

Formelzeichen	17
1. Raumluftströmungen in Produktionshallen	25
1.1. Die Lastabfuhrprinzipien Verdrängen, Mischen und Schichten	25
1.1.1. Verdrängen	25
1.1.2. Mischen	26
1.1.3. Schichten	29
1.2. Anwendungsgrenzen des Mischens	33
1.3. Das Konzept des Schichtens	34
1.4. Thermikströme über Produktionsmaschinen	36
2. Wärmeabgabe von Flächen durch freie Konvektion	41
2.1. Wärmeübergangskoeffizienten bei freier Konvektion	41
2.1.1. Vertikale Flächen	41
2.1.2. Horizontale Flächen	42
2.1.3. Vertikale Zylinder	43
2.1.4. Horizontale Zylinder	43
3. Thermikströme in isothermer Umgebung	45
3.1. Vertikale Flächen	45
3.1.1. Laminare Strömung	46
3.1.2. Grafische Darstellung des laminaren Bereichs	46
3.1.3. Turbulente Strömung	47
3.1.4. Grafische Darstellungen des turbulenten Bereichs	48
3.2. Horizontale Flächen	50
3.2.1. Punktformige Wärmequellen	50
3.2.2. Erweiterung auf horizontale Kreisflächen und Rechtecke	52
3.2.3. Abstände zur virtuellen Wärmequelle nach der Maximum-Minimum-Methode	55
3.2.4. Abstand zur virtuellen Wärmequelle ohne geometrische Beziehung	57
3.2.5. Grafische Darstellungen	58
3.3. Linienförmige Wärmequellen	60
3.3.1. Horizontale Rechtecke mit $b \ll l$	61
3.3.2. Horizontale Zylinder	62
3.3.3. Grafische Darstellungen der Ergebnisse	64

4.	Thermikströme bei Temperaturschichtung	69
4.1.	Temperaturverläufe über die Hallenhöhe	69
4.2.	Punktförmige Wärmequellen, angewandt auf horizontale Rechtecke mit $l / b < 3$	71
4.3.	Linienförmige Wärmequellen, angewandt auf horizontale Rechtecke mit $b \ll l$ und horizontale Zylinder	73
4.4.	Wahl des geeigneten Temperaturgradienten	75
4.5.	Vertikale Flächen	75
5.	Anwendungsbeispiele	77
5.1.	Berechnung der Thermikströme eines Bearbeitungszentrums	77
5.1.1.	Isotherme Umgebung	77
5.1.2.	Umgebung mit Temperaturschichtung	80
5.2.	Berechnung der Thermikströme einer Spritzgussmaschine	82
5.2.1.	Isotherme Umgebung	85
5.2.2.	Umgebung mit Temperaturschichtung	89
6.	Wertung der Berechnungsverfahren ohne und mit Temperaturschichtung	93
7.	Addition von Thermikströmen	95
7.1.	Addition über die Wärmebilanz der Wärmequellen	95
7.1.1.	Zwei gleichartige Wärmestromquellen	95
7.1.2.	Vier gleichartige Wärmestromquellen	98
7.1.3.	n gleichartige Wärmestromquellen	100
7.1.4.	Anwendung auf Thermikströme über horizontale Rechtecke mit $l / b > 3$	100
7.1.5.	Anwendungsbeispiel: Berechnung des Zuluftstroms eines Spannrahmens	102
7.2.	Berücksichtigung der Wechselwirkung von Thermikströmen	104
8.	Beeinflussung der Thermikströme	109
8.1.	Reduzierung von Thermikströmen	109
8.1.1.	Einfluss der Schichthöhe	109
8.1.2.	Minderung von Thermikströmen durch Wärmedämmung	110
8.2.	Thermikstrom über einer Teilfläche	120
8.3.	Behandlung der Fortluft aus Maschinenkühlern, Erfassungseinrichtungen und Antriebsmotoren	122
8.4.	Querströmungen	122
8.5.	Queraustausch	123

