



TECHNISCHES HANDBUCH WÄRMESTRAHLER



Technisches Handbuch Wärmestrahler

- 86** Heizung - Energie
- 87** Heizungssysteme
- 88** Energieeinsparungen
- 91** Was bedeutet Wärmestrahlung?
- 92** Leitfaden – Wärmestrahler-Heizungen im Gebäude
- 94** Leitfaden – Wärmestrahler-Heizungen im Freien
- 96** Leistungs-und Energieberechnung
- 101** Tabellen zur Dimensionierung

Heizung - Energie

Ob ein Gebäude geheizt werden muss, ist abhängig vom Temperaturunterschied zwischen der Raumluft und der Außenluft.

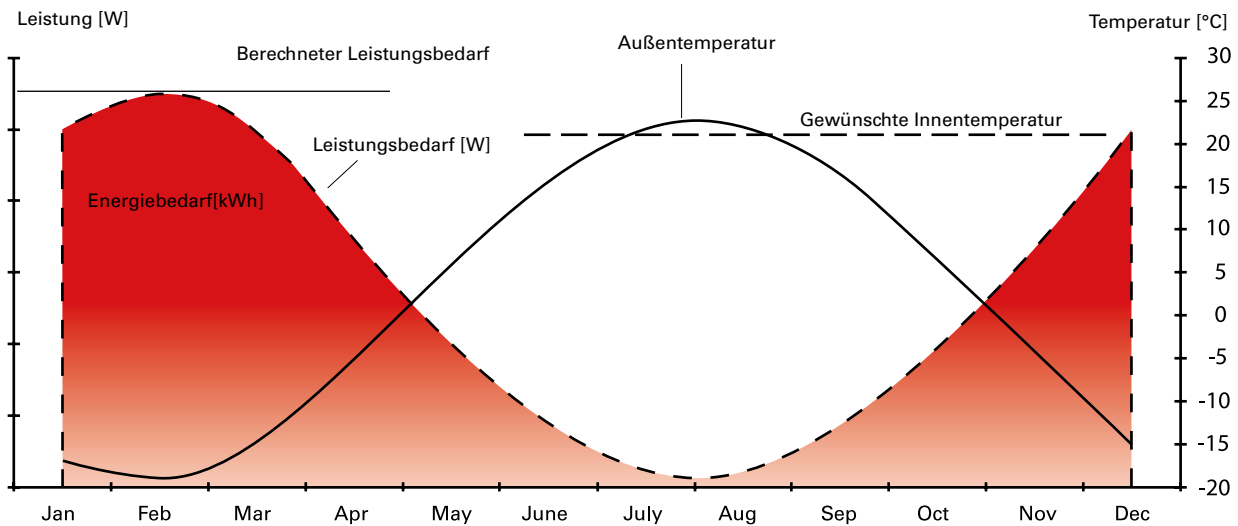
Wärmeverluste in einem Gebäude können in zwei Teile aufgeteilt werden:

- Transmissionswärmeverluste: Verluste über Gebäudestrukturen (Dach, Wände etc.)
- Lüftungsverluste: Verluste über Lüftung, Leckage und Öffnungen

Die Temperatur der Außenluft ändert sich je nach Jahreszeit und je nach Ort, die Raumtemperatur sollte hingegen auf einem gleichmäßigen und angenehmen Niveau gehalten werden.

Der Energiebedarf eines Gebäudes ist die Energie, die während eines Jahres verbraucht wird, d. h. die eingefärbte Fläche im untenstehenden Schaubild.

Der Designleistungsbedarf eines Gebäudes ist die erforderliche Leistung, um die gewünschte Raumtemperatur aufrechtzuerhalten, wenn es draußen kalt ist.

