

Inhaltsverzeichnis

Vorwort V

Autorenverzeichnis VI

1 Grundlagen 2

1.1 Statische wirkende Dichtungen 4

1.2 Dynamisch wirkende Dichtungen 5

2 Werkstoffe der Dichtungstechnik 8

2.1 Polyurethane und Silicone 8

2.1.1 Polyurethan-Kautschuk 9

2.1.2 Silicon-Kautschuk 11

2.2 Gummiwerkstoffe 14

2.2.1 Naturkautschuk (NR = natural rubber) 20

2.2.2 Synthesekautschuk 22

2.2.2.1 Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) 22

2.2.2.2 Butadien-Kautschuk (BR) 24

2.2.2.3 Nitril-Butadien-Kautschuk (NBR) 24

2.2.2.4 Chloropren-Kautschuk (CR) 26

2.2.2.5 Butylkautschuk (IIR) 26

2.2.2.6 Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymer (EPDM) 27

2.2.2.7 Fluorkautschuk (FKM) 28

2.3 Polytetrafluorethylen (PTFE) 29

2.3.1 Entdeckung des Werkstoffes PTFE 29

2.3.2 Herstellung des Werkstoffes PTFE 29

2.3.3 Eigenschaften von PTFE 30

2.3.3.1 Thermische Eigenschaften 31

2.3.3.2 Chemische Beständigkeit 31

2.3.3.3 Mechanische Eigenschaften 31

2.3.3.4 Strahlenbeständigkeit 31

2.3.3.5 Adhäsionsverhalten 31

2.3.3.6 Gleitverhalten 32

2.3.3.7 Verschleißverhalten 32

2.3.3.8 Quenchen 33

2.3.3.9 Physiologisches Verhalten 33

2.3.4 Verarbeitung von PTFE 34

2.4 Weitere Dichtwerkstoffe 38

2.4.1 Hochpolymere Dichtungswerkstoffe 38

2.4.1.1 Perfluor-Alkoxypolymer (PFA) 38

2.4.1.2 Polytetrafluorethylen (TFM) 39

2.4.1.3	Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE)	39
2.4.1.4	Polychlortrifluorethylen (PCTFE)	39
2.4.1.5	Polyacetal (POM)	39
2.4.1.6	Polyamid (PA)	40
2.4.1.7	Ultra-hochmolekulares Polyethylen (UHMW-PE)	40
2.4.1.8	Polyetheretherketone (PEEK)	41
2.4.2	Duroplaste	41
2.4.3	Gewebeverbundwerkstoffe	42
2.5	Faserwerkstoffe	42
2.5.1	Einführung	42
2.5.2	Chemiefasern	43
2.5.2.1	P-Aramidfasern	48
2.5.2.2	Kohlenstofffasern	55
2.5.2.3	PTFE-Fasern	58
2.5.2.4	Mineralfasern	58
2.5.2.5	Cellulosefasern	63
2.5.3	Naturfasern	63
2.6	Graphit	64
2.6.1	Struktur	64
2.6.2	Herstellung	65
2.6.3	Allgemeine Eigenschaften	66
2.7	Glimmer	67
2.7.1	Struktur	68
2.7.2	Glimmertypen	68
2.7.3	Vorkommen/Aufbereitung	69
2.7.4	Allgemeine Eigenschaften	69
2.7.5	Verwendung/Einsatzgebiete	70
2.8	Werkstoffe für Gleitringdichtungen	70
2.8.1	Gleitwerkstoffe allgemein	70
2.8.3	Herstellungsverfahren [27]	72
2.8.3.1	Rohstoffe	72
2.8.3.2	Formgebung	74
2.8.3.3	Grün-/Weißbearbeitung	75
2.8.3.4	Sinterbrand	75
2.8.3.5	End- und Hartbearbeitung	76
2.8.3.6	Prüfverfahren	77
2.8.4	Bruchmechanik [28]	77
2.8.5	Siliciumcarbid	80
2.8.5.1	Drucklos gesintertes Siliciumcarbid (SSiC)	81
2.8.5.2	Reaktionsgebundenes Silicium-infiltriertes Siliciumcarbid (SiSiC)	81
2.8.5.3	Heißgepresstes Siliciumcarbid (HPSiC)/heißisostatisch gepresstes SiC (HIPSiC)	82

