TAE

86 Edition

Dr. rer. nat. Gerhard P. Streit
und 8 Mitautoren

Elastomere Dichtungssysteme

Werkstoffe - Anwendungen - Konstruktionen - Normen

Mit 378 Bildern und 18 Tabellen sowie DVD

expert verlag

Enthält:
1DVD

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Motivation

1 Elastomere 1

Eine stoffkundliche Einführung

Friedrich Leibbrandt

1.1 Zum Verständnis 1
1.1.1 Geschichte 2
1.1.2 Der Elastomerbegriff 4
1.2 Verformungsmechanik der Elastomere 8
1.2.1 Energie-und Entropieelastizität 8
1.2.1.1 Die Kautschukmischung 11
1.2.2 Der Schubmodul in Abhängigkeit von der Temperatur 12
1.2.3 Der Schubmodul in Abhängigkeit von der Zeit 15
1.2.4 Hauptfunktionen von Elastomeren 19
1.2.4.1 Dichtfunktion: 19
1.2.4.2 Schwingungsunterdrückung 21
1.2.4.3 Elastische Kraftübertragung 24
1.3 Chemie der Kautschuke und Elastomere 24
1.3.1 Die chemische Bindung 27
1.3.1.1 Metallische Bindung 29
1.3.1.2 Ionenbindung - heteropolare Bindung 29
1.3.1.3 Atombindung - kovalente Bindung 30
1.3.2 Chemische Bindungen in Kautschuken und Elastomeren 31
1.3.2.1 Unpolare und polare Einfachbindungen des Kohlenstoffs 31
1.3.2.2 Einfach-und Mehrfachbindungen des Kohlenstoffs 35
1.3.2.2.1 Einfachbindungen 35
1.3.2.2.2 Doppelbindungen 36
1.3.3 Kautschukviskosität 38
1.4 Kautschuke als polymere Stoffe 39
1.5 Nomenklatur der Kautschuke und Elastomere 45
1.5.1 Beispiele chemischer Kautschukstrukturen 51
1.6 Klassifizierung und Spezifizierung der Elastomere als Werkstoffe 57
1.7 Literatur 67
1.8 Anhang 68

2 Mischungsbestandteile in Elastomeren 70

Friedrich Leibbrandt

2.1 ",Nicht-Kautschuk Bestandteile in Elastomeren 70
2.2 Vernetzung und Vernetzungschemikalien 71
2.2.1 Definition 71

2.2.2	Chemische Reaktionen	71
2.2.2.1	Reaktionsgeschwindigkeit	73
2.2.3	Chemische Vernetzung von Hochpolymeren	74
2.2.3.1	Die Vernetzung mit Schwefel	78
2.2.3.1.1	Organische Vulkanisationsbeschleuniger	79
2.2.3.1.2	Beschleunigeraktivatoren	82
2.2.3.1.3	Das Problem der Nitrosamine	83
2.2.3.1.4	Vulkanisationsverzögerer	85
2.2.3.2	Die Peroxidvernetzung	85
2.2.3.3	Die Vernetzung mit Metalloxiden	86
2.2.3.4	Sonstige Vernetzungsmethoden	87
2.2.3.5	Tempern	87
2.3	Alterung und Alterungsschutzmittel	88
2.3.1	Alterungsschutzmittel	92
2.4	Verstärkung und Füllstoffe	95
2.4.1	Isotrope Verstärkung	95
2.4.1.1	Füllstoffe organischer Herkunft	100
2.4.1.1.1	Andere organische Füllstoffe	105
2.4.1.2	Füllstoffe mineralischer Herkunft	105
2.4.1.2.1	Natürliche mineralische Füllstoffe	106
2.4.1.2.1 1	Silicate	106
2.4.1.2.1 2	Carbonate	107
2.4.1.2.1 3	Sonstige Oxide	108
2.4.1.2.1 4	Sulfate	108
2.4.1.2.2	Synthetische mineralische Füllstoffe	108
2.4.1.2.2.1	Oxide	108
2.4.1.2.2 2	Silicate	109
2.4.1.2.2 3	Carbonate	110
2.4.1.2.2 4	Füllstoffaktivatoren	111
2.4.1.3	Anisotrope Verstärkung	112
2.5	Weichmacher	113
2.5.1	Monomerweichmacher	115
2.6	Verarbeitungshilfen	119
2.6.1	Mastizier- bzw. Regeneriermittel	119
2.6.2	Dispergatoren	120
2.6.3	Harze	121
2.6.4	Gleitmittel	122
2.6.5	Gerüststoffe	123
2.7	Farbmittel	123
2.7.1	Anorganische Pigmente	124
2.7.2	Organische Farbstoffe	124
2.8	Innere Haftmittel	125
2.9	Treibmittel	125
2.10	Sonstige Mischungsbestandteile	128
2.11	Literatur	129
2.12	Anhang	130

