

# Stadtklima und Luftreinhaltung

Ein wissenschaftliches Handbuch  
für die Praxis in der Umweltplanung

Herausgegeben von der  
VDI-Kommission Reinhaltung der Luft

Mit 152 Abbildungen und 47 Tabellen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg NewYork  
London Paris Tokyo

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung (H. Schirmer)	1
1. Definitionen (H. Schirmer)	2
1.1 Wetter, Witterung und Klima	2
1.2 Stadtklima	4
1.3 Luftzusammensetzung (J. Baumüller)	5
2. Klimatologische Wirkungsfaktoren (H. Schirmer)	6
2.1 Natürliche Wirkungsfaktoren	6
2.1.1 Geographische Breite	6
2.1.2 Art des Untergrundes	6
2.1.3 Höhenlage	7
2.1.4 Landschaftlich beeinflusste Wirkungsfaktoren	7
2.2 Anthropogene Wirkungsfaktoren	9
2.2.1 Besiedlung	10
2.2.2 Sonstige Nutzungsänderungen	10
3. Veränderungen des Klimas im Stadtbereich (W. Beckröge)	12
3.1 Strahlungshaushalt (J. Rath)	13
3.1.1 Kurzwelliger Strahlungshaushalt	13
3.1.2 Langwelliger Strahlungshaushalt	20
3.2 Energiebilanz	26
3.3 Luftströmungen (Horizontalaustausch) (W. Beckröge)	41
3.3.1 Definitionen	41
3.3.2 Geschwindigkeitsprofile	43
3.3.2.1 Spezifische Einflußparameter	48
3.3.2.2 Typische Windprofile	49
3.3.3 Richtungsänderungen in der Grenzschicht	51
3.3.4 Canopy Layer	54
3.3.4.1 Stadtspezifische Einflußparameter	54
3.3.4.2 Düseneffekte	55
3.3.4.3 Wirbelablösungen	55
3.3.4.4 Windfeld in Straßenschluchten	57
3.3.5 Aspekte für die Planung	60
3.3.5.1 Immissionsbelastungen in Straßenschluchten	60
3.3.5.2 Ventilationsbahnen, Frischluftschneisen	61
3.3.5.3 Filterfunktion von Bepflanzungen	62
3.3.5.4 Windrichtungsverteilungen und Industrieansiedlungen	64
3.4 Luftaustausch, Turbulenz	65
3.4.1 Definitionen	66
3.4.2 Stabilitätsklassen, -kriterien	67
3.4.3 Freie Konvektion	72
3.4.3.1 Stadtspezifische Einflußparameter	74