2.8.5.4	Flüssigphasengesintertes Siliciumcarbid (LPSiC)	82
2.8.5.5	Rekristallisiertes Siliciumcarbid (RSiC)	82
2.8.6	Kohlegraphit	83
2.8.7	Nebendichtungswerkstoffe (weich)	84
2.8.7.1	Verformungsverhalten und E-Modul	85
2.8.7.2	Thermische Zustandsbereiche	88
2.8.7.3	Gough-Joule-Effekt	89
2.8.7.4	Druckverformungsrest oder Compression Set	89
2.8.7.5	Burger-Modell und Dynamisch Mechanische Analyse (DMA)	90
2.8.8	Metallische Teile.	92
2.8.9	Das Korrosionsverhalten	97
3	Statische Dichtungen	108
3.1	Einführung.	108
3.2	Dichtungen im Krafthauptschluss.	109
3.2.1	Flachdichtungen	117
3.2.1.1	Faserverstärkte Dichtungen.	120
3.2.1.2	Flexibler Graphit	140
3.2.1.3	Fluorpolymere	146
3.2.1.4	Hochtemperaturdichtungen.	158
3.2.1.5	Wellringdichtungen	162
3.2.1.6	Kammprofildichtungen	165
3.2.1.7	Spiraldichtungen	167
3.2.2	Schmiegungsdichtungen.	169
3.2.2.1	Ring-Joint-Dichtungen	170
3.2.2.2	Linsendichtungen	174
3.2.2.3	Doppel-Konus-Dichtungen	175
3.2.3	Ausblässicherheit.	177
3.2.4	Bedeutung der Montage von statischen Dichtungen	179
3.2.5	Schadensfälle	186
3.2.6	Ausblick	189
3.3	Kraftnebenschlussdichtungen.	189
3.4	O-Ringe und andere Gummidichtungen	193
3.4.1	Dichtungen im Kraftnebenschluss (KNS).	193
3.4.1.1	Allgemeine Eigenschaften von Dichtungen im Kraftnebenschluss	194
3.4.1.2	Einteilung der Dichtungen im Kraftnebenschluss nach Werkstoffen	195
3.4.2	O-Ringe	195
3.4.2.1	Allgemeine Zusammenhänge zur Wirkungsweise von O-Ringen .	195
3.4.2.2	Konstruktive Hinweise zur Nutgestaltung	197
3.4.2.3	Hinweise zur Montage von O-Ringen	201
3.4.2.4	Beständigkeitskriterien	203
3.4.2.5	Temperaturbeständigkeit.	205

SICHER. NACHHALTIG. OPTIMIERT.

Nur mit dem richtigen Gesamtkonzept lässt sich die Montage- und Demontage von geschraubten Verbindungen an Flanschen, Röhren- und Plattenwärmetauschern, Ventilen, ISO-K Kammerflanschverbindungen etc. optimieren und sofort Geld sparen. Gleichzeitig wird die Sicherheit und Qualität deutlich erhöht. Alle Schraubprozessparameter können im Sinne von Industrie 4.0 digitalisiert werden.

- 1. SCHULUNGEN** Geschultes Personal nach EN1591-4 oder ASME
- 2. Eco2TOUCH** zur prozesssicheren und automatisierten Flanschmontage inkl. Dokumentation gemäß VDI/VDE-2862-2 und im Sinne von Industrie 4.0
- 3. FlangeFIX** Band zur fehlerfreien Flanskennzeichnung
- 4. ICE / STEALTH** exakt kalibrierte Drehmomentschrauber
- 5. zWasher** verdrehsichere Unterlegscheiben
- 6. Zubehör** Schmierstoffe, Bolzen, Muttern, Schutzkappen



Eco2TOUCH

INTELLIGENTE SYSTEMSTEUERUNG
FÜR NEUN ANALYSE- UND
MONTAGEVERFAHREN



zWasher

VERDREHSICHERE
UNTERLEGSCHIBE MIT
ABSTÜTZPROFIL



FlangeFIX

KENNZEICHNUNGSBAND
FÜR FLANSCH



HYTORC | Barbarino & Kilp GmbH
Telefon: +49 (0)89/230 999-0
info@hytorc.de | www.hytorc.de

