



# INHALTSVERZEICHNIS

## Hauptgebiete

### 4 Physik und Technik des Vakuums

4.1 Physikalische Grundlagen . . . . .	1
4.1.1 Die verschiedenen Druckbereiche der Vakuumtechnik . . . . .	1
4.1.1.1 Leitern zur Beziehung zwischen verschiedenen Druckeinheiten . . . . .	2
4.1.2 Gasdruck und Zahl der Stöße auf die Wand . . . . .	3
4.1.3 Die drei thermischen Geschwindigkeiten von Neutralteilchen (bzw. Ionen) . . . . .	3
4.1.4 Mittlere freie Weglänge der Atome bzw. Moleküle (bzw. Ionen) . . . . .	4
4.1.4.1 Tafel zur mittleren freien Weglänge $\lambda$ von Gasen und Dämpfen als Funktion des Druckes $p$ (für die Temperatur $T = 293$ °K) . . . . .	5
4.1.5 Mittlere Zeit zwischen zwei gaskinetischen Zusammenstößen . . . . .	6
4.1.6 Diffusion von Neutralteilchen . . . . .	6
4.1.7 Allgemeine Begriffe der Vakuumtechnik . . . . .	7
4.2 Gase und Dämpfe der Vakuumtechnik . . . . .	11
4.2.1 Moleküldichten bzw. Drücke bei verschiedenen typischen Systemen . . . . .	11
4.2.2 Die Eigenschaften vakuumtechnisch wichtiger Gase . . . . .	13
4.2.3 Die Eigenschaften vakuumtechnisch wichtiger Dämpfe . . . . .	14
4.2.4 Auswahl von Gasen bzw. Dämpfen und Wahl des Druckes bei den wichtigsten Anwendungen . . . . .	16
4.2.5 Reinheitsgrade und Mischungsverhältnisse handelsüblicher Edelgase . . . . .	25
4.2.6 Thermische Dissoziation von zweiatomigen Gasen . . . . .	26
4.2.6.1 Tafel zur thermischen Dissoziation von zweiatomigen Gasen . . . . .	27
4.2.7 Verdampfungsgeschwindigkeit und Sättigungsdruck . . . . .	28
4.2.7.1 Temperaturabhängigkeit der im Hochvakuum pro Zeiteinheit von der Flächeneinheit abdampfenden Substanzmenge . . . . .	28
4.2.7.2 Minderung der Verdampfungsgeschwindigkeit von Wolfram in inertem Gas . . . . .	29
4.2.8 Neutralteilchendichte von gesättigten Dämpfen . . . . .	29
4.2.9 Übersicht über die Sättigungsdampfdrücke der Elemente . . . . .	30
4.2.9.1 Der Sättigungsdampfdruck $p_s$ als Funktion der Temperatur $T$ für die wichtigsten Elemente der Hochvakuumtechnik . . . . .	32
4.2.9.2 Dampfdruck $p_s$ des gesättigten Quecksilberdampfes bei Temperaturen bis 920 °C . . . . .	34
4.2.10 Die Anordnungen und Arten der thermischen Verdampfung von Substanzen . . . . .	35
4.2.10.1 Die Hauptanordnungen zur thermischen Verdampfung von Substanzen im Hochvakuum . . . . .	35
4.2.10.2 Die Hauptarten der thermischen Verdampfung im Hochvakuum . . . . .	37
4.2.10.3 Messung der Dicke von Aufdampfschichten . . . . .	38
4.2.11 Aufdampfen von Metallen und anderen Substanzen im Vakuum . . . . .	40
4.2.11.1 Anwendungen der Vakuumaufdampfmethod . . . . .	40
4.2.11.1.1 Bildung unerwünschter Schichten bei Aufdampfungen . . . . .	42
4.2.11.2 Arbeitstechnik der Vakuumaufdampfmethod . . . . .	43
4.2.11.3 Rohe Abschätzung der mit einem bestimmten Substanzvolumen $V$ bei verschiedenen Auffängerabständen $d$ erzielbaren Schichtdicken (gleichmäßige Kondensatverteilung auf die Oberfläche einer Kugel mit dem Radius $d$ angenommen) . . . . .	43
4.2.11.4 Tabelle zur Heizerwahl (Tiegelwahl) für verschiedene Substanzen . . . . .	45

4.2.12	Ausführungsbeispiele für Verdampfungsöfen . . . . .	46
4.2.12.1	Ausführung von Dampfquellen mit geheizten Tiegeln . . . . .	46
4.2.12.2	Ausführung einer Dampfquelle mit kleinem Anfangsquerschnitt . . . . .	47
4.2.12.3	Ausführung einer Zwillings-Aufdampfanlage mit Bedienungsautomatik . . . . .	50
4.2.12.4	Verdampfersysteme von Titan-Getterpumpen . . . . .	54
4.2.12.5	Stoß-Verdampfung . . . . .	55
4.2.13	Ausführungsbeispiele für Atomstrahlöfen . . . . .	56
4.2.13.1	Dampfdichte in einem Atomstrahl . . . . .	57
4.2.14	Sättigungsdruck verschiedener Dämpfe bei tiefen Temperaturen . . . . .	59
4.2.14.1	Drücke einiger Dämpfe bei der Siedetemperatur flüssiger Luft . . . . .	59
4.2.14.2	Einige Methoden zur Erzeugung tiefer Temperaturen . . . . .	60
4.2.14.3	Kühlfallen und Dampfsperren . . . . .	61
4.2.14.4	Getterfallen (Adsorptionsfallen) . . . . .	64
4.2.15	Wirksamkeit von Trockenmitteln . . . . .	65
4.2.16	Übersicht über die Dampfdrücke von Treib- und Dichtungsmitteln der Vakuumtechnik . . . . .	66
4.2.16.1	Der Sättigungsdampfdruck $p_s$ als Funktion der Temperatur $T$ für Pumpentreibmittel der Vakuumtechnik . . . . .	68
4.2.16.2	Der Sättigungsdampfdruck $p_s$ als Funktion der Temperatur $T$ für Dichtungsmittel der Vakuumtechnik . . . . .	69
4.2.17	Übersicht über die Dampfdrücke und andere Daten von Baustoffen für höchste Temperaturen . . . . .	70
4.2.17.1	Der Sättigungsdampfdruck $p_s$ als Funktion der Temperatur $T$ von Baustoffen für höchste Temperaturen und von einigen Verbindungen . . . . .	72
4.2.17.2	Der Dissoziationsdruck (Sauerstoffdruck) $p_{\text{Diss}}$ als Funktion der Temperatur $T$ von verschiedenen Metalloxyden . . . . .	73
4.2.17.3	Reaktionstemperaturen einiger Werkstoffe im Vakuum (in °C) . . . . .	73
4.3	Vakuumerzeugung . . . . .	74
4.3.1	Die verschiedenen Druckbereiche mit den zugeordneten Anwendungsgebieten . . . . .	74
4.3.1.1	Anwendungsgebiete der Grobvakuum-Technik . . . . .	75
4.3.1.2	Anwendungsgebiete der Feinvakuum-Technik . . . . .	77
4.3.1.3	Anwendungsgebiete der Hochvakuum-Technik . . . . .	79
4.3.1.4	Anwendungsgebiete der Höchstvakuum- bzw. Extremvakuum-Technik . . . . .	87
4.3.2	Arbeitsbereiche und Eigenschaften der wichtigsten Arten von Vakuumpumpen . . . . .	89
4.3.2.1	Arbeitsbereiche der Pumpen . . . . .	89
4.3.2.1.1	Mechanische Pumpen . . . . .	89
4.3.2.1.1.1	Gasballastpumpe . . . . .	90
4.3.2.1.1.2	Der Druckanstieg $\Delta p$ als Funktion des Kompressionsverhältnisses $\kappa$ in rotierenden Pumpen . . . . .	91
4.3.2.1.2	Treibmittelpumpen . . . . .	92
4.3.2.1.3	Tieftemperatur- und Ionenpumpen . . . . .	92
4.3.2.1.4	Leiter zur Beziehung zwischen den Einheiten für das Saugvermögen . . . . .	93
4.3.2.1.5	Nomogramm zur Umrechnung der Einheiten für das Saugvermögen . . . . .	94
4.3.2.1.6	Leiter zur Beziehung zwischen den Einheiten für die Saugleistung bzw. die Leckgröße (Undichtheit) . . . . .	95
4.3.2.2	Kennzeichnung und Eigenschaften der Pumpen . . . . .	96
4.3.2.2.1	Vielschieber- und Kolbenpumpen . . . . .	96
4.3.2.2.1.1	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ einer Vielschieber- und einer Kolbenpumpe . . . . .	97
4.3.2.2.2	Drehschieber- und Sperrschieberpumpen . . . . .	98
4.3.2.2.2.1	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von verschiedenen ein- und zweistufigen Drehschieberpumpen . . . . .	99
4.3.2.2.2.2	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von verschiedenen ein- und zweistufigen Sperrschieberpumpen (Drehkolbenpumpen) . . . . .	101
4.3.2.2.2.3	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von Pumpenkombinationen, die aus zwei hintereinandergeschalteten Pumpen des Drehschieber- bzw. Drehkolbentyps bestehen . . . . .	102

