

# Inhalt

<b>Vorwort</b> zur 3. Auflage .....	V
<b>Vorwort</b> zur 1. Auflage .....	VI
<b>Einleitung</b> .....	VIII
<b>Autorenverzeichnis</b> .....	IX
<b>1 Grundlagen</b> .....	1
<b>1.1 Aufgabe einer Dichtung</b> .....	2
<b>1.2 Einflüsse auf eine Dichtung oder Dichtverbindung</b> .....	2
<b>1.3 Ursachen von Leckage</b> .....	4
<b>1.4 Typische Dichtungswerkstoffe</b> .....	9
<b>1.5 Einteilung der Dichtverbindungen</b> .....	10
<b>2 Angewandte Werkstoffe der Dichtungstechnik</b> .....	11
<b>2.1 Gummiwerkstoffe</b> .....	12
<b>2.1.1 Einführung</b> .....	12
<b>2.1.2 Polymere</b> .....	12
<b>2.1.2.1 Entropie und Energieelastizität</b> .....	14
<b>2.1.2.2 Glasübergangstemperatur</b> .....	14
<b>2.1.3 Kautschuke</b> .....	15
<b>2.1.3.1 Gruppe der Dienkautschuke</b> .....	16
<b>2.1.3.2 Olefin-Kautschuke</b> .....	17
<b>2.1.3.3 Siliconkautschuk</b> .....	18
<b>2.1.3.4 Thermoplastische Elastomere</b> .....	18
<b>2.1.4 Werkstoffeigenschaften</b> .....	19
<b>2.1.4.1 Mischungsaufbau</b> .....	19
<b>2.1.4.2 Werkstoffbeschreibung</b> .....	20
<b>2.1.5 Wechselwirkungen</b> .....	24
<b>2.1.5.1 Anforderungen</b> .....	24
<b>2.1.5.2 Werkstoffauswahl</b> .....	25
<b>2.2 Kunststoffe</b> .....	25
<b>2.2.1 Polytetrafluorethylen</b> .....	25
<b>2.2.1.1 Chemischer Aufbau</b> .....	29
<b>2.2.1.2 Strukturelle Beschaffenheit</b> .....	30
<b>2.2.2 Hexafluor-Ethylen-Propylen</b> .....	30
<b>2.2.3 Modifizierte PTFE-Werkstoffe</b> .....	31
<b>2.2.3.1 Art der Füllstoffe</b> .....	31
<b>2.2.4 Werkstoffeigenschaften</b> .....	33
<b>2.2.4.1 Verhalten bei Langzeitbeanspruchung</b> .....	34
<b>2.2.4.2 Thermische Eigenschaften</b> .....	34
<b>2.2.4.3 Dauergebrauchstemperaturen</b> .....	35
<b>2.2.4.4 Chemische Eigenschaften</b> .....	35
<b>2.2.4.5 Strahlenbeständigkeit</b> .....	37
<b>2.2.5 Mechanische Eigenschaften</b> .....	37

