und der Aufbau mit Haupt- und Randspalten rechtfertigen den Preis von DM 108,–. Es kann daher Studenten, Lehrern, Chemikern und Kollegen aus verwandten Fachbereichen empfohlen werden.

J. Köhler [NB 723]
 Max-Planck-Institut für
 Festkörperforschung, Stuttgart

Macrolide Antibiotics. Chemistry, Biology and Practice. Herausgegeben von *S. Ōmura*. Academic Press, Orlando 1984, 635 S., geb. \$ 89.50. – ISBN 0-12-526450-X

Sicherlich der weitaus beste Kenner von Chemie und Biochemie der Makrolide ist zur Zeit Prof. *Satoshi Ōmura* (Kitasato University, Tokio). Dementsprechend umfassend ist sein Buch über die Chemie, Biologie und Anwen-

dung der Makrolid-Antibiotica. Es ist ihm gelungen, eine Reihe von namhaften Autoren um sich zu scharen, so daß er den Inhalt des Buches weit über sein eigenes Arbeitsgebiet hinaus bis hin zur Anwendung von Makroliden in der Human- und Tiermedizin ausdehnen konnte.

Gut die Hälfte des Buches ist den klassischen Makroliden des Erythromycin- und des Carbomycin-Typs gewidmet, derjenigen Untergruppe der Makrolide also, die die breiteste medizinische Anwendung gefunden hat. Die Kapitel über Aufklärung der Konstitution und Konfiguration, über chemische Modifikationen und Struktur-Wirkungs-Beziehungen sowie über Regulation und Genetik der Makrolid-Produktion sind wohlfundiert und enthalten umfangreiche Literaturverzeichnisse. Besonders eingehend wird die Totalsynthese von Makroliden von *S. Masamune* beschrieben. Dem von *J. W. Corcoran* verfaßten Kapitel über Wirkungsweise und Resistenzmechanismen liegt ein leicht faßliches Modell der Struktur und Funktionsweise von Ribosomen zugrunde. Dieser Abschnitt läßt erahnen, wieviel die biochemische und molekularbiologische Grundlagenforschung dem Einsatz von Antibiotica zu verdanken hat. Die Abschnitte über Makrolide in der klinischen (*I. Nakayama*) und veterinärmedizinischen Praxis (*R. C. Wilson*) mögen für den Mediziner etwas zu summarisch dargestellt sein. Dem Chemiker und Biochemiker geben sie aber einen wertvollen Überblick über die Anwendung der Makrolid-Antibiotica.

Ein zweiter, beträchtlicher Teil des Buches ist den fungiciden Polyen-Makroliden gewidmet, von denen ebenfalls einige (z. B. Amphotericin B, Nystatin) eine, wenn auch beschränkte, Anwendung in der Medizin gefunden haben. Dieser Teil ist ähnlich gegliedert wie der erste und verdankt seine Vollständigkeit der Mitarbeit von *H. Tanaka* (Struktur und fungicide Wirkung), *J. F. Martin* (Biosynthese, Regulation und Genetik), *E. F. Gale* (Wirkungsweise und Resistenzmechanismen) und *C. P. Schaffner* (klinische Praxis).

Um den Umfang des Buches nicht zu sehr anwachsen zu lassen, mußten die „makrolid-ähnlichen“ Antibiotica aus Actinomyceten wesentlich konzentrierter behandelt werden, obwohl zu diesen Entdeckungen aus neuerer Zeit eine Reihe von biogenetisch und strukturell hochinteressanten Verbindungen gehört wie z. B. Chlorothricin und Nargenicin, sowie fungicid und cytotoxisch hochaktive Stoffwechselprodukte wie die Oligomycine, Venturicidine und Concanamycine. Über ein gutes Literaturverzeichnis wird dem Leser aber auch zu diesen Verbindungen der Einstieg ermöglicht. Dasselbe gilt für die zahlreichen Makrolide aus Pilzen mit recht verschiedenartigen biologischen Wirkungen sowie für Makrodiolide (z. B. das borhaltige Boromycin) und Makrotetrolide, die Alkalimetall-Ionen spezifisch komplexieren. Den Avermectinen und Milbemycinen da-