

Erwin Schrödinger

# Was ist Leben?

Die lebende Zelle mit den Augen  
des Physikers betrachtet

Aus dem Englischen von L. Mazurcak  
Einführung von Ernst Peter Fischer

Mit 12 Abbildungen und 4 Tafeln

Piper München Zürich

# Inhaltsverzeichnis

Ernst Peter Fischer	
»Was ist Leben?« – mehr als vierzig Jahre später	9
Vorwort	29
Erstes Kapitel: <i>Der Lösungsversuch des klassischen Physikers</i>	31
1. Allgemeiner Charakter und Ziel unserer Untersuchung S. 31 – 2. Die statistische Physik – Der grundlegende Unterschied im Aufbau S. 32 – 3. Der Lösungsversuch des unvoreingenommenen Physikers S. 35 – 4. Warum sind die Atome so klein S. 36 – 5. Das Funktionieren eines Organismus verlangt exakte physikalische Gesetze S. 39 – 6. Physikalische Gesetze beruhen auf der Atomstatistik und sind daher nur annäherungsweise genau S. 41 – 7. Ihre Genauigkeit beruht auf der großen Zahl der beteiligten Atome. Erstes Beispiel (Paramagnetismus) S. 41 – 8. Zweites Beispiel (Brownsche Bewegung, Diffusion) S. 44 – 9. Drittes Beispiel (Grenzen der Meßgenauigkeit) S. 49 – 10. Die $\sqrt{n}$ -Regel S. 50	
Zweites Kapitel: <i>Der Vererbungsmechanismus</i>	53
11. Die Erwartung des klassischen Physikers ist keineswegs selbstverständlich; sie ist sogar falsch S. 53 – 12. Der Code der Vererbung (Die Chromosomen) S. 55 – 13. Körperwachstum durch Zellteilung (Mitose) S. 57 – 14. Bei der Zellteilung verdoppelt sich jedes Chromosom S. 58 – 15. Reduktionsteilung (Meiose) und Befruchtung S. 59 – 16. Haploide Individuen S. 61 –	

17. Die hervorragende Bedeutung der Reduktionsteilung S. 63 – 18. »Crossing over«. Sitz der Merkmale S. 64 – 19. Die maximale Größe eines Gens S. 68 – 20. Kleine Zahlen S. 69 – 21. Die Beständigkeit S. 70

Drittes Kapitel: *Mutationen*

72

22. »Sprungartige« Mutationen – das Wirkungsgebiet der natürlichen Zuchtwahl S. 72 – 23. Sie lassen sich rein züchten, d.h. sie werden vollständig vererbt S. 75 – 24. Lokalisierung, Rezessivität und Dominanz S. 76 – 25. Ein wenig Fachsprache S. 79 – 26. Die schädliche Wirkung der Inzucht S. 81 – 27. Allgemeine und historische Bemerkungen S. 83 – 28. Die Mutation ist notwendigerweise ein seltes Ereignis S. 84 – 29. Durch Röntgenstrahlen hervorgerufene Mutationen S. 85 – 30. Erstes Gesetz: Die Mutation ist ein Einzelereignis S. 86 – 31. Zweites Gesetz: Die Lokalisierung des Ereignisses S. 87

Viertes Kapitel: *Das quantenmechanische Beweismaterial*

91

32. Die klassische Physik vermag die Beständigkeit nicht zu erklären S. 91 – 33. Die Quantentheorie vermag sie zu erklären S. 93 – 34. Die Quantentheorie – Unstetigkeiten – Quantensprünge S. 94 – 35. Moleküle S. 96 – 36. Ihre Stabilität ist von der Temperatur abhängig S. 97 – 37. Mathematisches Zwischenspiel S. 98 – 38. Erste Berichtigung S. 99 – 39. Zweite Berichtigung S. 101

Fünftes Kapitel: *Besprechung und Prüfung von Delbrück's Modell*

104

40. Das allgemeine Bild der Erbsubstanz S. 104 – 41. Die Einzigartigkeit des Bildes S. 105 – 42. Einige überlieferte falsche Auffassungen S. 106 – 43. Verschiedene »Zustände« der Materie S. 108 – 44. Der wirklich bedeut-

same Unterschied S. 109 – 45. Der aperiodisch feste Körper S. 110 – 46. Die Mannigfaltigkeit des in den Miniaturcodes komprimierten Inhalts S. 111 – 47. Vergleich mit Tatsachen: Stabilitätsgrad; Diskontinuität der Mutationen S. 112 – 48. Stabile Gene durch natürliche Zuchtwahl S. 114 – 49. Die bisweilen geringere Stabilität von Mutanten S. 115 – 50. Die Temperatur beeinflußt unstabile Gene weniger als stabile S. 115 – 51. Wie Röntgenstrahlen die Mutation hervorrufen S. 116 – 52. Ihre Wirkung hängt nicht von einer spontanen Mutabilität ab S. 118 – 53. Umkehrbare Mutationen S. 118

Sechstes Kapitel: *Ordnung, Unordnung und Entropie* 120

54. Eine bemerkenswerte allgemeine Schlußfolgerung aus dem Modell S. 120 – 55. Ordnung beruht auf Ordnung S. 121 – 56. Die lebende Materie entzieht sich dem Abfall in den Gleichgewichtszustand S. 123 – 57. Sie ernährt sich aus »negativer Entropie« S. 124 – 58. Was ist Entropie? S. 126 – 59. Die statistische Bedeutung der Entropie S. 127 – 60. Das Ordnungsgefüge wird durch Entnahme von »Ordnung« aus der Umwelt aufrechterhalten S. 128 – Anmerkung zu Kapitel VI S. 130

Siebentes Kapitel: *Beruht Leben auf physikalischen Gesetzen?*

133

61. Im Organismus sind neue Gesetze zu erwarten S. 133 – 62. Ein Blick auf die biologische Sachlage S. 134 – 63. Zusammenfassung der physikalischen Sachlage S. 135 – 64. Der auffallende Gegensatz S. 137 – 65. Zwei Arten, Ordnung zu erzeugen S. 138 – 66. Das neue Prinzip ist der Physik nicht fremd S. 140 – 67. Der Gang einer Uhr S. 142 – 68. Das Uhrwerk ist doch statistisch S. 143 – 69. Das Nernstsche Theorem S. 144 – 70. Die Pendeluhr befindet sich im Grunde am absoluten Null-

punkt S. 145 – 71. Die Beziehung zwischen Uhrwerk  
und Organismus S. 146

Epilog	148
<i>Über Determinismus und Willensfreiheit</i>	148
Anmerkung zum Epilog S. 154	
Personenregister	155