HYTORC®
BARBARINO & KILP GMBH

3.4.2.6	Wichtige rezepturbedingte Unterschiede von NBR-, EPDM-, FPM- und FFKM-Werkstoffen	207
3.4.2.7	Qualitätsrelevante Eigenschaften von O-Ringen	214
3.4.3	Schäden an O-Ringen, Ausfallursachen und Abhilfemaßnahmen	216
3.4.3.1	Medieneinfluss	216
3.4.3.2	Temperatureinfluss	217
3.4.3.3	Druckbeanspruchung	218
3.4.3.4	Risse durch Ozoneinwirkung	219
3.4.3.5	Montagefehler	219
3.4.3.6	Verwechslungsgefahr	221
3.5	Sonderdichtungen	221
3.5.1	Schweißlippendichtungen	221
3.5.2	Trennblechdichtungen	225
3.5.2.1	Die Längstrennblechdichtung	227
3.5.2.2	Die Quertrennblechdichtung	230
4	Stopfbuchspackungen	236
4.1	Einführung	236
4.2	Packungsmaterialien	236
4.2.1	Faserwerkstoffe	236
4.2.1.1	Natürliche organische Fasern	237
4.2.1.2	Natürliche anorganische Fasern	237
4.2.1.3	Synthetische organische Fasern	237
4.2.1.4	Synthetische anorganische Fasern	239
4.2.1.5	Verbundgarne	240
4.2.2	Imprägnierungen	240
4.2.3	Einlaufgleitmittel	241
4.3	Packungsarten	242
4.3.1	Geflechtspackungen	242
4.3.2	Vliesstoffpackungen	245
4.3.3	Knetpackungen	246
4.3.4	Extrudierte Packungen	246
4.3.5	Graphitexpandatpackungen	246
4.4	Einsatzbedingungen und Betriebsparameter	248
4.4.1	Packungen für Rotationsanwendungen und Plungerpumpen	248
4.4.2	Packungen für Armaturen, Spindel-, Deckel- und Gehäuseabdichtungen	250
4.5	Die Wirkungsweise von Stopfbuchspackungen	252
4.5.1	Typische Leckagewege von Packungen	252
4.5.2	Mechanisches Druckverhalten der Packungen	253
4.5.3	Der Querverformungsfaktor k und der Reibfaktor μ	254
4.5.4	Berechnung von Spannungen und Reibkräften an formgepressten Ringen	255
4.5.5	Die Spannungssituation bei zugeschnittenen Packungsringen	258

4.5.6	Innendruckverhalten von Packungen	259
4.5.7	Dimensionierung der Packungsstopfbuchse.	260
4.6	Konstruktive Gestaltungsmöglichkeiten für Stopfbuchsräume	263
4.6.1	Toleranzen, Oberflächen und Spaltbreiten.	263
4.6.2	Grundausführung einer Stopfbuchse	264
4.6.3	Stopfbuchse mit unterschiedlichen Packungstypen.	264
4.6.4	Stopfbuchsen mit Laternenringen	265
4.6.5	Stopfbuchse mit Federn	266
4.6.6	Stopfbuchse mit Außenmantelkühlung	267
4.6.7	Selbstdichtender Deckelverschluss mit Graphitexpandtringen.	268
4.7	Typische Anwendungsfälle für Stopfbuchspackungen.	268
4.7.1	Armaturen	268
4.7.2	Rotationspumpen	273
4.7.3	Hochdruckpumpen, Plungerpumpen	280
4.7.4	Rührwerke, Mischer, Filter	281
4.7.5	Sonstige Anwendungen.	282
4.8	Praktische Handhabung von Packungen	283
4.8.1	Montage und Einbauhinweise	283
4.8.2	Vorspannen der Packung.	285
4.8.3	Einfahren von neu verpackten Wellenabdichtungen	285
4.8.4	Wartung von Stopfbuchspackungen.	285
4.8.5	Entsorgung von Packungen.	286
4.9	Ausgewählte typische Schäden bei Verwendung von Stopfbuchspackungen. ...	287
4.9.1	Schäden an schnellaufenden Wellen	287
4.9.2	Schäden an Wellen für Behälter.	290
4.9.3	Schäden an Plungern	290
4.9.4	Schäden an Armaturenspindeln	291
4.10	Vergleichende Betrachtung Packungen und Gleitringdichtungen	292
4.11	Richtlinien und Normen für Packungen und Anwendungen.	293
5	Gleitringdichtungen.	296
5.1	Grundelemente und Auslegung	298
5.1.1	Mechanismen der Leckage, Details zum Primärdichtspalt	300
5.1.1.1	Einige grundsätzliche Phänomene der Reaktionskinetik.	302
5.1.1.2	Strömungsvorgänge in engen Dichtspalten	302
5.1.1.3	Druckbedingte Spaltströmung eines axialen Drosselspalts	305
5.1.1.4	Druckbedingte Spaltströmung eines radialen Drosselspalts.	305
5.1.1.5	Leckage durch Diffusion (eine Analogie für Gleitringdichtungen unter Mischreibung).	306
5.1.2	Allgemeines zu Dichtungen	307
5.1.2.1	Der allgemeine Dichtspalt und grundlegende Spaltdruckprofile ..	308
5.1.3	Übliche Gleitwerkstoffe	316