4.3.2.2.3	Wälzkolbenpumpen (Rootspumpen) . . . . .	103
4.3.2.2.3.1	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von verschiedenen Wälzkolbenpumpen (Rootspumpen) und Wälzkolben- pumpen-Kombinationen . . . . .	104
4.3.2.2.4	Molekularpumpen . . . . .	106
4.3.2.2.4.1	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von Molekularpumpen . . . . .	107
4.3.2.2.5	Wasser- und Dampfstrahlpumpen . . . . .	108
4.3.2.2.5.1	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von ver- schiedenen Quecksilber-Dampfstrahlpumpen . . . . .	109
4.3.2.2.5.2	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von verschiedenen Öl-Dampfstrahlpumpen . . . . .	110
4.3.2.2.6	Quecksilber-Diffusionspumpen . . . . .	111
4.3.2.2.6.1	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von verschiedenen Quecksilber-Diffusionspumpen . . . . .	112
4.3.2.2.7	Öldiffusionspumpen . . . . .	114
4.3.2.2.7.1	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von ver- schiedenen Öldiffusionspumpen . . . . .	116
4.3.2.2.7.2	Der Einfluß der Gasart auf das Saugvermögen von Öldiffusionspumpen	118
4.3.2.2.7.3	Der Einfluß der Heizung auf die Eigenschaften von Öldiffusionspum- pen . . . . .	118
4.3.2.2.7.3.1	Der Einfluß der Heizung auf das Saugvermögen von Öl- diffusionspumpen . . . . .	119
4.3.2.2.7.4	Der Einfluß thermischer Entgasung des Treibmittels auf das mit Öl- diffusionspumpen erreichbare Endvakuum . . . . .	120
4.3.2.2.7.5	Molekül-Massenspektrogramme verschiedener Diffusionspumpenöle . . . . .	121
4.3.2.2.7.5.1	Massenspektrogramme von Diffusionspumpenölen auf Mineralölbasis . . . . .	121
4.3.2.2.7.5.2	Massenspektrogramme von Diffusionspumpenölen, die aus Einzelsubstanzen bestehen . . . . .	121
4.3.2.2.8	Adsorptions- und Kryopumpen . . . . .	127
4.3.2.2.8.1	Saugvermögen $S_p$ für Luft als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von Adsorptions- und Kryopumpen. . . . .	128
4.3.2.2.8.2	Adsorption von Gasen an mit flüssiger Luft gekühlter Kokosnußkohle	129
4.3.2.2.8.3	Das spezifische Saugvermögen $s_p$ von Kryopumpen als Funktion der Temperatur $T$ der Kondensationsfläche mit dem Gasdruck $p$ als Para- meter . . . . .	130
4.3.2.2.9	Ionen-Getterpumpen . . . . .	131
4.3.2.2.9.1	Saugvermögen $S_p$ als Funktion des Ansaugdruckes $p_p$ von Ionen- Getterpumpen . . . . .	134
4.4	Vakuumsysteme . . . . .	135
4.4.1	Strömungsgesetz für Vakuumsysteme in formaler Analogie zum OHMSchen Gesetz . . . . .	135
4.4.1.1	Druckabfall an einer Blende in der Saugleitung . . . . .	136
4.4.1.1.1	Tafel zum Druckabfall an einer Blende in der Saugleitung . . . . .	137
4.4.2	Strömungsleitwerte für Vakuumsysteme . . . . .	138
4.4.2.1	Strömungsleitwerte für den POISEUILLEbereich . . . . .	140
4.4.2.2	Strömungsleitwerte für den Übergangsbereich . . . . .	141
4.4.2.3	Strömungsleitwerte für den KNUDSENbereich . . . . .	141
4.4.2.3.1	Tafel zu Strömungsleitwerten verschiedener Elemente in Hochvakuumssystemen	142
4.4.3	Die Größe des wirksamen Saugvermögens . . . . .	143
4.4.3.1	Tafel zur Größe des wirksamen Saugvermögens . . . . .	144
4.4.4	Gasquellen im Rezipienten . . . . .	145
4.4.4.1	Gasentwicklung aus der Abgabe von an inneren Wandflächen adsorbierten Gasen . . . . .	145
4.4.4.1.1	Vorbehandlung von Gummidichtungen zur Verringerung der Gasabgabe . . . . .	148
4.4.4.2	Gasentwicklung aus der Kräckung von Fett- und Öldämpfen durch Ionisierung . . . . .	148
4.4.4.3	Beispiel für die Beeinflussung des Endvakuums durch die Gasabgabe verschiedener Dich- tungsmaterialien . . . . .	149
4.4.5	Die Größe des Neutralteilchenstromes aus einer Öffnung . . . . .	151
4.4.5.1	Anordnung zur Messung des Gasdurchsatzes durch Kapillaröffnungen . . . . .	152

4.4.6	Endvakuum und Auspumpzeit für einen Rezipienten . . . . .	153
4.4.6.1	Nomogramm zur Ermittlung der Auspumpzeit $t$ . . . . .	155
4.4.7	Die Elemente eines Hochvakuumsystems mit Quecksilber-Diffusionspumpe . . . . .	156
4.4.8	Die Elemente eines Hochvakuumsystems mit Öldiffusionspumpe . . . . .	157
4.4.9	Die Elemente eines Höchstvakuumsystems mit Ionen-Getterpumpe . . . . .	158
4.4.10	Maßnahmen zur Erzeugung von Drücken unter $10^{-6}$ Torr . . . . .	159
4.5	Vakuummessung . . . . .	162
4.5.1	Meßbereiche und Eigenschaften der wichtigsten Arten von Vakuummetern . . . . .	162
4.5.2	Die Anzeige eines Wärmeleitungsmanometers bei verschiedenen Gasen . . . . .	165
4.5.3	Die Geometrie von Glühkathoden-Ionisationsmanometern . . . . .	166
4.5.3.1	Die Anzeige eines Glühkathoden-Ionisationsmanometers bei verschiedenen Gasen . . . . .	167
4.5.4	Die Geometrie von Kalkkathoden-Ionisationsmanometern (PENNING-Typ) . . . . .	169
4.5.4.1	Die Anzeige von Kalkkathoden-Ionisationsmanometern bei verschiedenen Gasen . . . . .	170
4.5.5	Die Geometrie von Kalkkathoden-Ionisationsmanometern (Magnetrontyp) . . . . .	171
4.5.5.1	Die Anzeige von Kalkkathoden-Ionisationsmanometern bei verschiedenen Gasen . . . . .	172
4.5.6	Partialdruck-Meßgeräte . . . . .	173
4.5.6.1	Aufbau und Wirkungsweise einiger Partialdruck-Meßgeräte . . . . .	173
4.5.6.2	Kennwerte einiger Partialdruck-Meßgeräte . . . . .	177
4.6	Gaseinströmung in Vakuumsysteme . . . . .	178
4.6.1	Methoden zum Einlassen von Gas . . . . .	178
4.6.1.1	Gaseinlaß durch geheizte Metallwände . . . . .	180
4.6.1.2	Durchlässigkeit einer Kapillare für Luft als Funktion ihres Durchmessers . . . . .	181
4.6.2	Undichtigkeiten an Vakuumapparaturen . . . . .	182
4.6.2.1	Richtwerte für die zulässige Undichtheit von Bauteilen für Vakuumapparaturen als Funktion des geforderten Druckes . . . . .	182
4.6.2.2	Abschätzung des Endvakuums aus der Undichtheit . . . . .	183
4.6.2.3	Maximal zulässige Undichtheit eines von der Pumpe abgetrennten Rezipienten . . . . .	183
4.6.3	Methoden der Dichtheitsprüfung und Lecksuche . . . . .	184
4.6.3.1	Gasentladungsfarben bei verschiedenen Gasen und Dämpfen . . . . .	187
4.6.3.2	Lecksuche mit Hilfe einer Kalkkathoden-Polschuhlinse-Gasentladung . . . . .	188
4.6.3.3	Lecksuche mit Bromphenolblau . . . . .	190
4.6.3.4	Testgaspartialdruck im Rezipienten als Funktion der Besprühzeit . . . . .	190
4.6.3.5	Lecksucher mit Kalkkathoden-Ionisationsmanometer und Palladiumröhrchen als $H_2$ -Ventil . . . . .	192
4.6.3.6	Lecksucher mit aktivierter Platindiode und Halogen-Effekt . . . . .	194
4.6.3.7	Massenspektrometer-Lecksucher . . . . .	195
4.6.3.7.1	Verschiedene Anwendungsmöglichkeiten eines Massenspektrometer-Lecksuchers . . . . .	195
4.7	Werkstoffe der Vakuumtechnik . . . . .	197
4.7.1	Metalle, Legierungen und metallisch leitende Werkstoffe . . . . .	197
4.7.1.1	Probleme und Literaturhinweise . . . . .	197
4.7.1.2	Eigenschaften vakuumtechnisch wichtiger Metalle . . . . .	205
4.7.1.2.1	Physikalische Eigenschaften vakuumtechnisch wichtiger Metalle . . . . .	205
4.7.1.2.2	Chemisches Verhalten hochschmelzender Metalle . . . . .	207
4.7.1.2.3	Thermische Daten von Wolfram . . . . .	208
4.7.1.2.4	Handelsübliche Formen von Wolfram . . . . .	209
4.7.1.3	Eigenschaften vakuumtechnisch wichtiger Legierungen . . . . .	210
4.7.1.3.1	Physikalische Eigenschaften von Eisenlegierungen . . . . .	210
4.7.1.3.2	Physikalische Eigenschaften von Nickel- und Kupfer-Legierungen . . . . .	211
4.7.1.4	Gasdurchlässigkeit, Gasgehalt, Gasabgabe und Gasaufnahme von Metallen . . . . .	212
4.7.1.4.1	Gasdurchlässigkeit von Metallwänden als Funktion der Temperatur . . . . .	212
4.7.1.4.2	Richtwerte für den Gasgehalt in Metallen . . . . .	214
4.7.1.4.3	Vorentgasungstemperaturen und -zeiten der wichtigsten Elektrodenmetalle . . . . .	216