9.	Praxisbeispiel, Berechnung der Lüftung einer Produktionshalle mit hoher thermischer Belastung	125
9.1.	Berechnungen für Maschinentyp 1	128
9.2.	Berechnungen für Maschinentyp 2	142
9.3.	Berechnungen für Maschinentyp 3	148
9.4.	Berechnungen für Maschinentyp 4	157
9.5.	Berechnungen für Maschinentyp 5	162
9.6.	Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse	163
10.	Belastungen im Arbeitsbereich	167
10.1.	Stoffgrenzwerte am Arbeitsplatz	167
10.2.	Be- und entlastende Strömungsvorgänge	171
10.3.	Luftdurchlässe für Schichtströmung	174
10.4.	Bewertungsgrößen	177
10.4.1.	Grundgleichungen der Bewertungsgrößen	178
10.4.2.	Einheiten der Konzentration von Schadstoffen	181
10.4.3.	Der Erfassungsgrad	183
10.4.4.	Der Belastungsgrad	184
10.4.5.	Der Systembelastungsgrad	186
10.4.6.	Der Ausspülgrad	187
10.5.	Stoff-Systembelastungsgrad aus Lastanteilen	189
10.5.1.	Luftzufuhr im Arbeitsbereich	189
10.5.2.	Luftzufuhr über dem Arbeitsbereich	190
10.5.3.	Luftzufuhr bei bereichsweiser Mischlüftung	192
10.5.4.	Anwendungsbeispiel: Berechnung einer Kühlsmierstoffkonzentration im Arbeitsbereich	192
10.6.	Reinluftrückführung	196
10.6.1.	Anwendungsbeispiel: Berechnung einer Kühlsmierstoffkonzentration im Arbeitsbereich bei Reinluftrückführung	200
10.7.	Anforderungen an RLT-Anlagen bei Öl- und Schmierstoffbelastung	202
11.	Wärmelasten	205
11.1.	Wärmelasten in Produktionshallen	205
11.2.	Wärmeübergang durch Strahlung	206
11.2.1.	Wärmeübergangskoeffizient des Strahlungswärmeaustauschs	209
11.2.2.	Konvektions- und Strahlungsanteile der Wärmelast	210

12.	Luftführungsunabhängige Bestimmung der Zu- und Abluftströme	215
12.1.	Berechnung nach Wärmelasten	216
12.2.	Berechnung nach Stofflasten	219
12.3.	Anwendungsbeispiel	222
13.	Mindestgröße des Abluftstroms	225
14.	Kriterien für die Kühlung des Zuluftvolumenstroms	227
15.	Schema zur Auslegung der Lüftung von Produktionshallen	231
16.	Abschätzung des Zuluftstroms nach Erfahrungswerten - Energieverschwendungen durch Überdimensionierung	237
17.	Abgrenzung Raumlufttechnik (RLT) und Prozesslufttechnik (PLT)	241
18.	Lufttechnische Lösungen mit zentralen und dezentralen RLT-Systemen	243
19.	Konzept der bedarfsgerechten Regelung einer Schichtlüftung	247
20.	Freie Lüftung	249
20.1.	Funktion und Anwendungsgrenzen	249
20.2.	Grundlagen der Berechnung	251
20.2.1.	Bestimmung des Zuluftstroms	251
20.2.2.	Thermischer Auftrieb	252
20.2.3.	Mittlerer Raumbelastungsgrad	255
20.2.4.	Neutrale Zone	260
20.2.5.	Winddruck	260
20.2.6.	Durchflussbeiwert und Druckverlustbeiwert	261
20.2.7.	Berechnung der Flächen der Zu- und Abluftöffnungen	262
20.3.	Anwendungsbeispiel	265
21.	Übungen zum Selbststudium	269
21.1.	Auslegung einer Produktionshalle	269
21.2.	Lösungen	272
22.	Zusammenfassung	289

Anhang A	291
A1 Lösung einer linearen inhomogenen Differentialgleichung erster Ordnung	291
A2 Konzentrationsgleichung, Behandlung variabler Schadstoffkonzentrationen	294
A3 Poisson-Gleichungen und Anwendungen	301
Anhang B, Stoffwerte trockener Luft	311
Anhang C, Auslegungsdiagramme	313
Anhang D, Häufig verwendete Formeln	321
Literaturverzeichnis	325
Abbildungsverzeichnis	327
Sachwortverzeichnis	329