3.4.3.2	Konvektionszellen	76
3.4.4	Erzwungene Konvektion	76
3.4.4.1	Stadtspezifische Einflußparameter	79
3.4.5	Turbulenzspektren, Turbulenzintensität	80
3.4.6	Turbulenzverhalten der Atmosphäre im zeitlichen Verlauf	83
3.4.7	Planungsaspekte	84
3.4.7.1	Auswirkungen von Oberflächenveränderungen	84
3.4.7.2	Auswirkungen verschiedener Bauformen	86
3.4.7.3	Topographische Einflüsse	88
4.	Klimatische Phänomene (W. Beckröge)	91
4.1	Wärmeinsel (M. Baltrusch, G. Schütz)	92
4.1.1	Beitrag der Abwärme zum Wärmeinseleffekt	92
4.1.1.1	Begriffsbestimmung „Wärmeinsel“	92
4.1.2	Abwärmeinsel (Wärmeinsel im Winter)	95
4.1.2.1	Begriffsbestimmung „Abwärme“	96
4.1.2.2	Abwärmeentstehung	97
4.1.2.3	Emittenten der Abwärme	98
4.1.2.4	Zeitverhalten der Abwärmequellen	99
4.1.2.5	Formen der Abwärmequellen	101
4.1.2.6	Abwärmekomponenten	102
4.1.2.7	Abwärmekataster	103
4.1.3	Wirkungen der Abwärmeinsel	105
4.1.3.1	Intensität der Abwärmeinsel	106
4.1.3.2	Auswirkungen der Abwärmeinsel	108
4.1.4	Planungsvorgaben und Ziele	110
4.1.4.1	Standort- und Maßnahmenempfehlungen, Anordnung von Einzelobjekten	111
4.2	Dunsthaube, Dunstfahne (W. Beckröge)	114
4.2.1	Entstehung	114
4.2.2	Auswirkungen	114
4.2.2.1	Strahlungshaushalt	114
4.2.2.2	Nebel	118
4.2.2.3	Niederschlag	119
4.2.3	Aerosole (J. Löbel)	121
4.2.3.1	Definitionen und physikalische Eigenschaften	121
4.2.3.2	Quellen und Senken	123
4.2.3.3	Chemische Eigenschaften	125
4.2.3.4	Luftrübung und Sichtweite	127
4.2.4	Aspekte für die Planung (W. Beckröge)	130
4.3	Lokale Windsysteme	130
4.3.1	Entstehung	130
4.3.1.1	Topographisch bedingte Systeme	130
4.3.1.2	Durch Bebauung bedingte Systeme	134
4.3.1.3	Land-See-Windzirkulation	137
4.3.2	Auswirkungen	138

4.3.2.1	Frischlufztzufuhr	138
4.3.3	Aspekte für die Planung	139
4.4	Niederschlag (P. Schlaak)	141
4.4.1	Niederschlagsarten, Niederschlagsintensitäten, Niederschlagsdauer	141
4.4.2	Auswirkungen der Orographie bzw. von Stadtgebieten auf die Niederschlagshöhe	143
4.4.3	Verteilung von kräftigen Schauern bzw. Gewittern	146
4.4.4	Schneefall und Schneedeckentage	149
4.4.5	Aspekte für die Planung	149
5.	Emission, Umwandlung, Immission (J. Baumüller)	151
5.1	Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland	151
5.1.1	Quellengruppe Kraftwerke	157
5.1.2	Quellengruppe Industrie	160
5.1.3	Quellengruppe Hausbrand und Kleingewerbe	162
5.1.4	Quellengruppe KFZ-Verkehr	163
5.1.5	Emissionskataster	168
5.1.6	Emissionsminderung und -begrenzung	171
5.2	Chemische Umwandlungen von Spurenstoffen während der Ausbreitung (J. Löbel)	179
5.2.1	Chemische Reaktionen	179
5.2.2	Chemische Reaktionen und Ausbreitungsmodelle	185
5.3	Immissionen (J. Baumüller)	190
5.3.1	Langzeitentwicklungen	195
5.3.2	Jahresgang	198
5.3.3	Wochengang	200
5.3.4	Tagesgang	203
5.3.5	Inversionen und Luftbelastung	210
5.3.6	Schadstoffwindrosen	216
5.3.7	Grenzwerte, Luftbelastungsindex	217
5.3.8	Luftaustauschgrößen	227
5.3.9	Smog und Smogverordnung	231
5.3.10	Wirkungsbezogene Meßverfahren (E. Koch, W.R.Thiel)	237
5.3.10.1	Allgemeines	237
5.3.10.2	Begriffsbestimmungen	238
5.3.10.3	Wirkungserhebungen an Menschen	238
5.3.10.4	Wirkungserhebungen an Pflanzen	239
5.3.10.5	Wirkungserhebungen an Tieren	245
5.3.10.6	Wirkungserhebungen an Materialien	245
5.3.10.7	Hinweise für die Anwendung der Verfahren in Planungsfällen	246
5.3.11	Trockene Deposition (J. Löbel)	250
5.3.11.1	Definition	250
5.3.11.2	Meßverfahren	251
5.3.11.3	Meßergebnisse	252