3 Werkstoffkunde der Kautschuke 134

Fluor-, Acrylat- und Epichlorhydrinkautschuke

Gerhard Streit

3.1 Kautschuke für besondere Anwendungen 134
3.2. Aufbau und Typenvielfalt 134
3.2.1 Einordnung und Nomenklatur 134
3.2.2 Chemische Strukturen 135
3.2.3 Typenvielfalt 137
3.2.3.1 Aufbau der Fluorpolymere 137
3.2.3.2 Aufbau der ACM und ECO Kautschuke 139
3.3 Applikationsgebiete 140
3.3.1 Anwendungen von ACM-Werkstoffen 141
3.3.2 Schläuche aus ECO 141
3.3.3 Dichtungen aus FKM-Werkstoffen 142
3.4 Permeation 142
3.4.1 Grundlagen 143
3.4.2 Eine geschlossene Lösung 144
3.4.2.1 Planparallele Platte 144
3.4.2.2 Berechnung der Massenverluststromdichte 145
3.4.2.3 Berechneter Massenverlust. 147
3.5 Permeation von Kraftstoffen durch Elastomere 147
3.5.1 Permeation durch einen O-Ring (Näherungslösung) 149
3.5.2 Numerische Lösung der Permeation 150
3.5.2.1 Grundsätzliche Betrachtungen 150
3.5.2.2 Rand-und Anfangsbedingungen 151
3.6 Literatur 156

4 Elastomere und Medien 158

Wechselbeziehungen zwischen Hydraulikflüssigkeiten und Dichtungswerkstoffen unter besonderer Berücksichtigung der mineralölbasischen Schmierstoffe

Rolf Kuschel

4.1 Problemstellung 158
4.2 Elastomerwerkstoffgruppen 162
4.2.1 Allgemeine Zusammenhänge 162
4.2.2 Elastomerarten 165
4.3 Standardreferenzelastomere (SRE) - Testelastomere 171
4.3.1 Übersicht 171
4.3.2 Einsatz von SRE-Elastomeren 172
4.4 Verhalten in Hydraulikflüssigkeiten 175
4.4.1 Allgemeine Zusammenhänge 175
4.4.2 Verhalten in Mineralölen 176
4.4.2.1 Acrylnitril-Butadien-Kautschuk in Kontakt mit Mineralölen 177
4.4.2.2 Fluorkautschuk (FKM) in Kontakt mit Mineralölen 178
4.4.2.3 Polyacrylatkaütschuk in Kontakt mit Mineralölen 180
4.4.2.4 HNBR Werkstoffe in Kontakt mit Mineralölen 180
4.4.2.5 Silikonkautschuk (VMQ) in Mineralölen 180
4.4.2.6 Fluorsilikonkautschuk (FVMQ) in Kontakt mit Mineralölen 181
4.4.2.7 Thermoplastisches Polyurethan (AU, EU) in Kontakt mit Mineralölen 181

