

Ilya Prigogine

---

**VOM SEIN  
ZUM WERDEN**

*Zeit und Komplexität  
in den Naturwissenschaften*



R. Piper & Co. Verlag  
München Zürich

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	11
<b>Kapitel I</b>	
<b>Die Zeit in der Physik</b>	
1. Die dynamische Beschreibung und ihre Grenzen	23
2. Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik	27
3. Die molekulare Beschreibung irreversibler Prozesse	31
4. Zeit und Dynamik	34
<b>Kapitel II</b>	
<b>Physik des Seins – die klassische Dynamik</b>	
1. Einführende Bemerkungen	37
2. Hamiltonsche Bewegungsgleichungen und Ensembletheorie	39
3. Operatoren	44
4. Gleichgewichts-Ensembles	46
5. Integrierte Systeme	47
6. Ergodische Systeme	50
7. Dynamische Systeme, die weder integrierbar noch ergodisch sind	55
8. Schwache Stabilität	60
<b>Kapitel III</b>	
<b>Physik des Seins – die Quantenmechanik</b>	
1. Einführung	63
2. Operatoren und Komplementarität	65
3. Quantisierungsregeln	68
4. Die zeitliche Änderung in der Quantenmechanik	73
5. Die Ensembletheorie in der Quantenmechanik	76
6. Die Schrödinger- und die Heisenberg-Darstellung	79
7. Gleichgewichts-Ensembles	81
8. Das Meßproblem	82
9. Zerfall instabiler Teilchen	84
10. Ist die Quantenmechanik vollständig?	87

## Kapitel IV

### Physik des Werdens – die Thermodynamik

1. Die Entropie und das Boltzmannsche Ordnungsprinzip	89
2. Lineare Thermodynamik des Nichtgleichgewichts	96
3. Thermodynamische Stabilitätstheorie	102
4. Anwendung auf chemische Reaktionen	106

## Kapitel V

### Physik des Werdens – die Selbstorganisation

1. Stabilität, Verzweigungen und Katastrophen	115
2. Verzweigungen: der Brüsselator	121
3. Ein lösbares Modell für die Verzweigung	126
4. Kohärente Strukturen in Chemie und Biologie	131
5. Ökologie	134
6. Abschließende Bemerkungen	142

## Kapitel VI

### Physik des Werdens – Nichtgleichgewichts-Schwankungen und Ordnung aus dem Chaos

1. Das Versagen des Gesetzes der großen Zahlen	143
2. Chemische Spiele	146
3. Nichtgleichgewichts-Phasenübergänge	150
4. Kritische Schwankungen in Nichtgleichgewichts-Systemen	154
5. Oszillationen und Brechung der Zeitsymmetrie	155
6. Grenzen der Komplexität	157
7. Einfluß des Rauschens der Umgebung	159
8. Abschließende Bemerkungen	162

## Kapitel VII

### Brückenschlag vom Sein zum Werden – die kinetische Theorie

1. Einleitung	163
2. Die kinetische Theorie Boltzmanns	167
3. Korrelationen und die Entropie der Wiederverjüngung	173
4. Gibbssche Entropie	178
5. Das Poincaré-Misra-Theorem	180
6. Eine neue Komplementarität	181

## Kapitel VIII

### Brückenschlag vom Sein zum Werden – die mikroskopische Theorie irreversibler Prozesse

- |  |     |
|--|-----|
| 1. Die Irreversibilität und die Erweiterung des Formalismus der klassischen und der Quantenmechanik    | 186 |
| 2. Eine neue Transformationstheorie  | 188 |
| 3. Die Konstruktion des Entropie-Operators und die Transformationstheorie – die Bäcker-Transformation  | 194 |
| 4. Entropie-Operator und die Poincarésche Katastrophe  | 198 |
| 5. Die mikroskopische Interpretation des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik – Kollektive Anregungen | 201 |
| 6. Teilchen und Dissipation – eine Nicht-Hamiltonsche Mikrowelt  | 204 |

## Kapitel IX

### Die Gesetze des Wandels

- |                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 1. Einsteins Dilemma                | 208 |
| 2. Zeit und Veränderung             | 210 |
| 3. Zeit und Entropie als Operatoren | 213 |
| 4. Niveaus der Beschreibung         | 215 |
| 5. Vergangenheit und Zukunft        | 219 |
| 6. Eine offene Welt                 | 221 |

Anhang A: Zeit- und Entropie-Operatoren für die Bäcker-Transformation 224

Anhang B: Kinetische Beschreibung der Resonanzen 237

Anhang C: Entropie, Messung und Überlagerungsprinzip in der Quantenmechanik 245

Anhang D: Kohärenz und Zufall in der Quantentheorie 252

Literaturverzeichnis 258