5.3.11.4	Modellansätze	256
5.3.12	Nasse Deposition	261
5.3.12.1	Definitionen	261
5.3.12.2	Meßverfahren	265
5.3.12.3	Meßergebnisse	265
5.3.12.4	Modelle zur Behandlung der nassen Deposition	268
6.	Meßnetze, Feldexperimente, Verfahren (H. Schirmer)	274
6.1	Meßnetze (J. Baumüller)	275
6.1.1	Luftmeßnetze	275
6.2	Luftmeßnetz Schweiz (H. Schirmer)	287
6.3	Meteorologische Meßnetze in Stadtgebieten (U. Otte)	293
6.3.1	Ständige Netze (Grundnetze)	293
6.3.2	Temporäre Meßnetze	297
6.3.3	Feldexperimente	299
6.3.3.1	Horizontale Meßprofile	299
6.3.3.2	Vertikale Meßprofile	301
6.3.4	Ergänzende Meßverfahren	302
6.4	Aspekte für die Planung	306
6.5	Das digitale Geländeklimamodell des Deutschen Wetterdienstes	309
6.5.1	Grundlagen	309
6.5.2	Anwendungen	309
7.	Modellierungen (M. Kerschgens)	311
7.1	Grundlagen stadtklimatischer Modellierungen	311
7.1.1	Einleitung	311
7.1.2	Prinzipielle Gleichungen	314
7.1.3	Parametrisierungen	316
7.1.4	Anwendungen und Einschränkungen	320
7.1.4.1	Diagnostische Modelle	320
7.1.4.2	Prognostische Modelle	323
7.1.5	Vergleich mit Messungen	326
7.1.6	Aspekte für die Planung	327
7.2	Modellansätze zur Simulation der Ausbreitung von Luftbeimengungen (H. Kolb)	333
7.2.1	Einsatzbereiche - Modellarten	333
7.2.2	Modelle mit physikalischem Hintergrund	334
7.2.2.1	Stationäre Modelle (Gaußmodelle)	334
7.2.2.2	Nicht-stationäre Modelle	344
7.2.3	Statistische und empirische Modelle	354
7.2.4	Physische Modelle	355
8.	Überblick über die Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Mensch, Tier, Pflanze und Materialien (E.Koch, W.R.Thiel)	361

8.1	Vorbemerkung	361
8.2	Wirkungen auf den Menschen	361
8.2.1	Allgemeines	361
8.2.2	Wirkungscharakter einzelner Luftverunreinigungs-komponenten	366
8.3	Wirkungen auf Tiere	370
8.4	Wirkungen auf Pflanzen	370
8.4.1	Allgemeines	370
8.4.2	Wirkungscharakter einzelner Luftverunreinigungs-komponenten	372
8.5	Wirkungen auf Materialien	380
8.5.1	Allgemeines	380
8.5.2	Wirkungscharakter einzelner Luftverunreinigungs-komponenten	381
8.6	Abschließende Bemerkungen	382
8.7	Gerüche (E. Koch, G. Schütz)	386
8.7.1	Beurteilungsgrundlagen	386
8.7.2	Methoden zur Feststellung von Gerüchen	390
8.7.3	Aspekte für die Planung	396
8.7.4	Technische Verfahren zur Minderung von Geruchsimmissionen	399
8.7.5	Besondere Problemfälle	400
8.7.5.1	Kleinräumige Geruchsbelästigungen	400
8.7.5.2	Warngerüche	401
8.7.5.3	Geruchsfehlwahrnehmungen	401
9.	Gebäudeklima (H. Schirmer)	404
9.1	Allgemeines	404
9.2	Thermodynamisches Verhalten von Gebäuden (J. Rath)	404
10.	Bioklima (G. Jendritzky)	411
10.1	Einleitung	411
10.2	Der aktinische Wirkungskomplex	411
10.3	Der thermische Wirkungskomplex	413
10.3.1	Das Klima-Michel-Modell	417
10.3.2	Das MUKLIMO	420