

# Inhalt

<b>Formelzeichen</b> .....	<b>17</b>
<b>1. Raumluftrömungen in Produktionshallen</b> .....	<b>25</b>
<b>1.1. Die Lastabfuhrprinzipien Verdrängen, Mischen und Schichten</b> .....	<b>25</b>
1.1.1. Verdrängen.....	25
1.1.2. Mischen.....	26
1.1.3. Schichten.....	29
<b>1.2. Anwendungsgrenzen des Mischens</b> .....	<b>33</b>
<b>1.3. Das Konzept des Schichtens</b> .....	<b>34</b>
<b>1.4. Thermikströme über Produktionsmaschinen</b> .....	<b>36</b>
<b>2. Wärmeabgabe von Flächen durch freie Konvektion</b> .....	<b>41</b>
<b>2.1. Wärmeübergangskoeffizienten bei freier Konvektion</b> .....	<b>41</b>
2.1.1. Vertikale Flächen.....	41
2.1.2. Horizontale Flächen.....	42
2.1.3. Vertikale Zylinder.....	43
2.1.4. Horizontale Zylinder.....	43
<b>3. Thermikströme in isothermer Umgebung</b> .....	<b>45</b>
<b>3.1. Vertikale Flächen</b> .....	<b>45</b>
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
<b>3.2. Horizontale Flächen</b> .....	<b>50</b>
3.2.1. Punktförmige 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
<b>3.3. Linienförmige Wärmequellen</b> .....	<b>60</b>
3.3.1. Horizontale Rechtecke mit $b \ll l$ .....	61
3.3.2. Horizontale Zylinder.....	62
3.3.3. Grafische Darstellungen der Ergebnisse.....	64

<b>4.</b>	<b>Thermikströme bei Temperaturschichtung</b>	<b>69</b>
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
<b>5.</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b>	<b>77</b>
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
<b>6.</b>	<b>Wertung der Berechnungsverfahren ohne und mit Temperaturschichtung</b>	<b>93</b>
<b>7.</b>	<b>Addition von Thermikströmen</b>	<b>95</b>
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
<b>8.</b>	<b>Beeinflussung der Thermikströme</b>	<b>109</b>
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

<b>9.</b>	<b>Praxisbeispiel, Berechnung der Lüftung einer Produktionshalle mit hoher thermischer Belastung</b>	<b>125</b>
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
<b>1.</b>	<b>Belastungen im Arbeitsbereich</b>	<b>167</b>
1.1.	Stoffgrenzwerte am Arbeitsplatz	167
1.2.	Be- und entlastende Strömungsvorgänge	171
1.3.	Luftdurchlässe für Schichtströmung	174
1.4.	Bewertungsgrößen	177
1.4.1.	Grundgleichungen der Bewertungsgrößen	178
1.4.2.	Einheiten der Konzentration von Schadstoffen	181
1.4.3.	Der Erfassungsgrad	183
1.4.4.	Der Belastungsgrad	184
1.4.5.	Der Systembelastungsgrad	186
1.4.6.	Der Ausspülgrad	187
1.5.	Stoff-Systembelastungsgrad aus Lastanteilen	189
1.5.1.	Luftzufuhr im Arbeitsbereich	189
1.5.2.	Luftzufuhr über dem Arbeitsbereich	190
1.5.3.	Luftzufuhr bei bereichsweiser Mischlüftung	192
1.5.4.	Anwendungsbeispiel: Berechnung einer Kühlschmierstoffkonzentration im Arbeitsbereich	192
1.6.	Reinlufrückführung	196
1.6.1.	Anwendungsbeispiel: Berechnung einer Kühlschmierstoffkonzentration im Arbeitsbereich bei Reinlufrückführung	200
1.7.	Anforderungen an RLT-Anlagen bei Öl- und Schmierstoffbelastung	202
<b>11.</b>	<b>Wärmelasten</b>	<b>205</b>
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

<b>12.</b>	<b>Luftführungsunabhängige Bestimmung der Zu- und Abluftströme</b>	<b>215</b>
12.1.	Berechnung nach Wärmelasten	216
12.2.	Berechnung nach Stofflasten	219
12.3.	Anwendungsbeispiel	222
<b>13.</b>	<b>Mindestgröße des Abluftstroms</b>	<b>225</b>
<b>14.</b>	<b>Kriterien für die Kühlung des Zuluftvolumenstroms</b>	<b>227</b>
<b>15.</b>	<b>Schema zur Auslegung der Lüftung von Produktionshallen</b>	<b>231</b>
<b>16.</b>	<b>Abschätzung des Zuluftstroms nach Erfahrungswerten - Energieverschwendung durch Überdimensionierung</b>	<b>237</b>
<b>17.</b>	<b>Abgrenzung Raumluftechnik (RLT) und Prozessluftechnik (PLT)</b>	<b>241</b>
<b>18.</b>	<b>Lufttechnische Lösungen mit zentralen und dezentralen RLT-Systemen</b>	<b>243</b>
<b>19.</b>	<b>Konzept der bedarfsgerechten Regelung einer Schichtlüftung</b>	<b>247</b>
<b>20.</b>	<b>Freie Lüftung</b>	<b>249</b>
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
<b>21.</b>	<b>Übungen zum Selbststudium</b>	<b>269</b>
21.1.	Auslegung einer Produktionshalle	269
21.2.	Lösungen	272
<b>22.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>289</b>

---

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