4.4.3	Werkstoffeigenschaften	181
4.5	Druckflüssigkeiten	183
4.5.1	Mineralöle und Additive	183
4.5.2	Umweltschonende Hydraulikflüssigkeiten	186
4.5.2.1	HETG-Flüssigkeiten auf Pflanzenölbasis	186
4.5.2.2	HEPG-Flüssigkeiten auf Polyalkylenglykolbasis	186
4.5.2.3	HEES-Flüssigkeiten auf Esterbasis	187
4.5.2.4	HEPR-Flüssigkeiten auf Basis Synthetischer Kohlenwasserstoffe	187
4.5.3	Schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten	187
4.5.3.1	Verhalten in HFA-Flüssigkeiten	188
4.5.3.2	Verhalten in HFB-Flüssigkeiten	189
4.5.3.3	Verhalten in HFC-Flüssigkeiten	189
4.5.3.4	Verhalten in HFD-Flüssigkeiten	189
4.5.4	Additive	192
4.6	Werkstoffauswahl	196
4.7	Prüfbedingungen	199
4.8	Schlussfolgerungen / Zusammenfassung	199
4.9	Literatur	202

5	Der Elastomerverträglichkeitsindex	204

Passen Dichtungswerkstoffe und Hydrauliköl zusammen?

Uwe Wallner

5.1	Problemstellung	204
5.2	Wie setzt sich der Elastomerverträglichkeitsindex zusammen?	204
5.2.1	Volumenänderungsindex mineralölbasierender Flüssigkeiten	207
5.3	Zusammenfassung	211
5.4	Arbeitsgemeinschaft	212
5.5	Literatur	212

6	Modell zur Thermoviskoelastizität von Elastomeren	213

Modelle zur Beschreibung
des thermo-mechanischen Eigenschaftsprofils
von elastomeren Dichtungsmaterialien und ihre Verwendung
in Finite Elemente Simulationen von Dichtungssystemen

Manfred Achenbach

6.1	Bedeutung der Viskoelastizität	213
6.2	Thermoelastizität	214
6.2.1	Gründe der Gummielastizität	214
6.2.2	Modellbildung	217
6.2.3	Kontinuumsmechanik	218
6.2.4	Statistische Mechanik der Gummielastizität	221
6.2.4.1	Molekülstruktur	221
6.2.4.2	Thermodynamik	221
6.2.4.3	Entropie eines Kettenmoleküls	223
6.2.4.4	Entropiedichte	224
6.2.4.5	Thermisches Gleichgewicht	225
6.3	Mehiachsigkeit	226

6.4	Thermoviskoelastizität	230
6.4.1	Gründe für die Zeitabhängigkeit	230
6.4.2	Spannungsrelaxation	230
6.4.2.1	Temperaturabhängigkeit	233
6.4.2.2	Bestimmung der "Prony-Parameter"	235
6.4.2.3	Zyklische Deformationen	237
6.5.	Anwendungsbeispiele aus der Dichtungstechnik	240
6.5.1	Dynamisches Verhalten einer statischen Dichtung	240
6.5.2	Dichtungsverhalten bei tiefen Temperaturen	244
6.5.2.1	Problembeschreibung	244
6.5.2.2	FEM-Resultate	246
6.5.2.3	Von der Simulation zur praktischen Lösung	247
6.6	Literatur	250

7	Gummi prüfen, aber wie?	251
	Moderne Prüfungen für die Entwicklung und für Serienteile	
	Gerhard Streit	
7.1	Problemstellung	251
7.2.	Vom Kautschuk zum Gummi	251
7.2.1	Vulkanisation	251
7.3	Gummi prüfen aber wie? - Spezifikationen	255
7.3.1	Mischungen und Vulkametrie	255
7.3.2	Prüfung der deformationsmechanischen Eigenschaften	260
7.4	Vier Modelle zur Beschreibung der Gummi-Elastizität	261
7.4.1	Visko-elastisches Verhalten	261
7.4.2	Materialmodell	262
7.4.3	Alterung	263
7.4.4	Bruchmechanik	265
7.5	Moderne Teileprüfung	266
7.5.1	Werkstoffidentifikation	267
7.5.1.1	Quantitative Zusammensetzung	268
7.5.1.2	Infrarot Spektren	268
7.5.2	Elastische Eigenschaften	272
7.5.2.1	Kraft-Verforrnungsmessungen	272
7.5.2.1.1	Relaxation unterscheidet Werkstoffe	272
7.5.2.1.2	Viskoelastisches Verhalten	273
7.6	Literatur	276