---

2.2.5.1	Adhäsionsverhalten .....	38
2.2.5.2	Gleitverhalten .....	38
2.2.5.3	Verschleißverhalten .....	38
2.2.5.4	Quenchen .....	39
2.2.5.5	Permeabilität .....	40
2.2.5.6	Physiologisches Verhalten .....	40
2.2.5.7	Verarbeitung von PTFE .....	40
2.2.6	Hochpolymere Dichtungswerkstoffe .....	42
2.2.6.1	Perfluor-Alkoxypolymer .....	42
2.2.6.2	Polytetrafluorethylen .....	43
2.2.6.3	Ethylen-Tetrafluorethylen .....	43
2.2.6.4	Polychlortrifluorethylen .....	43
2.2.6.5	Polyacetal .....	44
2.2.6.6	Polyamid .....	44
2.2.6.7	Ultra-hochmolekulares Polyethylen .....	45
2.2.6.8	Polyetheretherketone .....	45
2.2.7	Duroplaste .....	45
2.2.7.1	Gewebeverbundwerkstoffe .....	46
<b>2.3</b>	<b>Chemie- und Naturfasern für Dichtungen .....</b>	<b>47</b>
2.3.1	Einleitung .....	47
2.3.2	Chemiefasern .....	47
2.3.2.1	P-Aramidfasern .....	50
2.3.2.2	Kohlenstofffasern .....	56
2.3.2.3	PTFE-Fasern .....	59
2.3.2.4	Mineralfasern .....	60
2.3.2.5	Cellulosefasern .....	64
2.3.3	Naturfasern .....	65
<b>2.4</b>	<b>Flexibler Graphit .....</b>	<b>66</b>
2.4.1	Struktur .....	66
2.4.2	Herstellung .....	66
2.4.3	Allgemeine Eigenschaften .....	67
<b>2.5</b>	<b>Werkstoffe für Gleit- und Gegenringe in Gleitringdichtungen .....</b>	<b>68</b>
2.5.1	Einleitung .....	68
2.5.2	Werkstoffpaarungen .....	69
2.5.3	Anforderungen an einen optimalen Gleitringwerkstoff aus Kohlenstoff .....	70
2.5.4	Einteilung, Herstellung und Eigenschaften der Gleitringwerkstoffe aus Kohlenstoff .....	70
2.5.4.1	Kunstharzgebundener Kohlenstoff .....	70
2.5.4.2	Pechgebundener Kohlenstoff .....	70
2.5.4.3	Eigenschaften von Kohlenstoff .....	72
2.5.5	Einteilung, Herstellung und Eigenschaften der Gegenringwerkstoffe .....	74
2.5.5.1	Chromguß .....	74
2.5.5.2	Aluminiumoxid .....	74
2.5.5.3	Wolframkarbid .....	75
2.5.5.4	Siliziumkarbid .....	75
2.5.6	Zusammenfassung der physikalischen Daten aller relevanten Gleit- und Gegenringwerkstoffe .....	76
2.5.7	Ergebnisse .....	76
2.5.7.1	Verschleißrate von Gleitringen im Langzeitversuch .....	76
2.5.7.2	Verschleißrate bei unterschiedlichen Werkstoffpaarungen .....	77

---

2.5.7.3	Werkstoffe für Trockenlaufeinsatz .....	80
2.5.7.4	All Carbon .....	84
2.5.7.5	Blistering .....	85
2.5.7.6	Geräuschuntersuchung .....	87
2.5.7.7	Losbrech- und Reibmomentuntersuchungen an KFT-Gleitringdichtungen mit verschiedenen Werkstoffpaarungen .....	88
2.5.8	Einsatzempfehlungen .....	90
2.5.9	Schlußfolgerungen .....	91
<b>3</b>	<b>Statische Dichtungen .....</b>	<b>95</b>
<b>3.1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>96</b>
<b>3.2</b>	<b>Dichtungen im Krafthauptschluß .....</b>	<b>97</b>
3.2.1	Flachdichtungen .....	97
3.2.2	Dichtungstechnische Eigenschaften typischer Flachdichtungswerkstoffe .....	98
3.2.2.1	Faserverstärkte Dichtungen .....	98
3.2.2.2	Flexibler Graphit .....	118
3.2.2.3	Fluorpolymere .....	124
3.2.2.4	Gesickte Metalldichtungen mit Elastomerbeschichtung .....	136
3.2.3	Prüfverfahren und Lieferbedingungen zur Charakterisierung von Flachdichtungen .....	147
3.2.3.1	DIN 28090 Prüfverfahren / DIN 28091 Lieferbedingungen .....	148
3.2.3.2	Ergänzende Methoden .....	151
3.2.4	Auslegung von Flanschverbindungen im Krafthauptschluß .....	155
3.2.4.1	Einführung .....	155
3.2.4.2	Gestaltung von Flanschverbindungen mit Dichtungen im Krafthauptschluß .....	157
3.2.4.3	Berechnung von Flanschverbindungen im Krafthauptschluß .....	157
3.2.4.4	Auslegung von Flanschverbindungen nach europäischer Normung .....	159
3.2.4.5	Bestimmung von Berechnungsgrößen .....	159
3.2.4.6	Auswahlhilfe für Dichtungen unter Berücksichtigung der Schrauben und der Flanschgeometrie .....	164