4.7.1.4.4	Gasabgabe von W- und Mo-Blech als Funktion der Ausheiztemperatur . . . . .	217
4.7.1.4.5	Ausheizdauer von Blechen als Funktion der Ausheiztemperatur . . . . .	218
4.7.1.4.6	Herstellung physikalisch reiner Metalloberflächen . . . . .	219
4.7.1.4.7	Einfluß der Ausheizung auf den Restgasdruck . . . . .	220
4.7.1.4.7.1	Restgasdruck als Funktion der Pumpzeit während des Ausheizens eines Gasentladungsrohres aus Metall . . . . .	220
4.7.1.4.7.2	Einfluß der Ausheizbedingungen auf den Restgasdruck in einer modernen Metallapparatur mit polierten inneren Oberflächen . . . . .	221
4.7.1.4.8	Einfluß der Ausheizung eines Metall-Gasentladungsrohres auf die Restgaszusammensetzung . . . . .	222
4.7.1.4.9	Typischer Druckverlauf als Funktion der Zeit beim Evakuieren eines Gefäßes durch Auspumpen und anschließende Getterung . . . . .	224
4.7.1.4.10	Gasaufnahme von Gettermetallen und anderen Getterstoffen . . . . .	225
4.7.1.4.11	Einfangwahrscheinlichkeit $W$ für Argonionen und eine Titanaufdampfschicht als Funktion der Ionenenergie $eU$ . . . . .	226
4.7.1.5	Herstellung von Schweiß- und Lötverbindungen . . . . .	226
4.7.1.5.1	Lötverbindungen . . . . .	226
4.7.1.5.1.1	Einige Weichlote und zugehörige Flußmittel . . . . .	228
4.7.1.5.1.1.1	Einige Speziallote mit besonders tiefem Schmelzpunkt . . . . .	229
4.7.1.5.1.2	Einige Hartlote und zugehörige Flußmittel . . . . .	229
4.7.1.5.2	Punktschweißbarkeit von Metallen . . . . .	230
4.7.1.6	Arten der Oberflächenbehandlung von metallischen Bauelementen der Vakuumtechnik . . . . .	231
4.7.2	Glas und Quarz . . . . .	232
4.7.2.1	Probleme und Literaturhinweise . . . . .	232
4.7.2.2	Eigenschaften vakuumtechnisch wichtiger Gläser . . . . .	237
4.7.2.2.1	Schematisches Viskositätsdiagramm von Glas . . . . .	237
4.7.2.2.2	Physikalische Eigenschaften verschiedener Glasarten . . . . .	238
4.7.2.2.3	Materialkonstanten vakuumtechnisch wichtiger Gläser . . . . .	239
4.7.2.2.3.1	Deutsche Gläser . . . . .	239
4.7.2.2.3.2	Amerikanische Gläser . . . . .	241
4.7.2.2.4	Materialkonstanten von Zwischengläsern (Schott) . . . . .	242
4.7.2.2.5	Auswahl der Gläser für verschiedene Anwendungszwecke . . . . .	243
4.7.2.2.6	Spezifische Wärme und Wärmeleitfähigkeit einiger Gläser als Funktion der Temperatur . . . . .	245
4.7.2.2.7	Einige elektrische Eigenschaften von Gläsern . . . . .	246
4.7.2.2.7.1	Spezifischer elektrischer Widerstand $P$ von Gläsern als Funktion der Temperatur $T$ . . . . .	246
4.7.2.2.7.2	Spezifischer elektrischer Oberflächenwiderstand $R_{ob}$ einiger Gläser als Funktion der Luftfeuchtigkeit $F_{rel}$ . . . . .	247
4.7.2.2.7.3	Durchschlagsspannung $U_D$ einiger Gläser als Funktion der Glasdicke $d$ . . . . .	248
4.7.2.3	Gasdurchlässigkeit und Gasabgabe von Gläsern . . . . .	249
4.7.2.3.1	Heliumdurchlässigkeit verschiedener Gläser als Funktion der Temperatur . . . . .	249
4.7.2.3.2	Durchführung der Entgasung und Gasabgabe von Gläsern . . . . .	250
4.7.2.3.3	Gasabgabe einiger Gläser als Funktion der Temperatur . . . . .	251
4.7.2.3.4	Restgasdruck als Funktion extrem langer Pumpzeit in einem ausgeheizten Gasentladungsrohr aus Glas . . . . .	252
4.7.2.4	Absorptionskoeffizienten $\mu$ einiger Gläser für Röntgen- und Gammastrahlung als Funktion der Wellenlänge $\lambda$ . . . . .	253
4.7.2.5	Strombelastbarkeit für eindrätige Einschmelzungen . . . . .	254
4.7.2.6	Daten der Normalschliffe für Hochvakuum . . . . .	255
4.7.3	Keramik . . . . .	256
4.7.3.1	Eigenschaften vakuumtechnisch wichtiger Keramiken . . . . .	256
4.7.3.1.1	Physikalische Eigenschaften verschiedener Keramikarten . . . . .	256
4.7.3.1.1.1	Silikatkeramiken . . . . .	256
4.7.3.1.1.2	Oxydkeramiken und Karbide . . . . .	258
4.7.3.1.2	Materialkonstanten vakuumtechnisch wichtiger Keramiken . . . . .	260
4.7.3.1.3	Wärmeleitfähigkeit einiger Keramiken als Funktion der Temperatur $T$ . . . . .	263
4.7.3.1.4	Einige elektrische Eigenschaften von Keramiken . . . . .	264

4.7.3.1.4.1	Spezifischer elektrischer Widerstand $P$ einiger keramischer Werkstoffe als Funktion der Temperatur $T$ . . . . .	264
4.7.3.1.4.2	Spezifischer elektrischer Oberflächenwiderstand $R_{Ob}$ einiger Keramiken als Funktion der Luftfeuchtigkeit $F_{rel}$ . . . . .	266
4.7.3.1.4.3	Durchschlagsspannung $U_D$ von Steatitkeramiken als Funktion der Dicke $d$ . . . . .	267
4.7.4	Hilfswerkstoffe . . . . .	268
4.7.4.1	Eigenschaften vakuumtechnisch wichtiger Hilfswerkstoffe . . . . .	268
4.7.4.1.1	Physikalische Eigenschaften von Kunststoffen, Elastomeren, Glimmer und Asbest . . . . .	268
4.7.4.1.1.1	Kunststoffe . . . . .	268
4.7.4.1.1.2	Elastomere, Glimmer und Asbest . . . . .	270
4.7.4.1.1.3	Spezifischer elektrischer Widerstand $P$ von Kunststoffen, Elastomeren, und Glimmer als Funktion der Temperatur $T$ . . . . .	271
4.7.4.1.2	Eigenschaften von Kitten der Vakuum- und Werkstatt-Technik . . . . .	272
4.7.4.1.3	Eigenschaften von Klebemitteln der Vakuum- und Werkstatt-Technik . . . . .	274
4.7.4.1.3.1	Klebstoffe auf Epoxydharz-Basis . . . . .	274
4.7.4.1.3.2	Sonstige Klebstoffe . . . . .	275
4.8	Bauelemente der Vakuumtechnik . . . . .	276
4.8.1	Starre Verbindungen . . . . .	276
4.8.1.1	Gestaltung von Dichtungen . . . . .	276
4.8.1.1.1	Anordnungen und Abmessungen von Gummidichtungen . . . . .	276
4.8.1.1.1.1	Dichtungen ohne metallischen Anschlag . . . . .	278
4.8.1.1.1.2	Dichtungen mit metallischem Anschlag . . . . .	279
4.8.1.1.1.3	Dichtungen mit Wulstflansch . . . . .	281
4.8.1.1.1.4	Dichtungen an rechteckigen Vakuumkammern . . . . .	282
4.8.1.1.1.5	Dichtungen mit verringerter Gasabgabe . . . . .	283
4.8.1.1.1.6	Rundringe nach TGL 6365 und TGL 26-3005 . . . . .	284
4.8.1.1.1.7	Rundringe für DIN-Flansche nach Leybold . . . . .	285
4.8.1.1.1.8	Rundringe nach Gerätebau-Anstalt Balzers . . . . .	287
4.8.1.1.1.9	Rundringe nach Brit. Standard . . . . .	288
4.8.1.1.1.10	Flachringe nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne IN 184 (4) . . . . .	289
4.8.1.1.1.11	Flachringe nach Leybold . . . . .	290
4.8.1.1.1.12	Trapezringe für DIN-Flansche . . . . .	291
4.8.1.1.1.13	Dichtscheiben nach Heraeus . . . . .	292
4.8.1.1.2	Anordnungen und Abmessungen von Kunststoffdichtungen . . . . .	293
4.8.1.1.2.1	Dichtungen für untrennbare Verbindungen . . . . .	295
4.8.1.1.2.2	Dichtungen für ausheizbare Apparaturen . . . . .	296
4.8.1.1.2.3	Rundringe aus Silikongummi mit Abmessungen nach TGL 6365 . . . . .	298
4.8.1.1.2.4	Rundringe aus Kunststoffen nach Leybold . . . . .	298
4.8.1.1.2.5	Flachringe aus Kunststoffen nach Leybold . . . . .	300
4.8.1.1.2.6	Trapezringe aus Kunststoffen für DIN-Flansche nach Leybold . . . . .	301
4.8.1.1.3	Anordnungen und Abmessungen von Metalldichtungen . . . . .	302
4.8.1.1.3.1	Dichtungen aus Profilringen . . . . .	304
4.8.1.1.3.2	Dichtungen aus Flachringen und Folien . . . . .	307
4.8.1.1.3.3	Kupferdichtungen nach Forschungsinstitut Manfred v. Ardenne IN 183 (4) . . . . .	309
4.8.1.1.3.4	Metall-Rundringe nach Leybold . . . . .	310
4.8.1.1.3.5	Ultra-Dichtscheiben nach Heraeus . . . . .	311
4.8.1.2	Gestaltung von Flanschverbindungen . . . . .	311
4.8.1.2.1	Befestigung der Flansche an Rohren . . . . .	311
4.8.1.2.1.1	Feste Verbindung zwischen Flansch und Rohr . . . . .	312
4.8.1.2.1.2	Drehbare Flansche . . . . .	314
4.8.1.2.2	Flanschverbindungen mit Gummidichtung . . . . .	315
4.8.1.2.2.1	Flanschverbindungen ohne Tragring . . . . .	315
4.8.1.2.2.2	Flanschverbindungen mit Tragring . . . . .	320
4.8.1.2.2.3	Einstellbare Flanschverbindungen . . . . .	321
4.8.1.2.2.4	Flansche ohne Tragring ab Nennweite 1000 nach TGL-Entwurf 26-1007 . . . . .	322
4.8.1.2.2.5	Flansche nach TGL 11928 und 11930 . . . . .	323
4.8.1.2.2.6	Rohrflansche nach TGL 13886 und 13887 . . . . .	324
4.8.1.2.2.7	Blindflansche nach TGL 13888 und 13889 . . . . .	325
4.8.1.2.2.8	Tragringe nach TGL 11929 . . . . .	326