5.1.4	Nebendichtungen	317
5.1.5	Gleitringdesign.....	318
5.1.6	Drehmomentübertragung	318
5.1.7	Befederung	318
5.2	Konstruktionsmerkmale einer Gleitringdichtung.....	319
5.2.1	Das axiale Kräftegleichgewicht am Gleitring.....	322
5.2.2	Der Belastungsfaktor κ	322
5.2.3	Die hydraulischen Spaltkräfte	322
5.2.4	Hydrostatische Spaltkräfte infolge radialem Druckabfalls.....	323
5.2.5	Hydrodynamische Spaltkräfte infolge Umfangsschleppströmung und Tribologische Vorgänge	325
5.2.6	Hydrodynamische Spaltdruckbildung	327
5.2.7	Leckageabschätzung	331
5.2.8	Reibleistung innerhalb der Dichtfläche	332
5.2.9	Der gesamte Wärmehaushalt einer Gleitringdichtung.....	332
5.3	Ausführungsbeispiele	335
5.3.1	Einzeldichtung	335
5.3.2	Doppeldichtung.....	337
5.4	Betriebsverhalten	340
5.4.1	Fluide (abzudichtende Medien für Gleitringdichtungen) und deren Eigenschaften	341
5.4.3	Lösungen von Feststoffen in Flüssigkeiten	342
5.4.4	Lösungen und Mischungen von Flüssigkeiten	343
5.4.5	Lösungen von Gas in Flüssigkeit.....	343
5.4.6	Adhäsion und Kohäsion.....	343
5.4.7	Viskositätsverhalten von Fluiden	344
5.4.8	Tribologie, Rheologie, Reibung und Verschleiß	345
5.4.9	Festkörperreibung – trocken	348
5.4.10.1	Der Aquaplaning Effekt – Hydrodynamik in Dichtungen	352
5.4.10.2	Technische Oberflächen und Schmierfilmbildung	353
5.4.11	Reibung und Verschleiß von Dichtungen.....	353
5.4.12	Betriebsverhalten von Dichtungen.....	356
5.4.13	Mehrfachdichtungen mit Sperrsystemen.....	357
5.5	Sonderfall Gasdichtung.....	364
5.6	Materialverhalten.....	366
5.6.1	Gleitwerkstoffe.....	366
5.6.2	Nebendichtungswerkstoffe	369
5.6.3	Metallische Teile.....	372
5.6.3.1	Legierungspartner in rost- und säurebeständigen Stählen	372
5.6.3.2	Gefügesysteme von rost- und säurebeständigen Stählen für den Einsatz in Dichtungen	373
5.7	Die häufigsten Schäden	374
5.8	Ausblick.....	377