---

<b>3.3 Dichtungen im Kraftnebenschluß</b> .....	185
3.3.1 Allgemeine Eigenschaften von Dichtungen im Kraftnebenschluß .....	185
3.3.2 Einteilung der Dichtungen im Kraftnebenschluß nach Werkstoffen .....	186
3.3.3 O-Ringe .....	186
3.3.3.1 Allgemeine Zusammenhänge zur Wirkungsweise von O-Ringen .....	186
3.3.3.2 Konstruktive Hinweise zur Nutzgestaltung .....	187
3.3.3.3 Hinweise zur Montage von O-Ringen .....	192
3.3.3.4 Beständigkeitsskriterien .....	194
3.3.3.5 Qualitätsbestimmende Eigenschaften von O-Ringen .....	202
3.3.3.6 Schäden an O-Ringen, Ausfallursachen und Abhilfemaßnahmen .....	203
3.3.4 Spiraldichtungen für Kraftnebenschluß-Anwendungen .....	208
3.3.4.1 Einführung .....	208
3.3.4.2 Die richtige Dichtungskonzeptionierung .....	210
3.3.4.3 Der Einfluß des Dichtungswerkstoffes .....	215
3.3.4.4 Der Einfluß der Dichtungsfertigung .....	216
3.3.5 Zusammenfassung .....	217
<b>4 Stopfbuchspackungen</b> .....	221
<b>4.1 Einführung</b> .....	222
<b>4.2 Packungsmaterialien</b> .....	222
4.2.1 Faserwerkstoff .....	222
4.2.1.1 Natürliche organische Fasern .....	222
4.2.1.2 Natürliche anorganische Fasern .....	223
4.2.1.3 Synthetische organische Fasern .....	224
4.2.1.4 Synthetische anorganische Fasern .....	225
4.2.1.5 Verbundgarne .....	225
4.2.2 Imprägnierungen .....	226
4.2.3 Einlaufgleitmittel .....	227
<b>4.3 Packungsarten</b> .....	227
4.3.1 Geflechtpackungen .....	228
4.3.2 Vliesstoffpackungen .....	230
4.3.3 Knetpackungen .....	230
4.3.4 Extrudierte Packungen .....	231
4.3.5 Graphitexpandatpackungen .....	232
<b>4.4 Einsatzbedingungen und Betriebsparameter</b> .....	233
4.4.1 Packungen für Rotationsanwendungen und Plungerpumpen .....	234
4.4.2 Packungen für Armaturen, Spindel-, Deckel- und Gehäuseabdichtungen .....	235
<b>4.5 Die Wirkungsweise von Stopfbuchspackungen</b> .....	237
4.5.1 Typische Leckagewege von Packungen .....	237
4.5.2 Mechanisches Druckverhalten der Packungen .....	238
4.5.3 Der Querverformungsfaktor $k$ und der Reibfaktor $\mu$ .....	238
4.5.4 Berechnung von Spannungen und Reibkräften an formgepreßten Ringen .....	239
4.5.5 Die Spannungssituation bei zugeschnittenen Packungsringen .....	242
4.5.6 Innendruckverhalten von Packungen .....	243
4.5.7 Die Dimensionierung der Packungsstopfbuchse .....	244
<b>4.6 Konstruktive Gestaltungsmöglichkeiten für Stopfbuchsäume</b> .....	247
4.6.1 Toleranzen, Oberflächen und Spaltbreiten .....	247
4.6.2 Grundausführung einer Stopfbuchse .....	247

