

## Inhaltsverzeichnis

**Geleitwort** *IX*

**Vorwort** *XI*

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>1</b> | <b>Grundlagen</b>                          | <i>1</i>   |
| 1.1      | Geschichte                                 | <i>1</i>   |
| 1.2      | Einleitung                                 | <i>4</i>   |
| 1.2.1    | Begriffe                                   | <i>4</i>   |
| 1.2.2    | Der Polymerisationsgrad                    | <i>5</i>   |
| 1.2.3    | Nomenklatur                                | <i>7</i>   |
| 1.3      | Aufbau von Makromolekülen                  | <i>9</i>   |
| 1.3.1    | Abfolge der Wiederholungseinheiten         | <i>9</i>   |
| 1.3.2    | Topologie                                  | <i>9</i>   |
| 1.3.3    | Homo- oder Copolymere                      | <i>10</i>  |
| 1.3.4    | Isomerie                                   | <i>12</i>  |
| 1.4      | Molare Massen                              | <i>23</i>  |
| 1.5      | Eigenschaften von Polymeren als Festkörper | <i>28</i>  |
|          | Literatur                                  | <i>30</i>  |
| <br>     |  |            |
| <b>2</b> | <b>Synthese von Polymeren</b>              | <i>33</i>  |
| 2.1      | Überblick und Einteilung                   | <i>33</i>  |
| 2.1.1    | Mechanismen der Polymerisation             | <i>33</i>  |
| 2.1.2    | Thermodynamische Voraussetzungen           | <i>34</i>  |
| 2.2      | Kettenpolymerisation                       | <i>45</i>  |
| 2.2.1    | Teilreaktionen                             | <i>45</i>  |
| 2.2.2    | Lebende Polymerisation                     | <i>47</i>  |
| 2.2.3    | Abbruch, Übertragung und langsamer Start   | <i>51</i>  |
| 2.3      | Ionische Polymerisationen                  | <i>63</i>  |
| 2.3.1    | Anionische Polymerisation                  | <i>65</i>  |
| 2.3.2    | Kationische Polymerisation                 | <i>77</i>  |
| 2.4      | Radikalische Polymerisation                | <i>101</i> |
| 2.4.1    | Allgemeines                                | <i>101</i> |
| 2.4.2    | Start                                      | <i>102</i> |
| 2.4.3    | Wachstum                                   | <i>105</i> |
| 2.4.4    | Abbruch                                    | <i>108</i> |

VI | *Inhaltsverzeichnis*

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 2.4.5    | Stationärer Zustand und Polymerisationsgrad                 | 110        |
| 2.4.6    | Übertragung und Polymerisationsgrad                         | 116        |
| 2.4.7    | Kontrollierte radikalische Polymerisation                   | 136        |
| 2.4.8    | Polymerisation in heterogenen Systemen                      | 142        |
| 2.5      | Polyinsertion   | 145        |
| 2.5.1    | Einleitung  | 145        |
| 2.5.2    | Cossee-Arlman-Mechanismus                                   | 147        |
| 2.5.3    | Orientierung der Monomere                                   | 148        |
| 2.5.4    | Ziegler-Natta-Katalysatoren                                 | 154        |
| 2.5.5    | Metallocen-Katalysatoren                                    | 161        |
| 2.5.6    | Metathese   | 173        |
| 2.6      | Polyaddition und Polykondensation                           | 178        |
| 2.6.1    | Einleitung  | 178        |
| 2.6.2    | Reaktanten  | 181        |
| 2.6.3    | Kinetik der Stufenreaktion                                  | 184        |
| 2.6.4    | Polymerisationsgrad und Verteilung                          | 188        |
| 2.6.5    | Verzweigte und vernetzte Systeme                            | 197        |
| 2.7      | Copolymerisation  | 203        |
| 2.7.1    | Synthese von Copolymeren                                    | 203        |
| 2.7.2    | Statistische Copolymere                                     | 205        |
| 2.7.3    | Block- und Pfropfcopolymere                                 | 225        |
| 2.8      | Reaktionen von Polymeren                                    | 234        |
| 2.8.1    | Polymeranaloge Reaktionen                                   | 234        |
| 2.8.2    | Abbaureaktionen   | 239        |
|          | Literatur   | 241        |
| <b>3</b> | <b>Eigenschaften von Polymeren in Lösung</b>                | <b>255</b> |
| 3.1      | Modelle zur Beschreibung der Abmessungen von Makromolekülen | 255        |
| 3.1.1    | Einleitung  | 255        |
| 3.1.2    | Statistisches Knäuel und flexible Kette                     | 257        |
| 3.1.3    | Starres Stäbchen und wurmartige Kette                       | 266        |
| 3.1.4    | Trägheitsradius   | 271        |
| 3.2      | Thermodynamik von Polymerlösungen                           | 275        |
| 3.2.1    | Einführung  | 275        |
| 3.2.2    | Ideale Lösung   | 275        |
| 3.2.3    | Reguläre Lösung   | 285        |
| 3.2.4    | Verhalten idealer Mischungen                                | 300        |
| 3.2.5    | Verhalten regulärer Mischungen                              | 308        |
| 3.2.6    | Phasendiagramme regulärer Mischungen                        | 320        |
| 3.2.7    | Grenzen des Flory-Huggins-Modells und Exzessgrößen          | 326        |
| 3.2.8    | Virialkoeffizienten und Qualität des Lösungsmittels         | 329        |
| 3.2.9    | Hydrodynamischer Radius                                     | 335        |
| 3.2.10   | Konzentrationsregime von Polymeren in Lösung                | 338        |
| 3.3      | Verteilungen  | 342        |
| 3.3.1    | Anzahl, Masse und Anteil                                    | 342        |
| 3.3.2    | Mittelwerte und Gewichte                                    | 354        |

