

<b>Formelzeichen</b>	<b>17</b>
<b>1. Raumluftrömungen in Produktionshallen</b>	<b>25</b>
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
<b>2. Wärmeabgabe von Flächen durch freie Konvektion</b>	<b>41</b>
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
<b>3. Thermikströme in isothermer Umgebung</b>	<b>45</b>
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. 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
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

<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>10.</b>	<b>Belastungen im Arbeitsbereich</b>	<b>167</b>
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 Kühlschmierstoffkonzentration im Arbeitsbereich	192
10.6.	Reinlufrückführung	196
10.6.1.	Anwendungsbeispiel: Berechnung einer Kühlschmierstoffkonzentration im Arbeitsbereich bei Reinlufrückführung	200
10.7.	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>
<b>12.1.</b>	<b>Berechnung nach Wärmelasten</b>	<b>216</b>
<b>12.2.</b>	<b>Berechnung nach Stofflasten</b>	<b>219</b>
<b>12.3.</b>	<b>Anwendungsbeispiel</b>	<b>222</b>
<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>
<b>20.1.</b>	<b>Funktion und Anwendungsgrenzen</b>	<b>249</b>
<b>20.2.</b>	<b>Grundlagen der Berechnung</b>	<b>251</b>
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
<b>20.3.</b>	<b>Anwendungsbeispiel</b>	<b>265</b>
<b>21.</b>	<b>Übungen zum Selbststudium</b>	<b>269</b>
<b>21.1.</b>	<b>Auslegung einer Produktionshalle</b>	<b>269</b>
<b>21.2.</b>	<b>Lösungen</b>	<b>272</b>
<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>