4.8.1.2.2.9	Flansche nach DIN 2572 (Glatte Flansche) . . . . .	327
4.8.1.2.2.10	Flansche nach DIN 2572, Ausführung nach Leybold, mit Ausdrehung für Einheitsflansch, mit Rundnut, Rechtecknut oder Trapeznut . . . . .	328
4.8.1.2.2.11	Verschweißflansche nach DIN 2572, Ausführung nach Leybold und Heraeus . . . . .	329
4.8.1.2.2.12	Flansche nach Gerätebau-Anstalt Balzers . . . . .	330
4.8.1.2.2.13	Flansche nach Edwards High Vacuum Ltd. . . . .	331
4.8.1.2.3	Kleinflanschverbindungen mit Gummidichtung . . . . .	332
4.8.1.2.3.1	Kleinflanschverbindungen nach Forschungsinstitut Manfred v. Ardenne . . . . .	332
4.8.1.2.3.2	Zweiseitige Kleinflanschverbindung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne; mit Anwendungsbeispielen . . . . .	333
4.8.1.2.3.3	Kleinflanschverbindung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne mit Zwischenstück für TGL-Flansche; mit Anwendungsbeispielen . . . . .	336
4.8.1.2.3.4	Kleinflanschverbindung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne mit Übergangsfansch für TGL-Flansche; mit Anwendungsbeispielen . . . . .	338
4.8.1.2.3.5	Kleinstflanschverbindung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne mit Übergangsfansch für TGL-Flansche . . . . .	340
4.8.1.2.3.6	Anwendungsbeispiele für Kleinstflanschverbindungen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne mit Übergangsfansch für TGL-Flansche . . . . .	341
4.8.1.2.3.7	Einzelteile zur Klein- bzw. Kleinstflanschverbindung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	342
4.8.1.2.3.8	Kleinflanschverbindung nach Leybold . . . . .	356
4.8.1.2.3.9	Übergangsfansche zum Anschluß von Kleinflanschen nach Leybold an DIN-Flansche . . . . .	357
4.8.1.2.3.10	Einzelteile zur Kleinflanschverbindung nach Leybold . . . . .	358
4.8.1.2.3.11	Kleinflanschverbindung nach Heraeus ohne und mit Zwischenstück . . . . .	360
4.8.1.2.3.12	Kleinflanschverbindung nach Edwards High Vacuum Ltd. . . . .	362
4.8.1.2.3.13	Einzelteile zur Kleinflanschverbindung nach Edwards High Vacuum Ltd. . . . .	363
4.8.1.2.4	Flanschverbindungen mit Kunststoffdichtung . . . . .	365
4.8.1.2.5	Flanschverbindungen mit Metalldichtung . . . . .	366
4.8.1.2.5.1	Flansche mit Foliendichtung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	369
4.8.1.2.5.2	Flansche mit Rechteckdichtring nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	371
4.8.1.2.5.3	Flansche mit Dreieckdichtring nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	372
4.8.1.2.5.4	Flansche mit Foliendichtung nach Edwards High Vacuum Ltd. . . . .	373
4.8.1.2.6	Flansch- und Kleinflanschverbindungen für Schauglasanordnungen . . . . .	374
4.8.1.2.6.1	Flanschverbindung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne als Schauglasanordnung mit Anschlußmaßen nach TGL 11 928 . . . . .	375
4.8.1.2.6.2	Flanschverbindung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne als Schauglasanordnung mit Anschlußmaßen nach TGL 11 930 . . . . .	376
4.8.1.2.6.3	Zweiseitige Kleinflanschverbindung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne als Schauglasanordnung . . . . .	377
4.8.1.2.6.4	Kleinflanschverbindung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne als Schauglasanordnung . . . . .	378
4.8.1.2.6.5	Einzelteile von Flansch- und Kleinflanschverbindungen für Schauglasanordnungen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	379
4.8.1.3	Gestaltung von starren Verbindungselementen . . . . .	382
4.8.1.3.1	Verbindungselemente mit Flanschen nach TGL und DIN . . . . .	383
4.8.1.3.1.1	Reduzierflansch nach VEB Carl Zeiss . . . . .	383
4.8.1.3.1.2	Reduzierstücke nach Leybold . . . . .	383
4.8.1.3.1.3	Zwischenstücke nach VEB Carl Zeiss . . . . .	384
4.8.1.3.1.4	Rohrbogen nach VEB Carl Zeiss und Leybold . . . . .	384
4.8.1.3.1.5	T-Stücke nach Leybold . . . . .	385
4.8.1.3.1.6	Kreuzstücke (Würfelform) nach VEB Carl Zeiss . . . . .	385
4.8.1.3.1.7	Kreuzstücke nach VEB Carl Zeiss . . . . .	386
4.8.1.3.1.8	Kreuzstücke nach Leybold . . . . .	386
4.8.1.3.1.9	Vorvakuumbehälter nach VEB Carl Zeiss . . . . .	387
4.8.1.3.2	Verbindungselemente mit Kleinflanschen . . . . .	387
4.8.1.3.2.1	Rohrbogen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne IN 710-0 (4) . . . . .	387
4.8.1.3.2.2	T-Stücke nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne IN 711-0-0 (4) . . . . .	388

4.8.1.3.2.3	Kreuzstücke (Würfelform) nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne IN 719-1 (3)	388
4.8.1.3.2.4	Reduzierstücke nach Leybold	389
4.8.1.3.2.5	Rohrbogen nach Leybold	389
4.8.1.3.2.6	T-Stücke nach Leybold	390
4.8.1.3.2.7	Kreuzstücke nach Leybold	390
4.8.1.3.2.8	Kleinflansche für Glasrohranschluß nach Leybold	391
4.8.1.3.2.9	Rohrleitungen nach Edwards High Vacuum Ltd.	391
4.8.1.3.2.10	Winkelstücke nach Edwards High Vacuum Ltd.	392
4.8.1.3.2.11	T-Stücke nach Edwards High Vacuum Ltd.	392
4.8.2	Bewegliche Verbindungen	393
4.8.2.1	Bauteile für bewegliche Verbindungen	395
4.8.2.1.1	Vakuumschläuche aus Gummi nach TGL 10346	395
4.8.2.1.2	Vakuumschläuche aus Kunststoff nach Leybold	396
4.8.2.1.3	Vakuumschlauch aus Kunststoff nach Gerätebau-Anstalt Balzers	396
4.8.2.1.4	Metallbälge	396
4.8.2.1.4.1	Befestigung der Metallbälge an Flanschen	398
4.8.2.1.4.2	Metallbälge nach TGL 15001, Blatt 1	399
4.8.2.1.4.3	Metallbälge nach Industrie-Werke Karlsruhe AG	402
4.8.2.1.4.4	Metallbälge nach Gerätebau-Anstalt Balzers	404
4.8.2.1.5	Wellrohre	404
4.8.2.1.5.1	Befestigung der Wellrohre an Flanschen	405
4.8.2.1.5.2	Wellrohre nach VEB Metallschlauchwerk Zwickau	406
4.8.2.1.5.3	Wellrohre nach Industrie-Werke Karlsruhe AG	406
4.8.2.2	Beispiele für bewegliche Verbindungselemente	407
4.8.2.2.1	Vakuumschläuche mit Kleinflanschen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne	407
4.8.2.2.2	Ausgleichskörper mit Flanschen nach VEB Carl Zeiss	408
4.8.2.2.3	Metallbälge mit Flanschen	409
4.8.2.2.3.1	Metallbälge mit Flanschen nach VEB Hochvakuum Dresden	409
4.8.2.2.3.2	Metallbälge mit Flanschen nach Leybold	410
4.8.2.2.3.3	Metallbälge mit Flanschen nach Heraeus	410
4.8.2.2.3.4	Metallbälge mit Kleinflanschen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne	411
4.8.2.2.3.5	Metallbälge mit Kleinflanschen nach Leybold	411
4.8.2.2.3.6	Metallbälge mit Kleinflanschen nach Edwards High Vacuum Ltd.	412
4.8.2.2.3.7	Anwendungsbeispiele für Metallbälge	413
4.8.2.2.4	Wellrohre mit Flanschen	414
4.8.2.2.4.1	Wellrohre mit Flanschen nach Leybold	414
4.8.2.2.4.2	Wellrohre mit Flanschen nach Gerätebau-Anstalt Balzers	414
4.8.2.2.4.3	Wellrohre mit Kleinflanschen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne	415
4.8.2.2.4.4	Wellrohre mit Kleinflanschen nach Leybold	415
4.8.3	Durchführungen	416
4.8.3.1	Mechanische Durchführungen	416
4.8.3.1.1	Gestaltungsprinzipien von Durchführungen für Schiebe- und Drehbewegungen	416
4.8.3.1.2	Bauteile für Schiebe- und Drehdurchführungen	423
4.8.3.1.2.1	Hutmanschetten nach TGL 6358	423
4.8.3.1.2.2	Topfmanschetten nach TGL 6360	424
4.8.3.1.2.3	Nutringe nach TGL 6361	425
4.8.3.1.2.4	Wellendichtringe nach TGL-Entwurf 16454	426
4.8.3.1.2.5	Radialdichtringe für Wellen nach DIN 6504	427
4.8.3.1.3	Ausführungsbeispiele für mechanische Durchführungen	428
4.8.3.1.3.1	Schiebedurchführung mit Metallbalg nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne	428
4.8.3.1.3.2	Schiebedurchführung mit Wellendichtringen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne	429
4.8.3.1.3.3	Schiebedurchführung mit Zwischenvakuum nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne	430
4.8.3.1.3.4	Drehdurchführung mit Wellendichtringen zur Erzeugung einer Schiebewegung im Vakuum nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne	431