---

4.6.3	Stopfbuchse mit unterschiedlichen Packungstypen .....	248
4.6.4	Stopfbuchsen mit Laternenringen .....	248
4.6.5	Stopfbuchse mit Federn .....	250
4.6.6	Stopfbuchse mit Außenmantelkühlung .....	250
4.6.7	Selbstdichtender Deckelverschluß mit Grafitexpandatringen .....	251
<b>4.7</b>	<b>Typische Anwendungsfälle für Stopfbuchspackungen .....</b>	<b>251</b>
4.7.1	Armaturen .....	251
4.7.2	Rotationspumpen .....	255
4.7.3	Hochdruckpumpen, Plungerpumpen .....	262
4.7.4	Rührwerke, Mischer, Filter .....	263
4.7.5	Sonstige Anwendungen .....	264
<b>4.8</b>	<b>Praktische Handhabung von Packungen .....</b>	<b>264</b>
4.8.1	Montage und Einbauhinweise .....	264
4.8.2	Vorspannen der Packung .....	266
4.8.3	Einfahren von neu verpackten Wellenabdichtungen .....	266
4.8.4	Wartung von Stopfbuchspackungen .....	266
4.8.5	Entsorgung von Packungen .....	267
<b>4.9</b>	<b>Ausgewählte typische Schäden bei Verwendung von Stopfbuchspackungen .....</b>	<b>268</b>
<b>4.10</b>	<b>Vergleichende Betrachtung Packungen und Gleitringdichtungen .....</b>	<b>272</b>
<b>5</b>	<b>Gleitringdichtungen .....</b>	<b>275</b>
<b>5.1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>276</b>
<b>5.2</b>	<b>Werkstoffe .....</b>	<b>279</b>
5.2.1	Gleitwerkstoffe, Werkstoffpaarungen .....	279
5.2.2	Sekundärdichtelemente .....	282
5.2.3	Gehäuse-, Dichtungsbauteile und Federn .....	283
<b>5.3</b>	<b>Flüssigkeitgeschmierte Gleitring-Dichtungen .....</b>	<b>284</b>
5.3.1	Nicht entlastete / entlastete Gleitringdichtungen .....	284
5.3.2	Einzeldichtungen .....	287
5.3.3	Doppeldichtungen .....	288
5.3.4	Tandemdichtungen .....	301
5.3.5	Versorgungssysteme für flüssigkeitsgesperzte Doppel- und Tandem-dichtungen .....	303
<b>5.4</b>	<b>Betriebsverhalten flüssigkeitsgeschmierter GLRD .....</b>	<b>307</b>
5.4.1	Auslegung von Gleitringdichtungen .....	307
5.4.1.1	Einführung .....	307
5.4.1.2	Belastungsfaktor .....	307
5.4.1.3	Gleitflächenabmessungen .....	309
5.4.1.4	Federkräfte .....	310
5.4.1.5	Gleitdruck .....	310
5.4.1.6	Reibungsbeiwert .....	311
5.4.1.7	Gleitgeschwindigkeit .....	311
5.4.1.8	Reibleistung .....	311
5.4.1.9	Volumenstrom .....	311
5.4.1.10	Losbrech-/Anfahrmoment .....	311
5.4.1.11	Berechnungsbeispiel für eine GLRD .....	312
5.4.1.12	Mantelreibung .....	313

5.4.2	Bedingungen im Dichtspalt .....	315
5.4.3	Einflüsse auf die Verhältnisse im Dichtspalt .....	317
5.4.3.1	Konstruktive Ausführung der Dichtfläche .....	317
5.4.3.2	Konstruktive Ausführung der Dichtungsumgebung .....	318
5.4.3.3	Spezifische Flächenpressung .....	321
5.4.3.4	Gefügemerkmale der Gleitkörper und Läppung von Gleitflächen .....	321
5.4.3.5	Betriebsbedingungen .....	322
5.4.3.6	Charakteristik des Abdichtmediums .....	322
5.4.4	Leckagen .....	324
5.4.5	Standzeiten und Verschleiß .....	326
<b>5.5</b>	<b>Gasgeschmierte Gleitring-Dichtungen .....</b>	<b>327</b>
5.5.1	Gasgeschmierte Verdichter-GLRD .....	328
5.5.1.1	Einzel-Gasdichtung .....	328
5.5.1.2	Tandem-Gasdichtung .....	329
5.5.1.3	Doppel-Gasdichtung .....	330
5.5.1.4	Tandem-Gasdichtung mit internem Labyrinth .....	331
5.5.2	Gasgesperrte Pumpendichtungen .....	332
5.5.3	Gasgesperrte Rührwerksdichtungen .....	333
<b>5.6</b>	<b>Betriebsverhalten gasgesperrter Gleitringdichtungen .....</b>	<b>335</b>
5.6.1	Nutformen, Kräfte und Bedingungen im Dichtspalt .....	337
5.6.2	Leckagen .....	339
5.6.3	Standzeiten, Verschleiß .....	340
5.6.4	Versorgungssysteme für gasgesperrte Gleitringdichtungen .....	341
<b>5.7</b>	<b>Schadensanalyse an Gleitring-Dichtungen .....</b>	<b>343</b>
5.7.1	Voraussetzungen für eine gesicherte Schadensanalyse an GLRD .....	343
<b>5.8</b>	<b>Formelzeichen .....</b>	<b>344</b>
<b>6</b>	<b>Radialwellendichtringe .....</b>	<b>347</b>
<b>6.1</b>	<b>Anfänge des Radialwellendichtrings .....</b>	<b>348</b>
<b>6.2</b>	<b>Dichtungstechnische Begriffe und Grundlagen .....</b>	<b>350</b>
6.2.1	Statische und dynamische Abdichtung .....	350
6.2.2	Starrer und dynamischer Dichtspalt und hydrodynamische Spaltbildung .....	350
6.2.3	Passive und aktive Abdichtung .....	351
6.2.4	Natürlicher Dichtmechanismus .....	352
6.2.5	Radialkraft, Reibung und Verlustleistung .....	353
<b>6.3</b>	<b>Einflußfaktoren auf die Funktion des RWDR .....</b>	<b>356</b>
6.3.1	Betriebsbedingungen .....	357
6.3.1.1	Temperatur .....	357
6.3.1.2	Drehzahl .....	358
6.3.1.3	Koaxialität und Rundlauftoleranz der Welle .....	359
6.3.1.4	Überdruck .....	359
6.3.2	Abzudichtende Medien .....	360
6.3.2.1	Motorenöl .....	360
6.3.2.2	Getriebeöl .....	360
6.3.2.3	Schmierstoffe für den Tieftemperaturbereich .....	361
6.3.2.4	Biologisch abbaubare Schmierstoffe .....	361
6.3.2.5	Schmierfett .....	361
6.3.3	Gegenlaufläche .....	361

