

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 λ 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 Verdampfungs-öfen	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_{Dis} 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 Δp als Funktion des Kompressionsverhältnisses κ 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 Wälzkolbenpumpen-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 verschiedenen 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 verschiedenen 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 Öldiffusionspumpen	118
4.3.2.2.7.3.1	Der Einfluß der Heizung auf das Saugvermögen von Öldiffusionspumpen	119
4.3.2.2.7.4	Der Einfluß thermischer Entgasung des Treibmittels auf das mit Öldiffusionspumpen 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 Parameter	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 Hochvakuumsystemen	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 Dichtungsmaterialien	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 Kaltkathoden-Ionisationsmanometern (PENNING-Typ)	169
4.5.4.1	Die Anzeige von Kaltkathoden-Ionisationsmanometern bei verschiedenen Gasen	170
4.5.5	Die Geometrie von Kaltkathoden-Ionisationsmanometern (Magnetrontyp)	171
4.5.5.1	Die Anzeige von Kaltkathoden-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 Kaltkathoden-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 Kaltkathoden-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 μ einiger Gläser für Röntgen- und Gammastrahlung als Funktion der Wellenlänge λ	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 Kittenden 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	Kupferdichtringe 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 Tragrings	315
4.8.1.2.2.2	Flanschverbindungen mit Tragrings	320
4.8.1.2.2.3	Einstellbare Flanschverbindungen	321
4.8.1.2.2.4	Flansche ohne Tragrings 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	Tragrings 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	Vorschweißflansche 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 Übergangflansch für TGL-Flansche; mit Anwendungsbeispielen	338
4.8.1.2.3.5	Kleinstflanschverbindung nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne mit Übergangflansch für TGL-Flansche	340
4.8.1.2.3.6	Anwendungsbeispiele für Kleinstflanschverbindungen nach Forschungsinstitut Manfred von Ardenne mit Übergangflansch 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	Übergangflansche 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 IN 300 (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 Kleinflanschanschluß 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 Gummiisolation, 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 Schiebewebungen	488
4.8.4.1.2	Magnetische Antriebe für Drehbewebungen	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	Nebekammerventil 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	Vakuumplan einer Bedampfungsanlage mit zwei Rezipienten	646
4.8.6.1.2.6	Vakuumplan eines 60-kW-Elektronenstrahl-Schmelzofens	647
4.8.6.1.2.7	Vakuumplan eines 60-kW-Elektronenstrahl-Schmelzofens in ausführlicher Darstellung einschließlich Wasserplan	648
4.8.6.1.2.8	Vakuumplan eines Höchstvakuum pumpstandes mit Molekularpumpe als Hauptpumpe	650
4.8.6.1.2.9	Vakuumplan eines Höchstvakuum pumpstandes mit Diffusionspumpe als Hauptpumpe	650
4.8.6.1.2.10	Vakuumplan einer Grobvakuum-Trocknungsanlage	651
4.8.6.1.2.11	Vakuumplan einer Feinvakuum-Trocknungsanlage	651
4.8.6.1.2.12	Vakuumplan einer Gefriertrocknungsanlage	652
4.8.6.1.2.13	Vakuumplan 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	Vakuumpumpen	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	Vakuumplan eines Feinvakuum-Pumpstandes	662
4.8.6.2.2.2	Vakuumplan einer Bedampfungsanlage	663
4.8.6.2.2.3	Vakuumplan einer Kristallziehanlage	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 Ablensysteme 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 Forschungsinstitut 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 Forschungsinstitut 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-Elektronenstrahlloszillographen nach Forschungsinstitut 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 Winkeleinblick 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
5	Plasmaphysik (Ausschnitte)	719
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 μm 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 stremlloser 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 Plasmastoßwellenerzeuger	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