6 Radialwellendichtringe	380
6.1 Anfänge des Radialwellendichtrings.....	380
6.2 Dichtungstechnische Begriffe und Grundlagen	382
6.2.1 Statische und dynamische Abdichtung.....	383
6.2.2 Starrer und dynamischer Dichtspalt und hydrodynamische Spaltbildung ..	384
6.2.3 Passive und aktive Abdichtung	385
6.2.4 Natürlicher Dichtmechanismus	387
6.2.5 Radialkraft, Reibung und Verlustleistung.....	389
6.3 Einflussfaktoren auf die Funktion des RWDR	395
6.3.1 Betriebsbedingungen.....	397
6.3.1.1 Temperatur.....	398
6.3.1.2 Drehzahl.....	402
6.4 Auslegung des Dichtsystems	402
6.4.1 Auslegung der Welle als RWDR-Gegenlaufläche	404
6.4.1.1 Geschliffene Laufläche	410
6.4.1.2 Gedrehte Wellen	412
6.4.1.3 Tangential gedrehte Wellen	414
6.4.1.4 Glattgewalzte Wellen	415
6.4.1.5 Gestrahlte Wellen.....	416



Flanschdichtung für Rohrleitungen

Werkstoff: UNITEC® 300 grün · *Trinkwasserzulassung gemäß Elastomerleitlinie
www.spaeh.de/produkte

6.4.1.6	Tiefgezogenes Blech als Gegenlauffläche.	417
6.4.1.7	Thermische Spritzschichten als verschleiß- und korrosions- geschützte Gegenlaufflächen	417
6.4.1.8	Hohlwellen im Dichtsistem	419
6.4.1.9	Koaxialitätsabweichungen und Rundlauf toleranz der Welle	419
6.4.2	Auslegung des Radialwellendichtrings	421
6.4.2.1	Auswahl eines geeigneten Werkstoffs für RWDR	421
6.4.2.2	Dichtlippe.....	422
6.4.2.3	Bauformen.....	424
6.4.2.4	Sonderbauformen und ihre Einsatzgrenzen	427
6.4.2.5	Sonderbauformen zum Abdichten unter Druck stehender Medien	430
6.4.2.6	Bauformen für Kraftfahrzeuge.....	436
6.4.3	Auslegung Haftteil	442
6.4.4	Gestaltung Gehäuse	443
6.4.5	Abzudichtende Medien	445
6.4.5.1	Motorenöl.....	446
6.4.5.2	Getriebeöl	446
6.4.5.3	Schmierstoffe für den Tieftemperaturbereich	447
6.4.5.4	Biologisch abbaubare Schmierstoffe	447
6.4.5.5	Schmierfett	448
6.5	Montage von Radialwellendichtringen [64].....	449
6.5.1	Lagerung vor der Montage von RWDR.....	449
6.5.1.1	Hammermontage	449
6.5.2	Montagewerkzeuge	449
6.5.3	Austausch von RWDR	450
6.5.4	Montage von RWDR-Kassettdichtungen	450
6.5.5	Montagetipps.....	451
6.6	Schadensfälle	452
6.6.1	Schäden durch Transport und Lagerhaltung.....	452
6.6.2	Schäden durch Montagefehler	452
6.6.3	Schäden im Betrieb.....	453
6.6.4	Schäden durch mechanische Einwirkung	455
6.6.5	Schäden durch thermische Einwirkung.....	455
6.6.5.1	Elastomer-RWDR.....	456
6.6.5.2	PTFE-RWDR	457
6.6.6	Schäden durch chemischen Angriff.....	457
6.7	Ausblick.....	457
7	Hydraulik- und Pneumatikdichtungen	464
7.1	Einführung.....	464
7.1.1	Dichtmechanismus	464
7.1.2	Oberflächen.....	467