---

6.3.3.1	Stahlwellen als Gegenlauflächen .....	363
6.3.3.2	Thermische Spritzschichten als Gegenlauflächen .....	367
6.3.4	Konstruktive Auslegung des RWDR .....	372
6.3.4.1	Einsatz moderner Simulationsmethoden .....	372
6.3.4.2	Haftteil .....	374
6.3.4.3	Dichtlippe .....	375
6.3.4.4	Anpreßkraft der Dichtlippe .....	376
6.4	<b>Bauformen</b> .....	376
6.4.1	Typische Bauformen .....	376
6.4.2	Sonderbauformen und ihre Einsatzgrenzen .....	377
6.4.3	Sonderbauformen zum Abdichten unter Druck stehender Medien .....	379
6.4.4	Sonderbauformen für Kraftfahrzeuge .....	382
6.4.4.1	Kurbelwellendichtungen .....	383
6.4.4.2	Dichtungen für Getriebe, Achsen und Radlager .....	384
6.5	<b>Vorschläge zur anwendungsgerechten Auswahl der Dichtringe und typische Anwendungsfälle</b> .....	385
6.5.1	Vorgehensweise bei der Auswahl eines geeigneten RWDR .....	385
6.5.2	Typische Anwendungsfälle für RWDR aus Elastomer und PTFE .....	386
6.6	<b>Hinweise zur Konstruktion des Dichtungsumfeldes und der Montage von RWDR</b> .....	388
6.6.1	Welle .....	388
6.6.2	Spritzschutz der Dichtlippe .....	390
6.6.3	Aufnahmebohrung .....	390
6.6.4	Montage .....	390
6.6.5	Allgemeines .....	391
6.7	<b>Schadensfälle</b> .....	393
6.7.1	Schäden durch Transport und Lagerhaltung .....	393
6.7.2	Schäden durch Montagefehler .....	393
6.7.3	Schäden im Betrieb .....	394
6.7.3.1	Schäden durch mechanische Einwirkung .....	394
6.7.3.2	Schäden durch thermische Einwirkung .....	395
6.7.3.3	Schäden durch chemischen Angriff .....	395
6.8	<b>Ausblick</b> .....	396
7	<b>Hydraulik- und Pneumatikdichtungen</b> .....	399
7.1	<b>Einführung</b> .....	400
7.2	<b>Hydraulikdichtungen</b> .....	404
7.2.1	Statische Dichtungen .....	404
7.2.2	Dynamische Dichtungen .....	409
7.2.2.1	Plunger- und Stangendichtungen .....	409
7.2.2.2	Abstreifer .....	417
7.2.2.3	Dichtsysteme .....	418
7.2.2.4	Kolbendichtungen .....	420
7.2.2.5	Rotationsdichtungen .....	421
7.2.3	Führungen .....	421
7.2.3.1	Funktionale Zusammenhänge zwischen Führung und Dichtung .....	422
7.2.3.2	Rotorführungen .....	423
7.2.3.3	Zylinderführungen .....	424

