

oerlikon
leybold vacuum

Grundlagen der Vakuumtechnik

00.200.01

Kat.-Nr. 199 89



Inhaltsverzeichnis

1	Vakuumentchnik	9	2.1.2.9	Öle für Rotationsverdränger-Vakuumpumpen	33	4	Gasbindende Vakuumpumpen	75
1.1	Beginn der Vakuumentchnik	9	2.2	Trockenlaufende Rotations-Verdrängerpumpen, die gegen Atmosphäre verdichten	34	4.1	Sorptionspumpen	75
1.2	Normalbedingungen	10	2.2.1	Klauenpumpen	34	4.1.1	Adsorptionspumpen	75
1.3	Die atmosphärische Luft	10	2.2.1.1	Klauenpumpen mit innerer Verdichtung für die Halbleiterindustrie („DRYVAC“-Reihe)	35	4.1.2	Verdampferpumpen	76
1.4	Maßsysteme	10	2.2.1.2	Klauenpumpen ohne innere Verdichtung für die Chemie („ALL-ex“)	38	4.1.3	Ionen-Zerstäuberpumpen (IZ-Pumpen)	76
1.5	Vakuumentchnik bei Oerlikon Leybold Vacuum	11	2.2.2	Schraubenvakuumpumpen	40	4.1.4	Massivgetterpumpen (NEG-Pumpen)	78
1.6	Größen, deren Formelzeichen, Einheiten und Definitionen	11	2.2.2.1	Schraubenvakuumpumpen für industrielle Anwendung	42	4.2	Kryopumpen	78
1.6.1	Vakuumentechische Grundbegriffe	11	2.2.2.2	Schraubenvakuumpumpen für die Halbleiterindustrie (DuraDry)	44	4.2.1	Arten von Kryopumpen	79
1.6.2	Die Gasgesetze und Modellvorstellungen	15	2.2.3	Scroll-Pumpen	47	4.2.2	Kaltkopf und dessen Arbeitsweise	79
1.6.2.1	Kontinuumstheorie	15	2.3	Trockenlaufende Rotations-Verdrängerpumpen, die nicht gegen Atmosphäre verdichten (Wälzkolben- oder Roots-pumpen)	47	4.2.3	Die Refrigerator-Kryopumpe	81
1.6.2.2	Kinetische Gastheorie	15	2.4	Trockenlaufende Oszillations-verdränger-Vakuumpumpen	53	4.2.4	Bindung von Gasen an Kaltflächen	81
1.7	Die Druckbereiche der Vakuumentchnik und ihre Charakterisierung	16	2.4.1	Membranpumpen	53	4.2.5	Saugvermögen und Lage der Kaltflächen	82
1.7.1	Viskose- oder Kontinuumsströmung	16	2.4.2	Hubkolbenpumpen	54	4.2.6	Kenngrößen einer Kryopumpe	83
1.7.2	Molekularströmung	17	2.4.2.1	Pumpen mit Kurbelwellenantrieb (EcoDry L, EcoDry M)	55	5	Die Auswahl des Pumpverfahrens und Dimensionierung der Pumpen	86
1.7.3	Knudsenströmung	17	2.4.2.2	Kolbenpumpen mit Linearantrieb für kleine Saugvermögen	58	5.1	Übersicht über die gebräuchlichsten Vakuumverfahren	86
1.8	Berechnung von Strömungsleitwerten	17	2.5	Antriebsoptionen für mechanische Pumpen bei 1-Phasen-Netzen (Weltmotor für alle für 1-Phasen-Spannungen)	58	5.1.1	Abpumpen von Gasen (trockene Prozesse)	87