4.8.3.1.3.5	Drehdurchführung mit Wellendichtringen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	432
4.8.3.1.3.6	Drehdurchführung mit Zwischenvakuum für hohe Drehzahlen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	432
4.8.3.1.3.7	Drehflansche nach Leybold . . . . .	433
4.8.3.1.3.8	Drehdurchführungen nach Leybold . . . . .	434
4.8.3.1.3.9	Drehdurchführungen nach Heraeus . . . . .	437
4.8.3.1.3.10	Drehdurchführungen nach Gerätebau-Anstalt Balzers . . . . .	438
4.8.3.1.3.11	Drehdurchführungen nach Edwards High Vacuum Ltd. . . . .	440
4.8.3.1.3.12	Vakuumpurbel nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	441
4.8.3.1.3.13	Medicus-Vakuumpurbel . . . . .	442
4.8.3.1.3.14	Vakuumpurbel nach Metallschlauchfabrik Pforzheim . . . . .	442
4.8.3.1.3.15	Vakuumpurbel als Höchstvakuum-Drehdurchführung nach Gerätebau-Anstalt Balzers . . . . .	443
4.8.3.1.3.16	Vorrichtung zur Ausführung von Verschiebungen und Schwenkungen im Vakuum . . . . .	443
4.8.3.1.3.17	Vorrichtung zur Raumzentrierung einer Elektrode im Vakuum . . . . .	444
4.8.3.2	Elektrische Durchführungen . . . . .	445
4.8.3.2.1	Gestaltungsprinzipien von elektrischen Durchführungen . . . . .	445
4.8.3.2.1.1	Durchführungen mit Glasisolierung . . . . .	446
4.8.3.2.1.2	Durchführungen mit Keramikisolierung . . . . .	450
4.8.3.2.1.3	Durchführungen mit Gummi- oder Kunststoffisolierung . . . . .	453
4.8.3.2.2	Bauteile für elektrische Durchführungen . . . . .	454
4.8.3.2.2.1	Scheibendurchführungen nach DIN 41109 . . . . .	454
4.8.3.2.2.2	Ringdurchführungen nach DIN 41109 . . . . .	455
4.8.3.2.2.3	Anglasungs-Röhrchen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne IN300 (5) . . . . .	456
4.8.3.2.2.4	Preßglasteller, 9 Durchführungen, nach Werk für Fernsehelektronik . . . . .	457
4.8.3.2.2.5	Preßglasteller, 7 Durchführungen, mit Pumpstengel, nach Werk für Fernsehelektronik . . . . .	457
4.8.3.2.2.6	Sinterglasteller, 8 Durchführungen, nach Werk für Fernsehelektronik . . . . .	458
4.8.3.2.2.7	Sinterglasteller, 13 Durchführungen, nach Werk für Fernsehelektronik . . . . .	458
4.8.3.2.2.8	Sinterglasteller, 5 Durchführungen, 1 Strebe, mit Pumpstengel, nach Werk für Fernsehelektronik . . . . .	459
4.8.3.2.2.9	Sinterglasteller, 5 Durchführungen, nach Werk für Fernsehelektronik . . . . .	459
4.8.3.2.3	Ausführungsbeispiele für Meßdurchführungen . . . . .	460
4.8.3.2.3.1	Meßdurchführung, vierpolig, mit Kunstharzisolierung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne. . . . .	460
4.8.3.2.3.2	Meßdurchführung, vierpolig, ausheizbar, mit Glasisolierung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	460
4.8.3.2.3.3	Meßdurchführung, achtpolig, mit Kunststoffisolierung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	461
4.8.3.2.3.4	Meßdurchführung, dreipolig, mit Glasisolierung, nach Leybold . . . . .	462
4.8.3.2.3.5	Meßdurchführung, vierpolig, mit Kunstharzisolierung, nach Leybold . . . . .	462
4.8.3.2.3.6	Meßdurchführung, vierpolig, mit Glasisolierung, nach Gerätebau-Anstalt Balzers . . . . .	463
4.8.3.2.4	Ausführungsbeispiele für Stromdurchführungen . . . . .	463
4.8.3.2.4.1	Stromdurchführung, 1 × 10 A, mit Glasisolierung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	463
4.8.3.2.4.2	Stromdurchführung, 2 × 30 A, mit Glasisolierung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	464
4.8.3.2.4.3	Stromdurchführung, 1 × 50 A, mit Gummi- bzw. Kunststoffisolierung und Kleinflansanschluß nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	465
4.8.3.2.4.4	Stromdurchführung, 1 × 120 A, mit Keramikisolierung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	466
4.8.3.2.4.5	Stromdurchführung, 1 × 200 A, mit Gummi- bzw. Kunststoffisolierung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	466
4.8.3.2.4.6	Stromdurchführung, 1 × 15 A, mit Keramikisolierung, nach Leybold . . . . .	467
4.8.3.2.4.7	Stromdurchführung, 2 × 15 A, mit Kunstharzisolierung, nach Leybold . . . . .	467
4.8.3.2.4.8	Stromdurchführung, 1 × 250 A, wassergekühlt, mit Gummiisolierung, nach Leybold . . . . .	468
4.8.3.2.4.9	Stromdurchführung, 1 × 800 A, wassergekühlt, mit Keramikisolierung, nach Leybold . . . . .	469

4.8.3.2.4.10	Stromdurchführung, 1 × 2500 A, wassergekühlt, mit Gummiisolierung, nach Leybold . . . . .	469
4.8.3.2.4.11	Stromdurchführung, 8 × 2 A, mit Glasisolierung, nach Heraeus . . .	470
4.8.3.2.4.12	Stromdurchführung, 3 × 20 A, mit Glasisolierung, nach Heraeus . .	470
4.8.3.2.4.13	Stromdurchführung, 6 × 40 A, mit Glasisolierung, nach Heraeus . .	471
4.8.3.2.4.14	Stromdurchführung, 1 × 60 A, mit Glasisolierung, nach Heraeus . .	471
4.8.3.2.4.15	Stromdurchführung, 1 × 500 A, wassergekühlt, nach Gerätebau-Anstalt Balzers . . . . .	472
4.8.3.2.4.16	Stromdurchführung, 1 × 200 bzw. 1 × 300 A, wassergekühlt, nach Edwards High Vacuum Ltd. . . . .	473
4.8.3.2.5	Ausführungsbeispiele für Spannungsdurchführungen . . . . .	474
4.8.3.2.5.1	Hochspannungsdurchführung, 5 kV, mit Keramikisolierung und berührungssicherer Steckverbindung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	474
4.8.3.2.5.2	Hochspannungsdurchführung, 5 kV, mit Glasisolierung, ausheizbar, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	475
4.8.3.2.5.3	Hochspannungsdurchführung, 10 kV, mit Keramikisolierung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	476
4.8.3.2.5.4	Hochspannungsdurchführung, 15 kV, mit Keramikisolierung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	477
4.8.3.2.5.5	Hochspannungsdurchführung, 30 kV, mit Keramikisolierung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	478
4.8.3.2.5.6	Hochspannungsdurchführung, 150 kV, mit Keramikisolierung und berührungssicherer Steckverbindung, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	479
4.8.3.2.5.7	Hochspannungsdurchführungen, 2,5 kV ÷ 3 kV, mit Keramik- bzw. Glasisolierung, nach Leybold . . . . .	480
4.8.3.2.5.8	Hochspannungsdurchführungen, 3 kV ÷ 15 kV, mit Glasisolierung, nach Heraeus . . . . .	482
4.8.3.2.5.9	Hochspannungsdurchführung, 10 kV, mit Keramikisolierung, nach Gerätebau-Anstalt Balzers . . . . .	484
4.8.3.2.5.10	Hochspannungsdurchführungen, 5 bzw. 10 kV, mit Glasisolierung, nach Edwards High Vacuum Ltd. . . . .	485
4.8.4	Magnetische Antriebe . . . . .	486
4.8.4.1	Gestaltungsprinzipien von magnetischen Antrieben . . . . .	486
4.8.4.1.1	Magnetische Antriebe für Schiebebewegungen . . . . .	488
4.8.4.1.2	Magnetische Antriebe für Drehbewegungen . . . . .	490
4.8.4.2	Ausführungsbeispiele für magnetische Antriebe . . . . .	491
4.8.4.2.1	Hubmagnet, Anfangskraft 0,5 kp, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne	491
4.8.4.2.2	Hubmagnet, Anfangskraft 5 kp, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne	492
4.8.4.2.3	Magnetischer Antrieb für hohe Drehzahlen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	493
4.8.5	Ventile und Ventilaggregate . . . . .	494
4.8.5.1	Gestaltungsprinzipien von Ventilen und Ventilaggregaten . . . . .	495
4.8.5.1.1	Gaseinlaßventile . . . . .	495
4.8.5.1.2	Absperrventile . . . . .	497
4.8.5.1.3	Ventilaggregate . . . . .	503
4.8.5.2	Ausführungsbeispiele nicht ausheizbarer Gaseinlaßventile . . . . .	506
4.8.5.2.1	Handbetätigte Gaseinlaßventile . . . . .	506
4.8.5.2.1.1	Einfaches Gaseinlaßventil nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne	506
4.8.5.2.1.2	Gaseinlaßventil für Feinregelung in der Nähe der Schlußstellung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	506
4.8.5.2.1.3	Gaseinlaßventil in Präzisionsausführung mit Kleinflanschanschluß nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	507
4.8.5.2.1.4	Gaseinlaßventil mit Kugel nach BUCH . . . . .	507
4.8.5.2.1.5	Gaseinlaßventile nach VEB Carl Zeiss . . . . .	508
4.8.5.2.1.6	Gaseinlaßventil nach Leybold . . . . .	509
4.8.5.2.1.7	Gaseinlaßventile nach Heraeus . . . . .	510
4.8.5.2.1.8	Gaseinlaßventile nach Balzers . . . . .	511
4.8.5.2.1.9	Gaseinlaßventile nach Edwards . . . . .	512
4.8.5.2.2	Fernbetätigte Gaseinlaßventile . . . . .	513
4.8.5.2.2.1	Fernbetätigte Gaseinlaßventile nach Balzers . . . . .	513