---

7.2.3.4	Hydraulikzylinder mit beidseitig gelenkiger Aufhängung .....	424
7.2.3.5	Hydraulikzylinder mit fest angebautem Zylinderteil .....	430
7.2.3.6	Teleskopzylinder .....	432
7.2.3.7	Hinweise zur Berechnung der Führungskräfte .....	433
<b>7.3</b>	<b>Pneumatikdichtungen .....</b>	<b>434</b>
7.3.1	Einleitung .....	434
7.3.2	O-Ringe .....	435
7.3.2.1	O-Ringe für statische Abdichtungen .....	437
7.3.2.2	O-Ringe für wechselseitig bewegte Abdichtungen .....	437
7.3.2.3	O-Ringe für Pneumatik-Abdichtung .....	439
7.3.2.4	Werkstoffauswahl .....	439
7.3.2.5	O-Ring Montage .....	443
7.3.3	Lippendichtungen .....	445
7.3.3.1	Dicht-Abstreifsets E8 .....	446
7.3.3.2	Dämpfungsring PP .....	447
7.3.3.3	Kolbendichtung E4 .....	447
7.3.3.4	Komplettkolben .....	448
7.3.3.5	Kolbendichtung PZ .....	449
7.3.3.6	Kolbendichtsatz OA .....	450
7.3.4	Einflußfaktoren auf den Dichtvorgang .....	451
7.3.4.1	Einfluß der Konstruktion .....	451
7.3.4.2	Einfluß der Fertigungsgenauigkeit .....	454
<b>7.4</b>	<b>Richtlinien für die Lagerung von Gummi .....</b>	<b>457</b>
<b>7.5</b>	<b>Schäden an Dichtungen .....</b>	<b>458</b>
7.5.1	Schäden durch Verschleiß .....	458
7.5.2	Schäden durch andere Ursachen .....	458
<b>7.6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>465</b>
<b>8</b>	<b>Berührungsreie Dichtungen .....</b>	<b>467</b>
<b>8.1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>468</b>
8.1.1	Zum Begriff „berührungsreie Dichtung“ .....	468
8.1.2	Vor- und Nachteile berührungsreier Dichtungen .....	469
8.1.3	Einteilung berührungsreier Dichtungen .....	470
<b>8.2</b>	<b>Berührungsreie Dichtungen für Fluide unter Druck .....</b>	<b>471</b>
8.2.1	Funktionsprinzip und physikalische Wirkungsweise .....	471
8.2.2	Drosseldichtungen .....	471
8.2.2.1	Spaltdichtungen .....	471
8.2.2.2	Labryinthdichtungen .....	473
8.2.2.3	Labryinthspaltdichtungen .....	475
8.2.2.4	Berechnung von Drosseldichtungen .....	475
8.2.2.5	Einflüsse auf den Durchfluß beim Drosselspalt .....	476
8.2.3	Sperrdichtungen .....	479
8.2.3.1	Flüssigkeitsgesperrte Drosseldichtungen .....	480
8.2.3.2	Zentrifugal-Wellendichtungen .....	480
8.2.3.3	Gewindewellendichtungen .....	481
8.2.3.4	Berechnung von Sperrdichtungen .....	481
<b>8.3</b>	<b>Fanglabyrinth .....</b>	<b>482</b>
8.3.1	Wirkprinzipien bei Fanglabyrinth-Dichtungen .....	482
8.3.2	Gestaltung von Fanglabyrinth-Dichtungen .....	484

