

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Autorenverzeichnis</b>	<b>XV</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2 Struktur der Makromoleküle</b>	<b>3</b>
2.1 Grundbegriffe	3
2.1.1 Klassifizierung der Makromoleküle	4
2.1.2 Nomenklatur	5
2.1.3 Polymerisationsgrad und Molmasse	15
2.1.4 Differentielle und integrale Verteilungen	20
2.2 Konstitution	23
2.2.1 Konstitutionsisomerie	24
2.2.2 Copolymere	25
2.2.3 Molekularstruktur	28
2.3 Konfiguration	34
2.3.1 Definition	34
2.3.2 Monotaktische Polymere	35
2.3.3 Ditaktische Polymere	37
2.3.4 Ataktische Polymere	38
2.3.5 <i>Cis-trans</i> -Isomerie	38
2.4 Konformation	39
2.4.1 Einleitung	39
2.4.2 Mikrokonformationen	40
2.4.3 Makrokonformationen	43
2.4.4 Konformationsstatistik	44
<b>3 Synthese von Makromolekülen, Polyreaktionen</b>	<b>61</b>
3.1 Kettenwachstumsreaktionen	63
3.1.1 Radikalische Polymerisation	67
3.1.2 Ionische Polymerisation	92
3.1.3 Koordinative Polymerisation	115

3.1.4	Gruppentransferpolymerisation	130
3.1.5	Copolymerisation	131
3.2	Stufenwachstumsreaktionen	150
3.2.1	Polykondensation	154
3.2.2	Polyaddition	175
3.2.3	Dendrimere	180
3.2.4	<i>In vitro</i> -Synthese von Biopolymeren	182
3.3	Organische Polymere mit anorganischen Gruppen	190
3.3.1	Polyorganosiloxane (Silikone)	192
3.3.2	Polysilane	194
3.3.3	Polycarbosilane und Polycarbosiloxane	195
3.3.4	Polygermane	195
3.3.5	Polymere abgeleitet von Zinn, Blei und weiteren Elementen der 4. Gruppen	196
3.3.6	Bor enthaltende Polymere	197
3.3.7	Aluminium enthaltende Polymere	197
3.3.8	Stickstoff enthaltende ungewöhnliche Polymere	198
3.3.9	Phosphor enthaltende Polymere	198
3.3.10	Arsen, Antimon und Wismut enthaltende Polymere	200
3.3.11	Selen und Tellur enthaltende Polymere	200
3.3.12	Polymere mit Übergangsmetallen in der Kette und Koordinationspolymere	201
3.4	Polyreaktionstechnik	204
3.4.1	Lösungspolymerisation	206
3.4.2	Fällungspolymerisation	207
3.4.3	Substanzpolymerisation	208
3.4.4	Gasphasenpolymerisation	211
3.4.5	Polymerisation in fester Phase	212
3.4.6	Polymerisation in Einschlussverbindungen	212
3.4.7	Suspensionspolymerisation	213
3.4.8	Ermulsionspolymerisation	215
3.4.9	Polymerisation monomolekularer Schichten nach <i>Langmuir-Blodgett</i>	218
3.4.10	Interphasenpolykondensation (Grenzflächenpolykondensation)	219
4	Das Makromolekül in Lösung	221
4.1	Verteilungsfunktionen	221
4.1.1	Die Kettenendenabstandsverteilung	221
4.1.2	Verallgemeinerung auf drei Dimensionen	224
4.1.3	Segmentdichteverteilung	228
4.2	Thermodynamik von Polymerlösungen	233
4.2.1	Ideale und reale Lösungen	233

4.2.2	Das Gittermodell und die <i>Flory-Huggins</i> Theorie	238
4.2.3	Die Löslichkeitstheorie	249
4.2.4	Phasengleichgewichte	254
4.2.5	Theorie des ausgeschlossenen Volumens	263
4.2.6	Scaling-Theorie	280
4.2.7	Vernetzte Makromoleküle und Kautschuk-Elastizität	284
4.2.8	Zustandsgleichungen	298
4.3	Charakterisierung von Makromolekülen	302
4.3.1	Kolligative Eigenschaften	303
4.3.2	Ultrazentrifugation	308
4.3.3	Klassische Streumethoden	321
4.3.4	Dynamische Lichtstreuung	353
4.3.5	Transportprozesse	359
4.3.6	Chromatographische Verfahren	389
4.3.7	Endgruppenanalyse	400
4.3.8	Spektroskopische Methoden	401
4.3.9	Kernresonanz-Spektroskopie (NMR)	409
4.3.10	Elektrische Doppelbrechung und der Rotations-Diffusionskoeffizient	419
4.3.11	Feldfluss-Fraktionierung (FFF)	421
4.3.12	Bestimmung der Kettenverzweigung von Polymeren	425
5	<b>Das Makromolekül als Festkörper und als Schmelze</b>	429
5.1	Strukturen	429
5.1.1	Klassifizierung	429
5.1.2	Kristalline Polymere	430
5.1.3	Amorphe Polymere	452
5.2	Thermische Eigenschaften und thermische Umwandlungen	454
5.2.1	Phasenübergänge erster und zweiter Art	454
5.2.2	Messmethoden zur Ermittlung thermischer Umwandlungen	455
5.2.3	Thermische Größen	458
5.2.4	Glasübergänge	463
5.2.5	Schmelzen	470
5.2.6	Andere Umwandlungstemperaturen	477
5.3	Mechanische Eigenschaften, Rheologie	478
5.3.1	Dehnung und Dehnungsmodul	479
5.3.2	<i>Poissonsche</i> Zahl	479
5.3.3	Kompression und Kompressionsmodul	481
5.3.4	Scherung und Schubmodul	481
5.3.5	Die Konstanten <i>E</i> , <i>G</i> , <i>K</i> und die Schallgeschwindigkeit	482
5.3.6	Viskoelastizität und Zeitabhängigkeit	485
5.3.7	Das <i>Boltzmannsche</i> Superpositionsprinzip	490