8	Reibung elastomerer Dichtungen in der Pneumatik	278
	Manfred Achenbach	
8.1	Problemstellung	278
8.2	Thermomechanische Eigenschaften der Elastomere	279
8.2.1	Hysteresekomponente der Reibkraft	279
8.2.2	Einfluss der Temperatur auf die viskoelastischen Eigenschaften	282
8.2.3	Relaxationsspektrum	283
8.3	Adhäsionskomponente der Reibungskraft	284

8.4 Die zusammengesetzte Reibungskraft 288
8.5 Schlussfolgerungen 289
8.6 Literatur 290

9 Modellierung der Alterung von Gummi 291
Manfred Achenbach

9.1 Zur Gebrauchsdauer von Gummiteilen 291
9.2 Bedeutung der Dichtungswerkstoffcharakterisierung 293
9.3 Hyperelastische Eigenschaften 295
9.3.1 Hyperelastizität 295
9.3.1.1 Elastomere als inkompressible und isotrope elastische Festkörper 298
9.3.1.2 Quasistatische Spannungs-Dehnungs Relationen in Elastomeren 299
9.4 Alterung 303
9.4.1 Mehrachsiges Alterungsmodell 305
9.4.2 Anwendung auf den Zugverformungsrest (ZVR) 307
9.4.3 Anwendung auf eine O-Ring Abdichtung 313
9.4.4 Physiko-chemische Aspekte 315
9.5 Zusammenfassung 319
9.6. Literatur 320

10 Auslegung von Dichtungen mit der FEM 321
Manfred Achenbach, Rene Boschet

10.1 Ein neues Entwicklungswerkzeug 321
10.2 Was ist FEM? 321
10.3 Wie arbeitet FEM? 322
10.4 Anwendungsbeispiele aus der Gruppe I - quasistatische Belastungen 331
10.5 Anwendungsbeispiele aus der Gruppe II 336
10.5.1 Viskoelastizität 336
10.5.2 Modelle 337
10.5.3 Temperaturabhängigkeit 338
10.6 Anwendungsbeispiele aus der Gruppe IM 340
10.6.1 Vorbetrachtungen 340
10.6.2 Problemstellung 341
10.6.3 Modell der Irreversibilität 343
10.6.4 Simulationsergebnisse 347
10.7 Anwendungsbeispiele aus der Gruppe IV 348
10.7.1 Materialermüdung 348
10.8 Literatur 350

11 Radialwellendichtringe für den Einsatz in Kraftfahrzeugen 351
Roland Lenz

11.1 Historie 351
11.2 Funktionsbereiche 352
11.2.1 Statische Abdichtung 353
11.2.2 Dynamische Abdichtung 354
11.2.2.1 Hypothese des Rückfördermechanismus 356
11.2.2.2 Hydrodynamische Dichthilfen 356
11.2.2.3 Flächige Dichtlippenanlage und Anpresskraftverteilung 358