1.8.1	Leitwerte von Rohrleitungen und Öffnungen	18	3	Kinetische Vakuumpumpen	60	5.1.2	Abpumpen von Gasen und Dämpfen (nasse Prozesse)	88
1.8.2	Leitwerte anderer Bauelemente	19	3.1	Treibmittelpumpen	60	5.1.3	Trocknungsprozesse	90
1.8.3	Nomographische Bestimmung von Leitwerten	19	3.1.1	(Öl-)Diffusionspumpen	60	5.1.4	Erzeugung ölfreier (kohlenwasserstofffreier) Vakua	91
1.9	Praktische Auswirkungen der unterschiedlichen Strömungsformen	20	3.1.2	(Öl-)Dampfstrahlpumpen	62	5.1.5	Ultrahochvakuum: Arbeitstechnik	91
1.10	Kohlenwasserstoff freies Vakuum	20	3.1.3	Treibmittel	63	5.2	Dimensionierung der Vakuumanlage und Bestimmung der Pumpengröße	92
1.11	Übersicht über die verschiedenen Arten von Vakuumpumpen	22	3.1.4	Treibmittelrückströmung und ihre Unterdrückung (Dampfsperren, Baffle)	64	5.2.1	Evakuieren eines Vakuumbehälters (ohne zusätzlichen Gas- oder Dampfanfall)	93
2	Mechanische Vakuumpumpen	23	3.1.5	Wasserstrahl- und Wasserdampfstrahlpumpen	65	5.2.1.1	Evakuieren eines Behälters im Grobvakuumbereich	93
2.1	Flüssigkeitsgedichtete Rotations-Verdrängerpumpen	23	3.2	Turbo-Molekularpumpen	66	5.2.1.2	Evakuieren eines Behälters im Feinvakuumbereich	93
2.1.1	Flüssigkeitsringvakuumpumpen	23	3.2.1	Überblick	66	5.2.1.3	Evakuieren eines Behälters im Hochvakuumbereich	94
2.1.2	Ölgedichtete Rotations-Verdrängerpumpen	23	3.2.2	Funktionsprinzip	67	5.2.2	Evakuieren eines Behälters bei Anfall von Gasen und Dämpfen	95
2.1.2.1	Drehschieberpumpen (TRIVAC A, TRIVAC B, TRIVAC E, SOGEVAC)	23	3.2.3	Kenngößen	68	5.2.3	Pumpendimensionierung bei Trocknungsprozessen	95
2.1.2.2	Sperrschieberpumpen	25	3.2.4	Installation und Betriebs-hinweise	69	5.2.4	Wahl der geeigneten Vorpumpe	96
2.1.2.3	Trochoidenpumpen	26	3.2.5	Besondere Anforderungen	71	5.2.4.1	Bestimmung der Vorkvakuumpumpe mit Hilfe von Saugvermögens- und Saugleistungskurven	97
2.1.2.4	Der Gasballast	27	3.2.6	Messungen an Turbo-Molekularpumpen	72			
2.1.2.5	Gleichzeitiges Abpumpen von Gasen und Dämpfen	28						
2.1.2.6	Wasserdampfverträglichkeit	29						
2.1.2.7	Kondensatoren	30						
2.1.2.8	Zubehör zu ölgedichteten Rotations-Verdrängerpumpen	32						