4.8.5.3	Ausführungsbeispiele ausheizbarer Gaseinlaßventile . . . . .	514
4.8.5.3.1	Einfaches ausheizbares Gaseinlaßventil mit Kegel, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	514
4.8.5.3.2	Ausheizbares Gaseinlaßventil mit Nadel, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	515
4.8.5.3.3	Ausheizbares Gaseinlaßventil mit Nadel, in Präzisionsausführung, kombiniert mit Absperrventil, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	516
4.8.5.3.4	Ausheizbares Gaseinlaßventil nach Leybold . . . . .	517
4.8.5.3.5	Ausheizbares Gaseinlaßventil nach Atlas-Werke . . . . .	517
4.8.5.4	Ausführungsbeispiele von Belüftungsventilen . . . . .	518
4.8.5.4.1	Handbetätigte Belüftungsventile . . . . .	518
4.8.5.4.1.1	Belüftungsventil, NW 2, mit Kleinflanschanschluß nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	518
4.8.5.4.1.2	Belüftungsventil, NW 10, mit Kleinflanschanschluß nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	518
4.8.5.4.1.3	Belüftungsventil nach VEB Carl Zeiss . . . . .	519
4.8.5.4.1.4	Belüftungsventil nach VEB Hochvakuum Dresden . . . . .	520
4.8.5.4.1.5	Belüftungsventile mit Kleinflanschanschluß nach Leybold . . . . .	521
4.8.5.4.1.6	Belüftungsventile nach Balzers . . . . .	521
4.8.5.4.1.7	Belüftungsventile nach Edwards . . . . .	522
4.8.5.4.2	Fernbetätigte Belüftungsventile . . . . .	523
4.8.5.4.2.1	Fernbetätigtes Belüftungsventil, NW 2, nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	523
4.8.5.4.2.2	Fernbetätigtes Belüftungsventil nach Leybold . . . . .	524
4.8.5.4.2.3	Fernbetätigte Belüftungsventile nach Heraeus . . . . .	525
4.8.5.4.2.4	Fernbetätigte Belüftungsventile nach Edwards . . . . .	526
4.8.5.5	Ausführungsbeispiele nicht ausheizbarer Absperrventile . . . . .	527
4.8.5.5.1	Handbetätigte Durchgangsventile . . . . .	527
4.8.5.5.1.1	Durchgangsventile nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	527
4.8.5.5.1.2	Durchgangsventil nach BOERSCH . . . . .	530
4.8.5.5.1.3	Durchgangsventile nach VEB Hochvakuum Dresden . . . . .	531
4.8.5.5.1.4	Durchgangsventile nach Leybold . . . . .	532
4.8.5.5.1.5	Durchgangsventile nach Heraeus . . . . .	535
4.8.5.5.1.6	Durchgangsventile nach Pfeiffer . . . . .	536
4.8.5.5.1.7	Durchgangsventile nach Balzers . . . . .	537
4.8.5.5.1.8	Durchgangsventile nach Edwards . . . . .	539
4.8.5.5.2	Fernbetätigte Durchgangsventile . . . . .	543
4.8.5.5.2.1	Fernbetätigtes Durchgangsventil nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	543
4.8.5.5.2.2	Fernbetätigte Durchgangsventile nach VEB Hochvakuum Dresden . . . . .	544
4.8.5.5.2.3	Fernbetätigte Durchgangsventile nach Heraeus . . . . .	545
4.8.5.5.2.4	Fernbetätigte Durchgangsventile nach Balzers . . . . .	546
4.8.5.5.2.5	Fernbetätigte Durchgangsventile nach Edwards . . . . .	549
4.8.5.5.3	Handbetätigte Eckventile . . . . .	553
4.8.5.5.3.1	Eckventile nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	553
4.8.5.5.3.2	Eckventil nach GUTHRIE-WAKERLING . . . . .	554
4.8.5.5.3.3	Eckventile nach VEB Carl Zeiss . . . . .	555
4.8.5.5.3.4	Eckventile nach VEB Hochvakuum Dresden . . . . .	557
4.8.5.5.3.5	Eckventile nach Leybold . . . . .	559
4.8.5.5.3.6	Eckventile nach Heraeus . . . . .	561
4.8.5.5.3.7	Eckventile nach Balzers . . . . .	561
4.8.5.5.3.8	Eckventile nach Edwards . . . . .	568
4.8.5.5.4	Fernbetätigte Eckventile . . . . .	569
4.8.5.5.4.1	Fernbetätigtes Eckventil nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	569
4.8.5.5.4.2	Fernbetätigte Eckventile nach VEB Carl Zeiss . . . . .	570
4.8.5.5.4.3	Fernbetätigte Eckventile nach Leybold . . . . .	571
4.8.5.5.4.4	Fernbetätigte Eckventile nach Heraeus . . . . .	574
4.8.5.5.4.5	Fernbetätigte Eckventile nach Balzers . . . . .	575
4.8.5.5.4.6	Fernbetätigtes Eckventil nach Edwards . . . . .	578
4.8.5.6	Ausführungsbeispiele ausheizbarer Absperrventile . . . . .	579
4.8.5.6.1	Handbetätigte ausheizbare Durchgangsventile . . . . .	579

4.8.5.6.1.1	Ausheizbare Durchgangsventile nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	579
4.8.5.6.1.2	Ausheizbares Durchgangsventil nach REYNOLDS . . . . .	581
4.8.5.6.1.3	Ausheizbare Durchgangsventile nach THORNESS-NIER . . . . .	582
4.8.5.6.1.4	Ausheizbare Durchgangsventile nach BAKER . . . . .	583
4.8.5.6.1.5	Ausheizbares Durchgangsventil nach BESKE . . . . .	584
4.8.5.6.1.6	Ausheizbares Durchgangsventil nach BATZER . . . . .	585
4.8.5.6.1.7	Ausheizbare Durchgangsventile nach Leybold . . . . .	586
4.8.5.6.1.8	Ausheizbare Durchgangsventile nach Techniques Nucléaires . . . . .	587
4.8.5.6.2	Fernbetätigte ausheizbare Durchgangsventile . . . . .	589
4.8.5.6.2.1	Fernbetätigte ausheizbare Durchgangsventile nach Leybold . . . . .	589
4.8.5.6.3	Handbetätigte ausheizbare Eckventile . . . . .	590
4.8.5.6.3.1	Ausheizbare Eckventile nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	590
4.8.5.6.3.2	Ausheizbares Eckventil nach ALPERT . . . . .	593
4.8.5.6.3.3	Ausheizbares Eckventil nach BROWN-COYLE . . . . .	593
4.8.5.6.3.4	Ausheizbares Eckventil nach DRAWIN . . . . .	594
4.8.5.6.3.5	Ausheizbares Eckventil nach THORNESS-NIER . . . . .	595
4.8.5.6.3.6	Ausheizbares Eckventil nach ESCHBACH-PEPERLE . . . . .	596
4.8.5.6.3.7	Ausheizbares Eckventil nach MULLANEY . . . . .	597
4.8.5.6.3.8	Ausheizbares Eckventil nach LANGE . . . . .	598
4.8.5.6.3.9	Ausheizbares Eckventil nach BOLLINGER . . . . .	599
4.8.5.6.3.10	Ausheizbare Eckventile nach Heraeus . . . . .	600
4.8.5.6.3.11	Ausheizbare Eckventile nach Atlas-Werke . . . . .	601
4.8.5.6.3.12	Ausheizbare Eckventile nach Edwards . . . . .	604
4.8.5.6.4	Fernbetätigte ausheizbare Eckventile . . . . .	607
4.8.5.6.4.1	Fernbetätigte ausheizbare Eckventile nach Balzers . . . . .	607
4.8.5.7	Sonderventile . . . . .	608
4.8.5.7.1	Absperrventil nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne zur Kombination mit Gaseinlaßventilen . . . . .	608
4.8.5.7.2	Nebelkammerventil nach POLLERMANN . . . . .	609
4.8.5.7.3	Verschlußventil nach KLIPPING-MIRGEL . . . . .	610
4.8.5.7.4	Drehschieberventil nach Audley Engineering Co. . . . .	610
4.8.5.8	Ausführungsbeispiele nicht ausheizbarer Ventilaggregate . . . . .	611
4.8.5.8.1	Handbetätigte Ventilaggregate . . . . .	611
4.8.5.8.1.1	Programm-Ventilaggregat nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	611
4.8.5.8.1.2	Programm-Ventilaggregat nach BOERSCH . . . . .	613
4.8.5.8.1.3	Programm-Ventilaggregat nach PICARD-SMITH . . . . .	614
4.8.5.8.1.4	Programm-Ventilaggregate und Ventilaggregate nach VEB Carl Zeiss . . . . .	616
4.8.5.8.1.5	Programm-Ventilaggregate nach Leybold . . . . .	618
4.8.5.8.1.6	Ventilaggregate nach Balzers . . . . .	619
4.8.5.8.2	Fernbetätigte Ventilaggregate . . . . .	622
4.8.5.8.2.1	Fernbetätigte Ventilaggregate nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	622
4.8.5.8.2.2	Fernbetätigte Ventilaggregate nach VEB Carl Zeiss . . . . .	625
4.8.5.8.2.3	Fernbetätigte Ventilaggregate nach VEB Hochvakuum Dresden . . . . .	627
4.8.5.8.2.4	Fernbetätigte Ventilaggregate nach Heraeus . . . . .	628
4.8.5.8.2.5	Fernbetätigte Ventilaggregate nach Balzers . . . . .	629
4.8.5.8.2.6	Fernbetätigtes Ventilaggregat nach Edwards . . . . .	634
4.8.6	Sinnbildliche Darstellung von Vakuum-Bauelementen und Vakuumanlagen . . . . .	635
4.8.6.1	Sinnbildliche Darstellung nach TGL 26-1009 . . . . .	635
4.8.6.1.1	Sinnbilder und Kurzzeichen für Vakuum-Bauelemente . . . . .	635
4.8.6.1.1.1	Vakuumerzeuger und Abscheider . . . . .	636
4.8.6.1.1.2	Flansche und Flanschverbindungen . . . . .	638
4.8.6.1.1.3	Starre und bewegliche Verbindungselemente . . . . .	639
4.8.6.1.1.4	Durchführungen . . . . .	640
4.8.6.1.1.5	Ventile . . . . .	641
4.8.6.1.1.6	Meß- und Kontrollgeräte . . . . .	642
4.8.6.1.1.7	Sonstige Sinnbilder und Kurzzeichen . . . . .	643
4.8.6.1.2	Sinnbildliche Darstellung von Vakuumanlagen . . . . .	644
4.8.6.1.2.1	Vakuumpfan einer Stahlgasungsanlage . . . . .	644
4.8.6.1.2.2	Vakuumpfan eines Elektronengenerators . . . . .	645
4.8.6.1.2.3	Vakuumpfan einer Kristallziehanlage . . . . .	645
4.8.6.1.2.4	Vakuumpfan eines Elektronenmikroskops . . . . .	646