- 3.3.3 Breite der Verteilung 367
- 3.4 Methoden zur Bestimmung der molaren Massen 371
  - 3.4.1 Einleitung 371
  - 3.4.2 Bestimmung der Endgruppen 371
  - 3.4.3 Osmose 375
  - 3.4.4 Lichtstreuung 384
  - 3.4.5 Ultrazentrifuge 397
  - 3.4.6 Viskosität 415
  - 3.4.7 Methoden zur Bestimmung der Verteilung 423
  - 3.4.8 Zusammenfassung und Vergleich 437
  - Literatur 439
  
- 4 Eigenschaften von Polymeren als Festkörper 445**
  - 4.1 Thermische Eigenschaften 445
    - 4.1.1 Einleitung 445
    - 4.1.2 Schmelzen und Kristallisieren 446
    - 4.1.3 Der Glasübergang 450
    - 4.1.4 Kristallisation bei Polymeren 457
    - 4.1.5 Experimentelle Bestimmung der Phasenübergänge 458
  - 4.2 Mechanische Eigenschaften 465
    - 4.2.1 Elastisches und plastisches Verhalten 465
    - 4.2.2 Elastische Verformung 465
    - 4.2.3 Plastisches Fließen 472
    - 4.2.4 Elastizität und Viskosität 480
    - 4.2.5 Kautschukelastizität 489
  - 4.3 Grundlagen der Streuung 495
    - 4.3.1 Einleitung 495
    - 4.3.2 Weitwinkelstreuung 507
    - 4.3.3 Kleinwinkelstreuung 514
    - 4.3.4 Zusammenfassung 521
  - 4.4 Mikroskopische Verfahren 522
    - 4.4.1 Einleitung 522
    - 4.4.2 Elektronenmikroskopie 523
    - 4.4.3 Rasterelektronenmikroskopie (REM) 524
    - 4.4.4 Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) 528
    - 4.4.5 Rasterkraftmikroskopie (AFM) 533
    - 4.4.6 Zusammenfassung 535
    - Literatur 536
  
- 5 Herstellung und Verwendung von Polymeren als Werkstoffe 539**
  - 5.1 Einleitung 539
  - 5.2 Thermoplaste 541
    - 5.2.1 Amorphe Thermoplaste 541
    - 5.2.2 Semikristalline Thermoplaste 547
  - 5.3 Duroplaste (Harze) 563
    - 5.3.1 Epoxidharz (EP) 563
    - 5.3.2 Ungesättigtes Polyesterharz (UP) und Alkydharze 567

VIII | *Inhaltsverzeichnis*

- 5.3.3 Phenol-Formaldehydharz (PF) 568
- 5.3.4 Harnstoff- und Melamin-Formaldehydharz (UF und MF) 572
- 5.3.5 Polyurethan (PUR) 574
- 5.3.6 Polyimid (PI) 577
- 5.4 Elastomere 579
  - 5.4.1 Naturkautschuk („natural rubber“, NR) und Synthetikautschuk (Isopren-Rubber, IR) 579
  - 5.4.2 Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) 581
  - 5.4.3 Acrylnitril-Butadien-Kautschuk („nitrile-butadiene rubber“, NBR) 582
  - 5.4.4 Chloropren-Kautschuk („chloroprene rubber“, CR) 583
  - 5.4.5 Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) 583
  - 5.4.6 Polysiloxane/Siliconkautschuk (Q) 584
- 5.5 Additive und Hilfsmittel 586
  - 5.5.1 Gleitmittel 586
  - 5.5.2 Füll- und Verstärkungstoffe 587
  - 5.5.3 Weichmacher 588
  - 5.5.4 Flammenschutzmittel 589
  - 5.5.5 Färbemittel 590
  - Literatur 591
  
- 6 Ausblick: Dendrimere als aktuelles Gebiet der Forschung 595**
  - 6.1 Grundlagen 595
  - 6.2 Synthese 596
    - 6.2.1 Divergente Synthese 597
    - 6.2.2 Konvergente Synthese 601
  - 6.3 Eigenschaften der Dendrimere 611
  - 6.4 Anwendungen in der Pharmazie 614
    - 6.4.1 Wirkstoff-Freisetzung 614
    - 6.4.2 Einsatz in bildgebenden Verfahren 615
    - 6.4.3 Einsatz als Mikrobiozide 615
  - 6.5 Zusammenfassung 619
  - Literatur 619
  
- Stichwortverzeichnis 623**