Inhaltsverzeichnis

5.2.4.2	Bestimmung der richtigen Kombination von Hoch- und Vorvakuumpumpen mit Operationsdiagrammen	98
5.2.5	Ermittlung von Auspumpzeiten aus Nomogrammen	100
5.2.6	Computergestützte Berechnungen von Oerlikon Leybold Vacuum	101
6	Verbindungselemente – Flansche und Ventile	102
6.1	Flansche und ihre Abdichtungen	102
6.1.1	Flanschsysteme	102
6.1.1.1	Kleinflansche	102
6.1.1.2	Klammerflansche	102
6.1.1.3	Feste Flansche	102
6.1.1.4	Feste Flansche	102
6.1.1.5	Materialbezeichnungen für metallische Werkstoffe in der Vakuumtechnik	104
6.1.2	Dichtungen	105
6.1.2.1	Elastomerdichtungen	105
6.1.2.2	Metallische Dichtungen	105
6.2	Auswahl geeigneter Ventile	106
6.3	Gasschleusen und Verschußventile	107
7	Das Messen niedriger Drücke, Drucküberwachung, Drucksteuerung und Druckregelung	108
7.1	Grundsätzliches zum Messen niedriger Drücke	108
7.2	Vakuummeter mit gasart-unabhängiger Druckanzeige	109
7.2.1	Feder-Vakuummeter	109
7.2.2	Membran-Vakuummeter	109
7.2.2.1	Kapselfeder-Vakuummeter	109
7.2.2.2	DIAVAC Membran-Vakuummeter	110
7.2.2.3	Präzisions-Membran-Vakuummeter	110
7.2.2.4	Druckschalter	110
7.2.2.5	Kapazitive Vakuummeter (auch: CDG's von Capacitance Diaphragm Gauges)	111
7.2.3	Flüssigkeits- (Quecksilber-) Vakuummeter	112
7.2.3.1	U-Rohr-Vakuummeter	112
7.2.3.2	Kompressions-Vakuummeter (nach McLeod)	112
7.3	Vakuummeter mit gasartabhängiger Druckanzeige	113
7.3.1	Reibungs-Vakuummeter (VISCOVAC)	114
7.3.2	Wärmeleitungs-Vakuummeter	114
7.3.3	Ionisations-Vakuummeter	116
7.3.3.1	Ionisations-Vakuummeter mit kalter Kathode (Penning-Vakuummeter)	116
7.3.3.2	Ionisations-Vakuummeter mit Glühkathode	117
7.4	Transmitter	119
7.4.1	Allgemeine Eigenschaften von Transmittern	119
7.4.2	Einzel Transmitter (Vakuummeter)	120
7.4.3	Kombinationstransmitter (ITR 90)	120
7.4.4	Einfluß der Auslesegeräte von Transmittern auf die Meßunsicherheit	120
7.4.4.1	Digitale Übertragung	120
7.4.4.2	Analoge Übertragung	120
7.5	Justieren, Eichen und Kalibrieren; DKD, PTB, Nationale Standards	121
7.5.1	Beispiele für fundamentale Druckmeßmethoden als Standardverfahren zum Kalibrieren von Vakuummetern	122
7.5.2	Spezifikation, Meßunsicherheit, Angaben im Kalibrierschein	123
7.5.2.1	Herstellerspezifikation eines Vakuumeters (meßtechnische)	123
7.5.2.2	Kalibrierung	123