4.8.6.1.2.5	Vakuumpfan einer Bedampfungsanlage mit zwei Rezipienten . . . . .	646
4.8.6.1.2.6	Vakuumpfan eines 60-kW-Elektronenstrahl-Schmelzofens . . . . .	647
4.8.6.1.2.7	Vakuumpfan eines 60-kW-Elektronenstrahl-Schmelzofens in ausführlicher Darstellung einschließlich Wasserplan . . . . .	648
4.8.6.1.2.8	Vakuumpfan eines Höchstvakuumumpfanstandes mit Molekularpumpe als Hauptpumpe . . . . .	650
4.8.6.1.2.9	Vakuumpfan eines Höchstvakuumumpfanstandes mit Diffusionspumpe als Hauptpumpe . . . . .	650
4.8.6.1.2.10	Vakuumpfan einer Grobvakuum-Trocknungsanlage . . . . .	651
4.8.6.1.2.11	Vakuumpfan einer Feinvakuum-Trocknungsanlage . . . . .	651
4.8.6.1.2.12	Vakuumpfan einer Gefrier-trocknungsanlage . . . . .	652
4.8.6.1.2.13	Vakuumpfan einer Hochvakuum-Destillationsanlage . . . . .	652
4.8.6.2	Sinnbildliche Darstellung nach DIN-Entwurf 28401 . . . . .	653
4.8.6.2.1	Sinnbilder für Vakuum-Bauelemente . . . . .	653
4.8.6.2.1.1	Vakuumpfanen . . . . .	654
4.8.6.2.1.2	Pumpenzubehör . . . . .	656
4.8.6.2.1.3	Behälter . . . . .	657
4.8.6.2.1.4	Leitungen . . . . .	657
4.8.6.2.1.5	Verbindungen . . . . .	658
4.8.6.2.1.6	Durchführungen und Zubehör . . . . .	658
4.8.6.2.1.7	Absperrorgane . . . . .	659
4.8.6.2.1.8	Meßgeräte . . . . .	661
4.8.6.2.2	Sinnbildliche Darstellung von Vakuumanlagen . . . . .	662
4.8.6.2.2.1	Vakuumpfan eines Feinvakuum-Pumpfanstandes . . . . .	662
4.8.6.2.2.2	Vakuumpfan einer Bedampfungsanlage . . . . .	663
4.8.6.2.2.3	Vakuumpfan einer Kristallzieh-anlage . . . . .	664
4.9	Konstruktionsbeispiele aus der Vakuumtechnik . . . . .	665
4.9.1	Aufbau elektronen- und ionenoptischer Geräte . . . . .	667
4.9.1.1	Mechanische Justiervorrichtungen . . . . .	667
4.9.1.2	Elektrische und magnetische Ablenssysteme als Justiervorrichtungen . . . . .	670
4.9.1.3	Geräteaufbau nach Art einer optischen Bank . . . . .	672
4.9.1.3.1	Gerät mit elektronenoptischer Bank nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	675
4.9.2	Aufbau elektronenoptischer Linsen . . . . .	676
4.9.2.1	Elektrostatische Linsen . . . . .	677
4.9.2.1.1	Objektiv nach GRIBI-THÜRKAUF-VILLIGER-WEGMANN . . . . .	678
4.9.2.1.2	Immersionsobjektiv nach PANZER . . . . .	679
4.9.2.2	Elektromagnetische Linsen . . . . .	680
4.9.2.2.1	Langbrennweitige eisengekapselte Linse nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	681
4.9.2.2.2	Zwischenlinse eines Elektronenmikroskops nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	682
4.9.2.2.3	Projektiv eines Elektronenmikroskops nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	683
4.9.2.2.4	Objektiv eines Elektronenmikroskops mit seitlich herausnehmbarem Polschuh-einsatz nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	684
4.9.2.2.5	Magnetisches Objektiv eines Elektronen-Emissionsmikroskops nach Forschungs-institut Manfred von Ardenne . . . . .	685
4.9.2.2.6	Objektiv nach RUSKA-WOLFF . . . . .	686
4.9.2.2.7	Objektiv nach DURANDEAU-FERT . . . . .	687
4.9.2.2.8	Blendenjustierung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	688
4.9.2.2.9	Kombinierte Blendenwechsel- und Blendenjustiervorrichtung nach Forschungs-institut Manfred von Ardenne . . . . .	689
4.9.2.2.10	Einstellbare Spaltblende nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	690
4.9.3	Aufbau des Systems Kamera-Leuchtschirm . . . . .	691
4.9.3.1	Kamera-Leuchtschirm-Anordnung der Elektronenmikroskope nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	695
4.9.3.2	Kamera-Leuchtschirm-Anordnung nach Philips . . . . .	696
4.9.3.3	Kamera-Leuchtschirm-Anordnung des Präzisions-Elektronenstrahl-szillographen nach For-schungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	697

4.9.3.4	Kamera-Leuchtschirm-Anordnung des Molekül-Massenspektrographen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	698
4.9.4	Aufbau von Fenstern . . . . .	699
4.9.4.1	Beobachtungsfenster . . . . .	699
4.9.4.1.1	Beobachtungsfenster mit Schauglas-Wechselvorrichtung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	700
4.9.4.1.2	Beobachtungsfenster mit Schauglas-Wechselvorrichtung, Farbgläsern und Abdeckklappe nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	701
4.9.4.1.3	Beobachtungsfenster mit rotierenden Schlitzblenden nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	702
4.9.4.1.4	Beobachtungsfenster mit rotierenden Schlitzblenden und Winkleinblick nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	703
4.9.4.1.5	Spezielle Ausführungen von Schaugläsern . . . . .	704
4.9.4.2	Strahlenfenster . . . . .	705
4.9.4.2.1	Aluminium-Fenster nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	707
4.9.4.2.2	Strahl-Umlenkammer mit Aluminium-Fenster für einen 2-MeV-Drucktank-Bandgenerator nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	708
4.9.4.2.3	Aluminium-Fenster nach CRAIG-STEYERT-TAYLOR . . . . .	709
4.9.4.2.4	Beryllium-Fenster nach PERRY . . . . .	709
4.9.4.2.5	Druckstufenfenster nach Heraeus . . . . .	710
4.9.5	Aufbau verschiedener Vakuumapparaturen . . . . .	711
4.9.5.1	Hochvakuum-Pumpstand mit elektrischer Steuerung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	711
4.9.5.2	Vollautomatischer Hochvakuum-Zwillingspumpstand nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	713
4.9.5.3	Höchstvakuum-Pumpstand nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne . . . . .	714
4.9.5.4	Hochvakuum-Bedampfungsanlage nach VEB Carl Zeiss . . . . .	715
4.9.5.5	Aufdampfeinrichtung nach HACMAN . . . . .	716
4.9.6	Allgemeine Hinweise für die Konstruktion vakuumtechnischer Anlagen . . . . .	717
4.9.6.1	Aufgabenstellung für die Konstruktion . . . . .	717
4.9.6.2	Lösung der Konstruktionsaufgabe . . . . .	718
<b>5</b>	<b>Plasmaphysik (Ausschnitte)</b> . . . . .	<b>719</b>
5.1	Physikalische Grundlagen . . . . .	719
5.1.1	Mittlere freie Weglänge der Elektronen . . . . .	719
5.1.2	Konstanz der Partialdrucksumme in einem Plasma . . . . .	719
5.1.3	Ladungsträgerdruck am Ort einer Doppelschicht im Plasma . . . . .	720
5.1.4	Anodenverlustleistung einer Bogenentladung . . . . .	720
5.2	Beispiele für verschiedene Gasentladungsarten und Plasmen . . . . .	721
5.2.1	Glühkathoden-Gasentladung . . . . .	721
5.2.1.1	Typische Kennlinien einer Glühkathodenentladung bei verschiedenen Drücken . . . . .	721
5.2.1.2	Variation der Entladungsparameter längs der Achse einer langgestreckten Glühkathoden-Gasentladung (schematisch) . . . . .	722
5.2.2	Kaltkathoden-Gasentladung . . . . .	723
5.2.2.1	Schematische Kennlinie einer Gasentladung zwischen parallelen Platten . . . . .	723
5.2.2.2	Variation der Entladungsparameter längs der Achse einer langgestreckten Glimmentladung (schematisch) . . . . .	724
5.2.2.3	Variation der Plasmaschwingungsfeldstärke längs der Achse einer langgestreckten Glimmentladung . . . . .	725
5.2.2.3.1	Schema der Meßanordnung mit Elektronenstrahlsonde von wenigen $\mu\text{m}$ Fleckdurchmesser . . . . .	725
5.2.2.3.2	Typisches Meßergebnis bei einer langgestreckten Argon-Glimmentladung . . . . .	726
5.2.3	Verschiedene Arten von Gasentladungen in starken Magnetfeldern . . . . .	727
5.2.3.1	Beispiele zu den beiden Haupttypen von Gasentladungen in starken Magnetfeldern . . . . .	728
5.2.3.2	Beispiele für eine Hochtemperatur-Plasmaeinschließung durch inhomogene Fremdmagnetfelder (Magnetische Flasche) . . . . .	729

