

# Inhalt

**Danksagung IX**

**Vorwort XI**

- 1 Einleitung 1**
  - 1.1 Eine Mücke ist Nanotechnologie 1
  - 1.2 Was ist Nano? 3
  - 1.3 Milli–Mikro–Nano 5
  - 1.4 Es gibt viel Platz nach unten 6
  - 1.5 Bottom-up und top-down 7
  - 1.6 Die seltsamen Naturgesetze der Nanowelt 9
  - 1.7 Nanotechnologie heute 11
  - 1.8 Gefahren 13
  - 1.9 Medizinische Anwendungen 14
  - 1.10 Zukunftsvisionen 16
  
- 2 Die Geschichte 19**
  - 2.1 Die Idee einer kontinuierlichen Entwicklung 21
  - 2.2 Die Steinzeit 23
  - 2.3 Ägypter und Römer 25
  - 2.4 Das Mittelalter 27
  - 2.5 Die industrielle Revolution 28
  - 2.6 Mikrotechnologie 30
  - 2.7 Nanotechnologie 32
  - 2.8 Die historische Entwicklung im Überblick 33
  
- 3 Die Natur 37**
  - 3.1 Kopfüber an der Decke umhergehen 37
  - 3.2 Selbstreinigende Oberflächen 40
  - 3.3 Alle Lebewesen bestehen aus Zellen 42
  - 3.4 Ein Blick in das Innere der Zelle 44

**VII**

- 3.5 Die Zelle als Nanofabrik 47
- 3.6 Der Vorsprung der Natur 48
- 3.7 Der Mensch baut top-down, die Natur bottom-up 49
- 3.8 Die Bausteine der Zelle 49
- 3.9 Die Zellwand 50
- 3.10 Das Zellgerüst 51
- 3.11 Proteine 52
- 3.12 Die Erbsubstanz 53
- 3.13 Die Synthese von Proteinen 54
- 3.14 Wie eine Zelle Nanomaschinen baut 56
- 3.15 Was ist Leben? 56
- 3.16 Gefährliche Nanomaschinen: Viren 58
  
- 4 Die Gesetze 61**
  - 4.1 Was ist ein Atom? 61
  - 4.2 Das Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis 62
  - 4.3 Die Temperatur 65
  - 4.4 Die Nanowelt der Quanten 69
  - 4.5 Teilchen und Wellen 70
  - 4.6 Was ist Licht? 71
  - 4.7 Teilchen sind Wellen 74
  - 4.8 Reale Science Fiction: Wahrscheinlichkeitswellen 75
  - 4.9 Der Tunneleffekt 76
  - 4.10 Die Unschärferelation 78
  - 4.11 Neue Eigenschaften in der Nanowelt 80
  - 4.12 Wellen sind Teilchen 80
  
- 5 Werkzeuge 83**
  - 5.1 Das Lichtmikroskop 86
  - 5.2 Das Elektronenmikroskop 91
  - 5.3 Das Rastertunnelmikroskop 97
  - 5.4 Die Geschichte der Photolithographie 103
  - 5.5 Fertigung von Bauelementen mit Photolithographie 108
  - 5.6 Der Waferstepper 109
  - 5.7 Elektronenstrahl-Lithographie 114
  - 5.8 Materialbearbeitung mit Ionenstrahlen 115
  
- 6 Nanopartikel 119**
  - 6.1 Die Herstellung von Nanopartikeln 121
  - 6.2 Neue Materialien 122

- 6.3 Feinstaub 124
  - 6.4 Sulfat-Aerosole 129
  - 6.5 Kolloide 131
  - 6.6 Cluster: Neue Eigenschaften im 1-Nanometer-Bereich 135
  - 6.7 Drei Ursachen für neue Eigenschaften 138
  - 6.8 Neue Eigenschaften: 1. Die geometrische Struktur 138
  - 6.9 Fullerene 144
  - 6.10 Nanotubes 147
  - 6.11 Neue Eigenschaften: 2. Reaktive Oberflächenatome 151
  - 6.12 Neue Eigenschaften: 3. Quanteneffekte 154
  - 6.13 Magische Zahlen 156
- 7 Anwendungen 161**
- 7.1 Nanopartikel in Verbundmaterialien 161
  - 7.2 Nanoton in PET-Flaschen 165
  - 7.3 Sonnencremes mit hohen Schutzfaktoren 166
  - 7.4 Antibakterielle Silber-Nanopartikel 167
  - 7.5 Selbstreinigende Oberflächen 168
  - 7.6 Superkondensatoren 169
  - 7.7 Fasern aus Kohlenstoff-Nanotubes 172
  - 7.8 Nanosiebe 173
  - 7.9 Krebstherapie 176
  - 7.10 Drug-Delivery 178
  - 7.11 Molekulare Elektronik 178
- 8 Computer 181**
- 8.1 Digitalisierung 181
  - 8.2 Der Grundbaustein eines Computers 182
  - 8.3 Die gute alte Zeit: Analoge Datenverarbeitung 186
  - 8.4 Analog-Digital-Wandler 187
  - 8.5 Digital-Analog-Wandler 188
  - 8.6 Speichermedien: CD, Festplatte und USB-Stick 189
  - 8.7 Die Datenauswertung 195
  - 8.8 Wie real ist Feynmans Vision heute? 195
  - 8.9 Vergleich Computer – Gehirn 197

- 8.10 Das Mooresche Gesetz 198
- 8.11 Was kommt als Nächstes? 200
- 8.12 Was können Computer? 201

## 9 Gefahren 203

- 9.1 Unrealistische Gefahren 203
- 9.2 Reale Gefahren 205
- 9.3 Konventionelle Schadstoffe 206
- 9.4 Risikoabschätzung 209
- 9.5 Eintrittspforten in den Körper 210
- 9.6 Die Lunge 211
- 9.7 Ein neues Fachgebiet: Nanotoxikologie 214
- 9.8 Untersuchungsmethoden 216
- 9.9 Die Pionierzeit der Nanotoxikologie 217
- 9.10 Der Stand des Wissen: Eine Übersicht 218
- 9.11 Siliziumdioxid 218
- 9.12 Titandioxid 220
- 9.13 Zinkoxid 222
- 9.14 Aluminiumoxid 223
- 9.15 Silber 224
- 9.16 Gold 225
- 9.17 Industrieruß (Carbon Black) 227
- 9.18 Fullerene 228
- 9.19 Kohlenstoff-Nanotubes 229
- 9.20 Zusammenfassung 231

## 10 Visionen 233

- 10.1 Produktivität und Ressourcen 234
- 10.2 Medizin 234
- 10.3 Computer 240
- 10.4 Militärische Nanovisionen 244
- 10.5 Die technologische Singularität 246
- 10.6 Nanoassembler 247
- 10.7 Klimakontrolle 248

## 11 Zusammenfassung 251

## 12 Referenzen 255

## Stichwortverzeichnis 263