7.6	Drucküberwachung, -steuerung und -regelung in Vakuumbehältern	124
7.6.1	Grundsätzliches zur Drucküberwachung und -steuerung	124
7.6.2	Automatische Sicherung, Überwachung und Steuerung von Vakuumanlagen	124
7.6.3	Druckregelung und -Steuerung in Grob- und Feinvakuumanlagen	125
7.6.4	Druckregelung in Hoch- und Ultrahochvakuumanlagen	127
7.6.5	Anwendungsbeispiele mit Membranreglern	128
8	Massenspektrometrische Gasanalyse bei niedrigen Drücken	130
8.1	Allgemeines	130
8.2	Geschichtliches	130
8.3	Das Quadrupol-Massenspektrometer (TRANSPLECTOR)	130
8.3.1	Aufbau des Sensors	131
8.3.1.1	Die normale (offene) Ionenquelle	131
8.3.1.2	Das Quadrupol-Trennsystem	132
8.3.1.3	Das Nachweissystem (Detektor)	133
8.4	Gaseinlaß und Druckanpassung	133
8.4.1	Dosierventil	133
8.4.2	Druckwandler	133
8.4.3	Geschlossene Ionenquelle	134
8.4.4	AGM (Aggressiv gas monitor)	134
8.5	Massenspektrometrische Kenngrößen (Spezifikationen)	134
8.5.1	Linienbreite (Auflösung)	134
8.5.2	Massenbereich	135
8.5.3	Empfindlichkeit	135
8.5.4	Kleinster nachweisbarer Partialdruck	136
8.5.5	Kleinste nachweisbares Partialdruckverhältnis (Konzentration)	136
8.5.6	Linearitätsbereich	136
8.5.7	Angaben über Oberflächen und Ausheizbarkeit	136
8.6	Auswertung von Spektren	137
8.6.1	Ionisierung und grundsätzliche Probleme der Gasanalyse	137
8.6.2	Partialdruckmessung	139
8.6.3	Qualitative Gasanalyse	140
8.6.4	Quantitative Gasanalyse	141
8.7	TranspectorWare (Prozeborientierte Software für Windows)	142
8.8	Partialdruckregelung	142
8.9	Wartung	143
9	Lecks und Lecksuche	144
9.1	Leckarten	144
9.2	Leckrate, Leckgröße, Massenstrom	144
9.2.1	Die Helium-Standard-Leckrate	146
9.2.2	Umrechnungsformeln	146
9.3	Begriffe und Definitionen	146
9.4	Lecksuchmethoden ohne Lecksuchgerät	147
9.4.1	Druckanstiegsprüfung	148
9.4.2	Druckabfallprüfung	148
9.4.3	Dichtheitsprüfung mit gasartabhängigen Vakuummetern	149
9.4.4	Blasen-Tauchprüfung (Bubble-Test)	149
9.4.5	Blasen-Sprühprüfung	149
9.4.6	Blasen-Vakuumboxprüfung	149
9.4.7	Krypton 85-Prüfung	149
9.4.8	Hochfrequenzvakuumprüfung	149
9.4.9	Prüfung mit chemischen Reaktionen und Farbeindringprüfung	150
9.5	Leckdetektoren (LD) und ihre Arbeitsweisen	150
9.5.1	Halogen-Leckdetektoren	151
9.5.1.1	Halogen-Dioden Prinzip (HLD4000, D-Tek)	151