---

8.3.2.1	Der Eingangsbereich .....	486
8.3.2.2	Der Innenbereich .....	489
8.3.2.3	Der Ausgangsbereich .....	492
8.3.2.4	Der Ablaufbereich .....	493
8.3.2.5	Ablaufkanäle bei nicht-horizontaler Wellenlage .....	495
8.3.3	Maßnahmen im Umfeld der Dichtung .....	498
8.3.3.1	Die Einbauumgebung .....	498
8.3.3.2	Das weitere Umfeld .....	499
8.3.4	Analyse der Abdichtbedingungen und der Funktion .....	500
8.3.5	Exemplarisches Ergebnis experimenteller Untersuchungen .....	501
8.3.6	Von der Fanglabyrinth-Dichtung zur Schutzdichtung .....	502
8.3.7	Handelsübliche berührungsreie Wellendichtelemente .....	504
8.3.8	Die Entlüftung – ein Sonderfall .....	506
8.3.9	Zusatzelemente zu Fanglabyrinth-Dichtungen .....	507
8.3.9.1	Erhöhung der Dichtsicherheit mit Sperrluft .....	507
8.3.9.2	Funktionsweise einer Sperrluftdichtung .....	507
8.3.9.3	Systematische Darstellung der Gestaltungsvarianten .....	509
8.3.9.4	Spezielle Gestaltungshinweise .....	510
8.3.9.5	Berechnung von Sperrluft-Dichtungen .....	511
8.3.9.6	Anwendung .....	513
8.3.10	Anwendungs- und Praxisbeispiele .....	513
<b>8.4</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>516</b>
<b>9</b>	<b>Spezielle Abdichtelemente und Dichtungszubehör .....</b>	<b>521</b>
<b>9.1</b>	<b>Faltenbälge .....</b>	<b>522</b>
9.1.1	Einleitung .....	522
9.1.2	Elastomer-Faltenbälge .....	522
9.1.3	Faltenbälge aus PTFE .....	522
9.1.4	Metallfaltenbälge .....	523
9.1.5	Einbaubeispiele .....	525
<b>9.2</b>	<b>Membranen .....</b>	<b>526</b>
9.2.1	Einleitung .....	526
9.2.2	Grundformen und Typen von Membranen .....	527
9.2.3	Membranwerkstoffe .....	529
9.2.4	Anwendungsbeispiele .....	530
<b>9.3</b>	<b>O-Ring-Stützring-Dichtsystem .....</b>	<b>533</b>
9.3.1	Bedeutung des O-Ring-Stützring-Dichtsystems .....	533
9.3.2	Stützring-Definition und grundsätzliche Funktionsweise .....	533
9.3.3	Druck-Durchmesserspiel-Diagramm .....	534
9.3.4	Stützring-Werkstoff .....	535
9.3.5	Konstruktionshinweise .....	535
9.3.6	Montage .....	537
9.3.6.1	Einbauhinweise .....	537
9.3.6.2	Schmierung .....	537
9.3.7	Bedeutung der Auswahl der richtigen Dichtung .....	537
<b>9.4</b>	<b>PTFE-Nutringe mit Federvorspannung in Armaturen .....</b>	<b>538</b>
9.4.1	Genereller Aufbau .....	538
9.4.2	Typischer Einsatz .....	539
9.4.3	Bauformen im Überblick .....	540
9.4.4	PTFE-Nutring mit V-Feder .....	540

---

9.4.5	PTFE-Nutring mit Rund-Feder .....	542
9.4.6	PTFE-Nutring mit U-Feder .....	542
9.4.7	Sonderformen der PTFE-Nutringe .....	544
<b>10</b>	<b>Sonderdichtungen und neuartige Dichtungslösungen .....</b>	<b>547</b>
<b>10.1</b>	<b>Dichtungen in Anwendungen für Lebensmittel, Trinkwasser und in der Biotechnologie .....</b>	<b>548</b>
10.1.1	Einleitung .....	548
10.1.2	Werkstoffauswahl .....	548
10.1.3	Allgemeine Gestaltungsrichtlinien .....	550
10.1.4	Gestaltung von statischen Dichtstellen .....	551
10.1.5	Gestaltung von dynamisch belasteten Dichtstellen .....	552
<b>10.2</b>	<b>Dichtungen an Armaturen .....</b>	<b>554</b>
10.2.1	Anforderungen an Gummimischungen .....	554
10.2.2	Bauformen von Dichtungen für Armaturen und Formstücke .....	555
10.2.2.1	Rohrdichtungen .....	555
10.2.2.2	Abdichtung von Wellendurchführungen an Armaturen .....	557
10.2.2.3	Absperrkörper in Armaturen .....	557
10.2.2.4	Gehäusedichtungen .....	561
10.2.2.5	Sonderbauformen .....	561
<b>10.3</b>	<b>Spezial-Armaturen-Dichtungen .....</b>	<b>564</b>
10.3.1	Einleitung .....	564
10.3.2	Sitzdichtungen für Hochdruckschieber .....	564
10.3.3	Sitzdichtungen für Kugelhähne .....	566
10.3.4	Abdichtung der Absperrklappe .....	570
10.3.5	Abdichtung der Drosselklappe .....	570
10.3.6	Spindelabdichtungen für Hochdruckventile und -schieber .....	571
<b>10.4</b>	<b>Hochdruck-Abdichtungen von Rohrleitungen und Apparaten .....</b>	<b>573</b>
10.4.1	Einleitung .....	573
10.4.2	Hochdruck-Abdichtungen von Rohrleitungen und Apparaten ohne Selbstdichtungswirkung .....	574
10.4.2.1	Metall-Profildichtungen .....	574
10.4.2.2	Konusflanschverbindungen .....	576
10.4.2.3	Kegelverbindungen .....	576
10.4.3	Hochdruck-Abdichtungen von Rohrleitungen und Apparaten mit selbshelfender Wirkung .....	577
10.4.3.1	„O“-Ringe bei statischen Hochdruck-Abdichtungen .....	577
10.4.3.2	Delta Ring-Dichtung .....	579
10.4.3.3	Grayloc-Dichtung .....	580
10.4.3.4	Keilring-Dichtung .....	580
10.4.3.5	Besondere Abdichtungsarten .....	582
10.4.4	Hochdruck-Verschlüsse für Großapparate .....	583
10.4.4.1	Einfachkonus-Dichtung .....	583
10.4.4.2	Selbstdichtender Verschluß .....	584
10.4.4.3	Doppelkonusverschluß .....	584
<b>10.5</b>	<b>Aufblasbare Dichtungen .....</b>	<b>585</b>
10.5.1	Einleitung .....	585
10.5.2	Aufbau und Wirkungsprinzip .....	585
10.5.3	Werkstoffe .....	587
10.5.4	Anwendungsbeispiele .....	588