5.2.3.3	Beispiel für eine Hochtemperatur-Plasmakompression durch ein gepulstes, inhomogenes Fremdmagnetfeld . . . . .	730
5.2.3.4	Beispiel für eine Hochtemperatur-Plasmaeinschließung durch inhomogenes Fremdmagnetfeld (Cusped field) . . . . .	730
5.2.3.5	Beispiele für eine Hochtemperatur-Plasmaeinschließung durch Eigenmagnetfelder (Pinch) . . . . .	731
5.2.4	Verschiedene Arten von Hochfrequenz-Gasentladungen . . . . .	732
5.3	Theorie des anodenseitigen Plasmas . . . . .	733
5.3.1	Bewegung von Trägern durch ein Gas unter Einfluß eines Potentialgradienten . . . . .	733
5.3.2	Ambipolare Diffusion von Ladungsträgern . . . . .	733
5.3.2.1	Ambipolare Diffusion von Ladungsträgern im Magnetfeld . . . . .	734
5.3.2.1.1	Tafel zur ambipolaren Diffusion von Ladungsträgern im Magnetfeld (Kollisions-Diffusion) . . . . .	735
5.3.2.2	Lateraler Elektronen-Diffusionskoeffizient bei axialem Magnetfeld . . . . .	736
5.3.2.2.1	Tafel zum lateralen Elektronen-Diffusionskoeffizienten bei axialem Magnetfeld (Drift-Diffusion) . . . . .	737
5.3.3	Trägerbildung in der positiven Säule . . . . .	738
5.3.4	Elektronentemperatur in der positiven Säule . . . . .	739
5.3.5	Trägerbilanz der positiven Säule . . . . .	740
5.3.6	Trägerbilanz bei Ionisierung durch schnelle Primärelektronen . . . . .	742
5.3.7	Trägerbilanz des anodenseitigen Plasmasackes einer eingeschnürten Entladung . . . . .	742
5.3.7.1	Photos von bei Unoplasmatron-Ionenquellen benutzten eingeschnürten Gasentladungen mit an das Anodenpotential angeschlossenem Plasma (Plasmablase, Plasmasack) hoher Dichte . . . . .	744
5.3.8	Prozeß der Protonenerzeugung im Plasma . . . . .	745
5.3.9	Volumenrekombination der Ladungsträger . . . . .	747
5.4	Elektronen- und Ionenströme im Plasma und an der Plasmagrenze . . . . .	748
5.4.1	Raumladungsbegrenzte Stromdichte bei ambipolarer Strömung . . . . .	748
5.4.1.1	Dicke der Doppelschicht bei beiderseitig raumladungsbegrenzter Stromdichte . . . . .	748
5.4.2	Dichte des ungerichteten Elektronenstromes im Plasma . . . . .	748
5.4.2.1	Tafel zur Dichte des ungerichteten Elektronenstromes im Plasma . . . . .	749
5.4.3	Dichte des ungerichteten Ionenstromes im Plasma . . . . .	750
5.4.4	Ionenstromdichte an der Grenzschicht des Plasmas . . . . .	750
5.4.4.1	Tafel zur Ionenstromdichte an der Grenzschicht des Plasmas . . . . .	751
5.4.5	Herbeiführung einer ionenoptisch günstigen Form der Ionenemissionsfläche eines Plasmas . . . . .	752
5.4.5.1	Visuelle Beobachtungen über die Form der Grenzen von Plasma und Ionenstrahl als Funktion der relativen Stärke des Absaugfeldes bei einer Duoplasmatron-Ionenquelle (doppelte Entladungsverdichtung) . . . . .	752
5.4.6	Zweipol-Absaugoptik für Plasma-Ionenstrahler . . . . .	754
5.4.7	Energiestreuung von Ionen durch Plasmaübergangsschicht . . . . .	755
5.4.8	Ionenstromdichte an der Grenzschicht eines Plasmas mit überwiegend gerichteter Elektronenströmung . . . . .	756
5.5	Wechselwirkungen mit eingeschossenen Ladungsträgern . . . . .	757
5.5.1	Relaxationsstrecke von in ein Plasma eingeschossenen Elektronen . . . . .	757
5.5.2	Anordnung zur Messung der Wechselwirkung von monoenergetischen mittelschnellen Elektronen mit einem Plasma . . . . .	758
5.5.2.1	Anordnung zur Plasmauntersuchung einer speziellen Niederdruck-Gasentladung mit Glühkathode . . . . .	758
5.5.2.1.1	Ergebnisse . . . . .	760
5.5.2.2	Anordnung zu Plasma-Untersuchungen einer Glimmentladung . . . . .	762
5.5.3	Relaxationsstrecke von in ein Plasma eingeschossenen positiven Ionen . . . . .	763
5.6	Plasmaschwingungen . . . . .	764
5.6.1	Frequenz von Plasmaschwingungen . . . . .	764

5.6.2	Frequenz plasmaakustischer Schwingungen . . . . .	764
5.6.2.1	Plasmaakustische Längsschwingungen (1) und Querschwingungen (2) . . . . .	766
5.6.3	Durch Plasmaschwingungen bedingter Modulationsgrad des abgesaugten Ionenstromes . . . . .	767
5.7	Plasmauntersuchungen mit Sonden . . . . .	768
5.7.1	Aufnahme von Sondencharakteristiken mit dem Präzisions-Elektronenstrahloszillographen . . . . .	768
5.7.1.1	Beispiel: Die Sondencharakteristik und ihre Feinstruktur bei einer Niedervolt-Niederdruck-Gasentladung mit Glühkathode, aufgenommen mit dem Präzisions-Elektronenstrahloszillographen . . . . .	768
5.7.2	Ermittlung von Trägerdichte, Elektronentemperatur usw. aus der Sondencharakteristik . . . . .	770
5.7.2.1	Ermittlung der Trägerdichte bei Kugelsonden aus der Sondencharakteristik . . . . .	772
5.7.2.2	Ermittlung der Trägerdichte bei Zylindersonden aus der Sondencharakteristik . . . . .	773
5.7.2.3	Kontaktpotential zwischen Plasma und stromloser Sonde . . . . .	774
5.8	Daten typischer Plasmen . . . . .	775
5.8.1	Ungefähre Richtwerte von typischen Niederdruck-Plasmen . . . . .	775
5.8.2	Axialer Verlauf von Plasmadaten bei der Unoplasmatron- und Duoplasmatron-Ionenquelle . . . . .	778
5.8.2.1	Axialer Verlauf von Plasmadaten in der Unoplasmatron-Ionenquelle . . . . .	778
5.8.2.2	Axialer Verlauf von Plasmadaten in der Duoplasmatron-Ionenquelle . . . . .	779
5.9	Plasmadynamik . . . . .	780
5.9.1	Zur Systematik der gegenwärtigen Versuchsanlagen für Kernfusion . . . . .	780
5.9.1.1	Klassifikationsschema für Versuchsanlagen zur Kernfusion . . . . .	780
5.9.1.2	Typen und Daten von Versuchsanlagen zur Kernfusion – Zylindergeometrie – Pinch . . . . .	782
5.9.1.3	Typen und Daten von Versuchsanlagen zur Kernfusion – Zylindergeometrie – Magnetische Flasche . . . . .	784
5.9.1.4	Typen und Daten von Versuchsanlagen zur Kernfusion – Torische Geometrie . . . . .	786
5.9.1.5	Typen und Daten von Versuchsanlagen zur Kernfusion – Verschiedene Geometrien . . . . .	788
5.9.2	Die bei Fusionsreaktoren auftretenden Probleme . . . . .	790
5.9.3	Plasmakanonen und Plasmastößwellenerzeuger . . . . .	795
5.9.3.1	Kapazitiver Typ (Metallische Elektroden) . . . . .	795
5.9.3.2	Induktiver Typ (Ohne Elektroden) . . . . .	796
5.10	Plasmabrenner . . . . .	798
5.10.1	Die verschiedenen Arten von Plasmabrennern . . . . .	798
5.10.2	Ausführungen von Lichtbogen-Plasmabrennern . . . . .	800
5.10.2.1	Schnitt durch einen Lichtbogen-Plasmaschneidbrenner . . . . .	800
5.10.2.2	Schnitt durch einen Lichtbogen-Plasmaspritzbrenner mit Pulverzuführung im Kathodenraum . . . . .	801
5.10.2.3	Ausführung des Lichtbogen-Plasmamikrostrahlbrenners . . . . .	802
5.10.2.3.1	Prinzip des Plasmamikrostrahlbrenners mit Mikrovolumen-Hochdrucklichtbogen . . . . .	802
5.10.2.3.2	Schnitt durch den Plasmamikrostrahlbrenner mit Mikrovolumen-Hochdrucklichtbogen . . . . .	804
5.10.2.3.2.1	Ansicht des Plasmamikrostrahlbrenners mit Mikrovolumen-Hochdrucklichtbogen während des Betriebes mit niedrig gewählter Leistung . . . . .	804
5.10.3	Typische Betriebsdaten eines Lichtbogen-Plasmaschneidbrenners . . . . .	805
5.10.3.1	Der molare Energieinhalt $W$ bzw. die Teilchenenergie $eU$ verschiedener Gase als Funktion der absoluten Temperatur $T$ . . . . .	806
5.10.4	Anwendungen des Lichtbogen-Plasmabrenners . . . . .	807
5.10.5	Typische Ergebnisse des Lichtbogen-Plasmabrenners . . . . .	809
5.10.5.1	Schneiden von Gußeisen . . . . .	809
5.10.5.2	Herstellung von Formteilen aus Wolfram . . . . .	810
5.10.6	Anwendungen des Plasmafeinstrahlbrenners mit Kleinvolumen-Hochdrucklichtbogen und des Plasmamikrostrahlbrenners mit Mikrovolumen-Hochdrucklichtbogen . . . . .	811
5.10.7	Typische Ergebnisse des Plasmafeinstrahlbrenners mit Kleinvolumen-Hochdrucklichtbogen und des Plasmamikrostrahlbrenners mit Mikrovolumen-Hochdrucklichtbogen . . . . .	812