Inhaltsverzeichnis

9.5.1.2	Infrarot Prinzip (HLD5000) ...	151	10.5	Die Z-Match Technik	163	12.3.2.1	Allgemeine Betriebshinweise, Aufstellung und Inbetriebnahme	179
9.5.2	Leckdetektoren mit Massenspektrometern (MS) ...	151	10.6	Der aktive Oszillator	164	12.3.2.2	Ölwechsel, Wartungsarbeiten	179
9.5.2.1	Die Funktionsweise eines Leckdetektors mit MS	151	10.7	Der Mode-Lock Oszillator	165	12.3.2.3	Hinweise bei Betriebsstörungen	180
9.5.2.2	Nachweisgrenze, Untergrund, Gasspeicherung im Öl (Gasballast), gleitende Nullpunktunterdrückung	152	10.8	Auto-Z Match Technik	165	12.3.3	Turbo-Molekularpumpen	180
9.5.2.3	Kalibrieren von Leckdetektoren, Prüfflecks	153	10.9	Schichtdickenregelung	166	12.3.3.1	Allgemeine Betriebshinweise ..	180
9.5.2.4	Leckdetektoren mit Quadrupol-MS (Ecotec II)	154	10.10	INFICON Gerätevarianten	168	12.3.3.2	Wartung	180
9.5.2.5	Helium-Leckdetektoren mit 180°-Sektorfeld-MS (L 200, UL 200 (dry), UL 500 (dry)) ..	155	11	Anwendungen der Vakuumtechnik für Beschichtungsverfahren	169	12.3.4	Diffusions- und Dampfstrahlpumpen	181
9.5.2.6	Hauptstrom- und Gegenstrom-Leckdetektor	156	11.1	Vakuumbeschichtungstechnik ..	169	12.3.4.1	Treibmittelwechsel und Reinigen der Pumpe	181
9.5.2.7	Teilstrombetrieb	157	11.2	Beschichtungsquellen	169	12.3.4.2	Betriebsfehler bei Diffusions- und Dampfstrahlpumpen	181
9.5.2.8	Anschluß an Vakuumanlagen ..	157	11.2.1	Thermische Verdampfer (Schiffchen etc.)	169	12.3.5	Adsorptionspumpen	181
9.5.2.9	Zeitkonstante	158	11.2.2	Elektronenstrahlverdampfer (Elektronenkanonen)	170	12.3.5.1	Verringerung der Adsorptionskapazität	181
9.6	Grenzwerte / Spezifikationen des Leckdetektors	158	11.2.3	Kathodenzerstäubung (Sputtern)	170	12.3.5.2	Auswechseln des Molekularsiebes	181
9.7	Lecksuchtechniken mit Helium-Leckdetektoren	159	11.2.4	Chemische Dampfabscheidung (CVD)	171	12.3.6	Titan-Verdampferpumpen	182
9.7.1	Sprühtechnik (Lokale Dichtheitsprüfung)	159	11.3	Vakuumbeschichtungsverfahren / Anlagentypen	171	12.3.7	Ionenerzstäuberpumpen	182
9.7.2	Schnüffeltechnik (Lokale Dichtheitsprüfung nach der Überdruckmethode)	159	11.3.1	Teilebeschichtung	171	12.4	Hinweise zum Arbeiten mit Vakuummetern	182
9.7.3	Hüllentests (Integrale Dichtheitsprüfung) ..	159	11.3.2	Bandbeschichtung	171	12.4.1	Hinweise zum Einbau von Vakuummeter-Meßsystemen ..	182
9.7.3.1	Hüllentest mit Helium-Überdruck im Prüfling	160	11.3.3	Optische Schichten	173	12.4.2	Verschmutzungen des Meßsystems und ihre Beseitigung ..	182
a)	Hüllentest mit Konzentrationsmessung und anschließender Leckratenberechnung	160	11.3.4	Glasbeschichtung	173	12.4.3	Einfluß magnetischer und elektrischer Felder	183
b)	Direkte Messung der Leckrate mit dem LD (massive Hülle) ..	160	11.3.5	Anlagen für die Herstellung von Datenspeichern	174	12.4.4	Verbindungen, Netzgeräte, Meßsysteme	183
9.7.3.2	Hüllentest mit Prüfling unter Vakuum	160	12	Betriebshinweise für Vakuum-Apparaturen ..	176	13	Tabellen, Formeln, Nomogramme, Diagramme, Bildzeichen	184
a)	Hülle = „Plastikzelt“	160	12.1	Fehlerursachen bei Nicht-Erreichen oder zu spätem Erreichen des gewünschten Enddruckes ..	176	Tabellen	184
b)	Massive Hülle	160	12.2	Verschmutzung von Vakuumbehältern und ihre Beseitigung ..	176	Tab 13.1	Die gesetzlichen Druckenheiten, sowie das Torr und ihre Umrechnung	184
9.7.4	„Bombing“-Test, „Drucklagerung“	160	12.3	Allgemeine Hinweise für Vakuumpumpen	176	Tab 13.2	Umrechnung von Druckeinheiten	184
9.8	Industrielle Dichtheitsprüfung	160	12.3.1	Ölgedichtete Rotationsverdrängerpumpen (Drehschieberpumpen und Sperrschieberpumpen) ..	176	Tab 13.3	Mittlere freie Weglänge l	184
10	Beschichtungsmeß- und Regelgeräte mit Schwingquarzen	161	12.3.1.1	Ölverbrauch, Ölverschmutzung, Ölwechsel	176	Tab 13.4	Zusammenstellung wichtiger gasketischer Formeln	186
10.1	Einführung	161	12.3.1.2	Wahl des Pumpenöls beim Abpumpen aggressiver Dämpfe ..	177	Tab 13.5	Wichtige Zahlenwerte	185
10.2	Grundlagen der Schichtdickenmessung mit Schwingquarzen ..	161	12.3.1.3	Maßnahmen beim Abpumpen verschiedener chemischer Substanzen	178	Tab 13.6	Saugvermögensseinheiten und ihre Umrechnung	185
10.3	Die Form der Schwingquarzkristalle	162	12.3.1.4	Betriebsfehler bei Gasballastpumpen - Mögliche Fehlerquellen bei Nichterreichen des geforderten Enddruckes	179	Tab 13.7a	Umrechnung von Durchfluß-(Q_{pv}) Einheiten (Leckraten-Einheiten)	185
10.4	Die Periodenmessung	163	12.3.2	Wälzkolbenpumpen (Rootspumpen)	179	Tab 13.7b	Umrechnung von Durchfluß-(Q_{pv}) Einheiten (Leckraten-Einheiten)	185