---

<b>10.6 Magnetdichtungen</b> .....	589
10.6.1 Einleitung .....	589
10.6.2 Beispiele von Konstruktionslösungen bei Magnetdichtungen .....	589
<b>10.7 Magnetflüssigkeitsdichtungen</b> .....	593
10.7.1 Einleitung .....	593
10.7.2 Magnetflüssigkeiten .....	594
10.7.3 Aufbau und Wirkungsprinzip der Magnetflüssigkeitsdichtung .....	595
10.7.4 Beispiele neuer Konstruktionen von Magnetflüssigkeitsdichtungen .....	600
10.7.4.1 Drehdurchführungen mit Magnetflüssigkeitsdichtungen .....	600
10.7.4.2 Ferromagnetische Schutzdichtungen für Wälzlager .....	603
10.7.4.3 Magnetflüssigkeitsdichtungen für Wellen mit Axial- und Radialverschiebungen .....	606
10.7.4.4 Ferromagnetische Gleitringdichtungen .....	607
10.7.4.5 Ferromagnetische Fliehkraftdichtungen .....	608
10.7.4.6 Dichtungen, die aus einer herkömmlichen Dichtung und einer Magnetflüssigkeitsdichtung bestehen .....	610
10.7.4.7 Anwendungsbeispiele von Magnetflüssigkeitsdichtungen .....	613
<b>10.8 Klebende Dichtstoffe</b> .....	617
10.8.1 Einleitung .....	617
10.8.2 Funktion .....	617
10.8.3 Wirkungsweise .....	617
10.8.4 Einteilung der Dichtstoffe .....	619
10.8.5 Spezielle Dichtstoffarten .....	621
<b>10.9 Ringraumdichtungen</b> .....	627
10.9.1 Allgemeines .....	627
10.9.2 Anforderungen an die Dichtflächen .....	627
10.9.3 Anforderungen an Dichtsysteme .....	631
10.9.4 Typen von Dichtsystemen .....	635
10.9.4.1 Rohrdurchführungen .....	635
10.9.4.2 Kabeldurchführungen .....	641
10.9.4.3 Kombinationen .....	642
10.9.4.4 Sonder-Dichtungen .....	643
10.9.4.5 Dachdurchführungen .....	644
10.9.4.6 Rohrdurchführungen in Kernkraftwerken .....	645
<b>11 Anhang</b> .....	653
<b>11.1 Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Dichtungstechnik in Deutschland</b> .....	654
<b>11.2 Fachtagungen / -veranstaltungen auf dem Gebiet der Dichtungstechnik</b> .....	654
<b>11.3 Fachverbände / Arbeitskreise</b> .....	655
<b>11.4 Fachliteratur / Richtlinien / Normen</b> .....	656
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	659
<b>Marktspiegel</b> .....	667
<b>Inserentenverzeichnis</b> .....	689