11.2.3	Schutzlippe	359
11.3	Konstruktionskriterien und deren Einflüsse	360
11.3.1	Radialkraft	362
11.3.2	Dichtkantentemperatur	363
11.3.3	Reibleistung	364
11.3.4	Werkstoffersparnis	365
11.4	Prüfmethoden	366
11.4.1	P und K Kurzzeittest	366
11.4.2	Dauerlaufprüfstand	367
11.4.3	Test unter Schmutz und Schlammbeaufschlagung	369
11.4.4	Prüflauf mit Staubbeaufschlagung	369
11.4.5	Aggregatetest	370
11.4.5.1	Motorenprüfstand	370
11.4.5.2	Getriebeprüfstand	371
11.5	Einsatzbedingungen	372
11.5.1	Motor	372
11.5.2	Getriebe	373
11.5.3	Achsen/Fahrwerk	373
11.6.	Verschiedene Bauformen	374
11.7	Integration von Funktionen um die Dichtstelle	378
11.8.	Werkstoffe	381
11.8.1	FKM Werkstoffe	382
11.8.2	ACM Werkstoffe	383
11.8.3	NBR Werkstoffe	383
11.8.4	HNBR Werkstoffe	383
11.8.5	MVQ Werkstoffe	384
11.8.6	PTFE Werkstoffe	384
11.8.7	Materialanteile am Beispiel Audi A3, Modelljahr 2004	384
11.9.	Ausfallursachen	385
11.9.1	Schadensbilder	386
11.10	Empfehlung an den Anwender	388
11.11	Literatur	389

12	Dichtsysteme für Kurbelwellenabdichtungen	390
	Joachim Reichert	
12.1	Entwicklung beim Radialwellendichtring	390
12.2	Dichtsystem	391
12.2.1	Stand der Technik	391
12.2.2	Trägerteil	392
12.2.3	Dynamische Dichtung	393
12.2.3.1	Dichtlippen-Werkstoffe	393
12.2.3.2	Dichtlippen-Ausführungen	394
12.2.4	Statische Dichtung	397
12.2.5	Plasma-Aktivierung	398
12.3	Sensorik	400
12.3.1.1	Induktiv-Sensor	401
12.3.1.2	Halleffekt-Sensor	401
12.3.1.3	/Magnetoresistiver Sensor	401

12.3.2	Geberrad	402
12.3.2.1	Ferromagnetisches Geberrad	402
12.3.2.2	Magnetpol-Geberrad	402
12.4	Montage des Dichtsystems	403
12.5	Vom Radialwellendichtring zum Dichtsystem	403
13	Luft im ÖL - Video Ernst Hörl	405
14	Dichtungen in hydraulischen Geräten Grundlagen der Dichtungstechnik, Schadensursachen und Auswahlkriterien zu richtigen Festlegung von Dichtstellen Ernst Hörl	406
14.1	Ohne funktionierende Dichtung geht gar nichts	406
14.2	Grundlagen	406
14.2.1	Luft im Öl	407
14.2.2	Wie kann das Problem Luft im Öl gelöst werden?	413
14.3	Schleppdruck	415
14.4	Oberflächen	421
14.5	Medien	424
14.6	Systemeinflüsse	429
14.7	Gerätespezifische bzw. konstruktive Einflüsse und Fehler	433
15	Gummi und Gefahrstoffe Aktuelle Regelwerke und deren Auswirkung auf die Gummiindustrie Uwe Wallner	441
15.1	Gummi und Gefahrstoffe	441
15.2.	Gummi-Inhaltsstoffe	441
15.2.1	Kautschuke	442
15.2.2	Füllstoffe, Pigmente und Metalloxide	442
15.2.3	Organische Verbindungen	443
15.2.3.1	Weichmacher und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe PAK	444
15.2.3.2	Perfluoroktansulfonat PFOS	446
15.2.3.3	Vernetzer, Beschleuniger und andere	446
15.2.3.4	Nitrosamine - ein deutsches Problem	447
15.3	Aspekte aus der Gefahrstoffverordnung	448
15.3.1	Umgang mit Gefahrstoffen	449
15.4	Altautoverordnung und deren Umsetzung	451
15.4.1	Von der VDA-Liste 232-101 bis zur GADSL	451
15.4.2	IMDS (International Material Data System)	452
15.4.2.1	Erfassung der Werkstoffdaten	454
15.4.2.2	Werkstoff und Rezeptur	455
15.5	Elektroindustrie - RoHS, WEEE	456
15.6	REACH	456
15.7	SVHC - Substances of Very High Concern	457

15.8 Abkürzungen und Erläuterungen 458
15.9 Literatur 460

Stichwortverzeichnis 461

Die Autoren 463