7.1.3	Geschwindigkeitsabhängige Reibungszustände: Stribeck-Kurve.....	469
7.2	Hydraulikdichtungen.....	470
7.2.1	Statische Dichtungen.....	470
7.2.2	Dynamische Dichtungen.....	473
7.2.2.1	Plunger- und Stangendichtungen.....	473
7.2.2.2	Abstreifer.....	481
7.2.2.3	Dichtsysteme.....	482
7.2.2.4	Kolbendichtungen.....	484
7.2.2.5	Rotationsdichtungen.....	486
7.2.3	Führungen.....	486
7.2.3.1	Funktionale Zusammenhänge zwischen Führung und Dichtung..	486
7.2.3.2	Rotorführungen.....	488
7.2.3.3	Zylinderführungen.....	488
7.2.3.4	Hydraulikzylinder mit beidseitig gelenkiger Aufhängung.....	489
7.2.3.5	Hydraulikzylinder mit fest angebautem Zylinderteil.....	496
7.2.3.6	Teleskopzylinder.....	497
7.2.3.7	Hinweise zur Berechnung der Führungskräfte.....	499
7.3	Pneumatikdichtungen.....	500
7.3.1	Einleitung.....	500
7.3.2	Stangendichtungen.....	501
7.3.3	Kolbendichtungen.....	503
7.3.4	Endlagendämpfungsichtungen.....	507
7.3.5	Sonderzylinder.....	508
7.3.6	Ventildichtungen.....	509
7.4	Richtlinien für die Lagerung von Gummi.....	510
7.5	Schäden an Dichtungen.....	511
7.5.1	Schäden durch Verschleiß.....	511
7.5.2	Schäden durch andere Ursachen.....	511
8	Berührungsfreie Dichtungen.....	520
8.1	Einführung.....	520
8.1.1	Zum Begriff „berührungsfreie Dichtung“.....	520
8.1.2	Vor- und Nachteile berührungsfreier Dichtungen.....	521
8.1.3	Einteilung berührungsfreier Dichtungen.....	522
8.2	Berührungsfreie Dichtungen für Fluide unter Druck.....	523
8.2.1	Funktionsprinzip und physikalische Wirkungsweise.....	523
8.2.2	Drosseldichtungen.....	523
8.2.2.1	Spaltdichtungen.....	524
8.2.2.2	Labyrinthdichtungen.....	525
8.2.2.3	Labyrinthspaltdichtungen.....	527
8.2.2.4	Berechnung von Drosseldichtungen.....	527
8.2.2.5	Einflüsse auf den Durchfluss beim Drosselspalt.....	528

8.2.3	Sperrdichtungen	531
8.2.3.1	Flüssigkeitsgesperrte Drosseldichtungen	531
8.2.3.2	Zentrifugal-Wellendichtungen	531
8.2.3.3	Gewindewellendichtungen	531
8.2.3.4	Berechnung von Sperrdichtungen.....	533
8.3	Fanglabyrinth.....	535
8.3.1	Wirkprinzipien bei Fanglabyrinth-Dichtungen	535
8.3.2	Gestaltung von Fanglabyrinth-Dichtungen	538
8.3.2.1	Der Eingangsbereich	539
8.3.2.2	Der Innenbereich	542
8.3.2.3	Der Ausgangsbereich	545
8.3.2.4	Der Ablaufbereich	546
8.3.2.5	Ablaufkanäle bei nicht-horizontaler Wellenlage.....	549
8.3.3	Maßnahmen im Umfeld der Dichtung	550
8.3.3.1	Die Einbauumgebung	550
8.3.3.2	Das weitere Umfeld	552
8.3.4	Analyse der Abdichtbedingungen und der Funktion.....	554
8.3.5	Exemplarisches Ergebnis experimenteller Untersuchungen.....	555
8.3.6	Von der Fanglabyrinth-Dichtung zur Schutzdichtung	557
8.3.7	Handelsübliche berührungsfreie Wellendichtelemente	558
8.3.8	Die Entlüftung – ein Sonderfall.....	560
8.3.9	Zusatzelemente zu Fanglabyrinth-Dichtungen	562
8.4	Sperrluftdichtungen.....	562
8.4.1	Funktionsweise einer Sperrluftdichtung	563
8.4.2	Abdichten von Stäuben	564
8.4.2	Zusammenfassende Überlegungen.....	565
8.4.4	Systematische Darstellung der Gestaltungsvarianten.....	565
8.4.4	Wichtige Gestaltungshinweise.....	567
8.4.5	Berechnung von Sperrluft-Dichtungen	568
8.4.6	Anwendung	570
8.5	Anwendungs- und Praxisbeispiele für Fanglabyrinth und Sperrluftdichtungen ..	570
8.6	Abdichten mittels fettgefüllter Spalte	574
8.6.1	Zusammensetzung und Einteilung von Schmierfetten	574
8.6.2	Eigenschaften von Schmierfetten	575
8.6.3	Aufbau und Funktion berührungsfreier Dichtungen mit fettgefüllten Spalten.....	576
8.6.4	Gestaltung berührungsfreier Dichtungen mit fettgefüllten Spalten.....	579
8.7	Zusammenfassung	580
8.8	Ausblick.....	583
	Stichwortverzeichnis	585
	Inserentenverzeichnis.....	590