5.3.8	Mechanisch dynamische Prozesse . . . . .	492
5.3.9	Das Torsionspendel . . . . .	493
5.3.10	Die Frequenzabhängigkeit der Elastizitätskonstanten $E_R$ , $E_I$ und $\tan \delta$ . . . . .	497
5.3.11	Die Temperaturabhängigkeit von $E$ für $\omega = 0$ . . . . .	499
5.3.12	Das Zeit-Temperatur Superpositionsprinzip . . . . .	501
5.3.13	Molekulare Interpretation des Elastizitätsmoduls . . . . .	504
5.3.14	Anelastisches Verhalten . . . . .	508
5.3.15	Der Teleskop-Effekt . . . . .	510
5.3.16	Die nominelle Spannung . . . . .	512
5.3.17	Bruchvorgänge . . . . .	513
5.3.18	Schlag- und Kerbschlagzähigkeit . . . . .	516
5.3.19	Spannungskorrosion . . . . .	519
5.3.20	Zeitstandzugfestigkeiten und Ermüdungsbrüche . . . . .	519
5.3.21	Härte . . . . .	521
5.3.22	Reibung . . . . .	524
5.3.23	Abrieb . . . . .	525
5.4	Optische und elektrische Eigenschaften . . . . .	526
5.4.1	Optische Eigenschaften . . . . .	526
5.4.2	Elektrische Eigenschaften . . . . .	530
5.5	Makromolekulare Struktur und makroskopische Eigenschaften . . . . .	543
5.5.1	Mechanische und optische Eigenschaften . . . . .	543
5.5.2	Polymere als organische Halbleiter . . . . .	582
5.6	Verarbeitung von Makromolekülen . . . . .	591
5.6.1	Allgemeine Aspekte . . . . .	591
5.6.2	Modifizierung des Rohpolymers . . . . .	594
5.6.3	Verarbeitung der Thermoplaste und Duroplaste . . . . .	597
5.6.4	Verarbeitung der Elastomere . . . . .	623
5.6.5	Verarbeitung zu polymeren Verbundstoffen . . . . .	628
5.6.6	Oberflächenveredlung . . . . .	633
5.6.7	Verarbeitung zu Synthesefasern . . . . .	635
6	Qualitative Analyse von Makromolekülen . . . . .	643
6.1	Äußere Merkmale . . . . .	644
6.1.1	Aussehen, Farbe, Transparenz, Oberfläche . . . . .	644
6.1.2	Spannungs-Dehnungsverhalten . . . . .	644

6.2	Abtrennung von Hilfsstoffen	645
6.3	Qualitative Analysen	645
6.3.1	Beilsteinprobe auf Halogene	645
6.3.2	Brennprobe	645
6.3.3	Trockenes Erhitzen im Glührohr	646
6.3.4	Schmelzbereich	647
6.3.5	Nachweis von Heteroelementen	647
6.4	Löslichkeit von Polymeren	649
6.4.1	Homopolymere	649
6.4.2	Copolymere, Polymerblends	649
7	<b>Reaktionen an Makromolekülen</b>	651
7.1	Besonderheiten der Reaktionen an Makromolekülen	652
7.2	Polymeranaloge Reaktionen	654
7.3	Polysaccharidchemie	658
7.3.1	Cellulosechemie	658
7.3.2	Stärkechemie	659
7.4	Vernetzungen	660
7.5	Alterung und Alterungsschutz von Polymeren	664
7.5.1	Alterung von Polymeren	664
7.5.2	Alterungsschutz von Polymeren	680
8	<b>Verwertung von Kunststoffen</b>	685
8.1	Kunststoffe und Umwelt – der Lebensweg zählt	685
8.2	Abfallmanagement: Ziele & Rahmen – Strategien & Konzepte	688
8.2.1	Rechtlicher Rahmen	689
8.2.2	Strategien & Konzepte	690
8.3	Kunststoffabfälle sind Rohstoffe	691
8.3.1	Kunststoffe in Abfallströmen	691
8.3.2	Verwertung statt Deponierung	692
8.3.3	Littering	696
8.4	Abfallmanagement	697
8.4.1	Abfallerfassung	697
8.4.2	Abfallvorbehandlung	700
8.5	Kunststoffabfälle und Sekundärressourcen	703

---

<b>Abkürzungen von Polymeren</b> . . . . .	705
<b>Physikalische Größen</b> . . . . .	709
<b>Literatur</b> . . . . .	713
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	719