Inhaltsverzeichnis

Tab 13.8	Zusammensetzung der atmosphärischen Luft	186	Abb.13.6	Leitwerte von Rohren üblicher Nennweiten mit Kreisquerschnitt für Molekularströmung	200	14.4.2	Abgeleitete kohärente SI-Einheiten mit besonderen Namen und Einheitenzeichen (alphabetisch)	214
Tab 13.9	Druckbereiche der Vakuumtechnik und ihre Charakterisierung	186	Abb. 13.7	Nomogramm zur Ermittlung der Auspumpzeit t_p eines Behälters im Grobvakuumgebiet	201	14.4.3	Atomphysikalische Einheiten	214
Tab 13.10	Gasabgabe von Werkstoffen	186	Abb. 13.8	Nomogramm zur Ermittlung der Leitwerte von Rohren mit kreisförmigem Querschnitt für Luft bei 20 °C im Gebiet der Molekularströmung	202	14.4.4	Abgeleitete, nicht kohärente SI-Einheiten mit besonderen Namen und Einheitenzeichen	214
Tab 13.11	Nennweiten und Innendurchmesser (lichte Weiten) von Rohren und Öffnungen mit Kreisquerschnitt (nach PNEUROP)	186	Abb. 13.9	Nomogramm zur Ermittlung der Leitwerte von Rohrleitungen für Luft, bei 20 °C im gesamten Druckgebiet	203	15	Vakuumtechnisch wichtige nationale und internationale Normen und Empfehlungen	215
Tab 13.12	Die wichtigsten Daten (Kennzahlen) für gebräuchliche Lösungsmittel	186	Abb. 13.10	Ermittlung der Auspumpzeit im Feinvakuumgebiet unter Berücksichtigung der Gasabgabe von den Wänden	204	15.1	In der Vakuumtechnik besonders zu beachtende nationale und internationale Normen und Empfehlungen	215
Tab 13.13	Sättigungsdampfdruck und Dampfdichte von Wasser	187	Abb. 13.11	Sättigungsdampfdruck verschiedener Stoffe	205	16	Literaturverzeichnis	220
Tab 13.14	Explosionsklassen von Fluiden	188	Abb. 13.12	Sättigungsdampfdruck von Treibmitteln für Öl- und Quecksilber-Treibmittelpumpen	205	16.1	Übersichten, Definitionen und Historisches	220
Tab 13.15	Chemische Beständigkeit gebräuchlicher gummielastischer Dichtungswerkstoffe	189	Abb. 13.13	Sättigungsdampfdruck Vakuumtechnisch wichtiger Metalle	205	16.2	Vakuumpumpen	221
Tab 13.16a	Öl-Empfehlungen für TRIVAC-Pumpen zu verschiedenen Einsatzgebieten	190	Abb. 13.14	Dampfdruck von nicht-metallischen Dichtungsmitteln	206	16.2.1	Verdrängerpumpen; Kondensatoren	221
Tab 13.16b	Öl-Empfehlungen für SOGEVAC-Pumpen zu verschiedenen Einsatzgebieten	192	Abb. 13.15	Sättigungsdampfdrücke verschiedener Kryotechnisch wichtiger Stoffe	206	16.2.2	Turbo-Molekularpumpen	222
Tab 13.16c	Öl-Empfehlungen für Sperrschieber (E + DK)-Pumpen zu verschiedenen Einsatzgebieten	194	Abb. 13.16	Gebräuchliche Arbeitsbereiche von Vakuumpumpen	206	16.2.3	Treibmittelpumpen	223
Tab 13.16d	Öl-Empfehlungen für Wälzkolben (Roots)-Pumpen zu verschiedenen Einsatzgebieten	195	Abb. 13.16a	Meßbereiche gebräuchlicher Vakuummeter nach DIN 28400	207	16.2.4	Sorptionspumpen	223
Tab 13.16e	Daten von Treibmitteln für Öl-Diffusionspumpen	196	Abb. 13.17	Spezifischer Rauminhalt von Wasserdampf	208	16.2.5	Kryopumpen und Kryotechnik	223
Tab 13.16f	Technische Daten für Dichtungsfette und Öle	196	Abb. 13.18	Elektrische Durchbruchspannung für Luft (Paschenkurve)	208	16.2.6	Ölrückströmung	224
Tab 13.17	Bildzeichen der Vakuumtechnik (Symbole)	197	Abb. 13.19	Phasendiagramm von Wasser	209	16.3	Ultrahochvakuumtechnik	224
Tab 13.18	Temperaturvergleichs- und Umrechnungstabelle	199	14	Die gesetzlichen Einheiten in der Vakuumtechnik	210	16.4	Leitwerte, Flansche, Ventile etc.	225
Abb. 13.1	Abhängigkeit der Mittleren freien Weglänge vom Druck für verschiedene Gase bei 20 °C	199	14.1	Einführung	210	16.5	Messen niedriger Drücke	225
Abb. 13.2	Gaskinetisches Diagramm für Luft und 20 °C	199	14.2	Alphabetische Liste von Größen, Formelzeichen und Einheiten, die in der Vakuumtechnik und ihren Anwendungen häufig vorkommen	210	16.6	Drucküberwachung, -steuerung, -regelung	226
Abb. 13.3	Abnahme des Luftdruckes und Änderung der Temperatur mit der Entfernung von der Erde	200	14.3	Anmerkungen zur alphabetischen Liste des Abschnittes 14.2	213	16.7	Massenspektrometrische Gasanalyse bei niedrigen Drücken	226
Abb. 13.4	Änderung der Gaszusammensetzung der Atmosphäre mit der Entfernung von der Erde	200	14.4	Tabellen	214	16.8	Lecks und Lecksuche	227
Abb. 13.5	Leitwerte von Rohren üblicher Nennweiten mit Kreisquerschnitt für Laminarströmung	200	14.4.1	SI – Basiseinheiten	214	16.8.1	Massenspektrometrische Lecksuche	227
						16.8.2	Lecksuche mit Halogenleckdetektoren	227
						16.9	Beschichtungsmeß- und Regelgeräte	227
						16.10	Werkstoffe und Werkstoffbearbeitungen	228
						16.11	Wörterbücher	229
						17	Stichwortverzeichnis	230