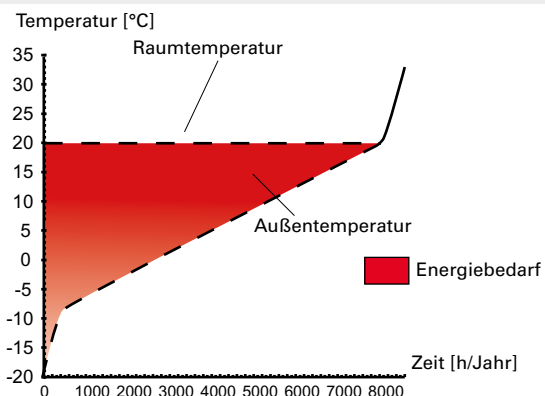
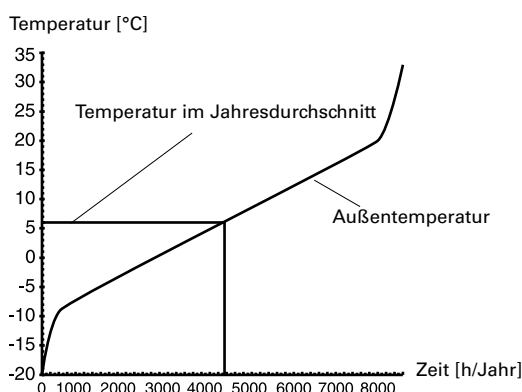


Jahresdauer-Liniendiagramm

Eine verbreitete Darstellungsart des Energiebedarfs zum Heizen ist das Diagramm mit den Jahresdauerlinien. Darin sind die Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs abgebildet. Das Diagramm zeigt zwei Achsen. Auf der X-Achse wird die Anzahl der Stunden pro Jahr dargestellt, auf der Y-Achse die Außentemperatur in °C. Auf einer Kurve kann die Dauer der Außentemperatur an jeder Stelle abgelesen werden. Falls die Jahres-Durchschnittstemperatur +8 °C beträgt, ist es während 4380 Stunden oder sechs

Monaten kälter als +8 °C.

Wird eine Linie für die gewünschte Innentemperatur in das Diagramm eingefügt, z. B. 20 °C, so kreuzt diese Linie das Diagramm und zeigt die Anzahl der benötigten Gradstunden für das Aufheizen auf 20 °C. Die Anzahl der Gradstunden ist ein Maß, das dem Energiebedarf zum Heizen proportional entspricht. Für jeden gewünschten Ort kann der Wärmebedarf entweder mit einem solchen Diagramm berechnet werden oder mit Klimatabellen, siehe Tabelle im hinteren Teil dieses Kapitels.



Heizungssysteme

Das Heizungssystem muss sämtliche Wärmeverluste ausgleichen, Transmissionswärmeverluste und Lüftungsverluste. Drei Hauptarten von Heizungssystemen können unterschieden werden:

- Wärmestrahler-Heizungen
- Luftheizungen
- Konvektionsheizungen, d. h. Radiatoren und Konvektoren

Heizen mit Wärmestrahlern

Wärmestrahler übertragen die Wärme direkt auf Gegenstände und Oberflächen, ohne dabei die Luft zu erwärmen. Die Oberflächen werden erwärmt und erwärmen ihrerseits die Raumluft. Diese direkte Strahlungswärme wird von den meisten Menschen als angenehme Wärme empfunden. Der Raum erscheint auch dann bereits angenehm temperiert, wenn die Lufttemperatur verhältnismäßig niedrig ist. Wärmestrahler verhindern auch die Ansammlung von überhitzter Luft unter der Decke. Die ausgeglichene vertikale Temperaturverteilung sowie die etwas niedrigere Lufttemperatur tragen zu erheblichen Energieeinsparungen bei.

Strahlungswärme wirkt sehr effektiv gegen kalte Luftströmungen und gegen Zugluft von z. B. großen Fenstern.

Luftheizung

Eine Warmluftheizung kompensiert Transmissions- und Lüftungswärmeverluste, indem erwärmte Luft in das Gebäude geleitet wird. Die warme Luft kühlt sich durch Wärmedurchgangsverluste an den Außenwänden ab. Daher muss die zugeführte Luft wärmer sein als die gewünschte Raumtemperatur.

Zwischen Raumdecke und Fußboden können sich große Temperaturunterschiede ergeben, da die erwärmte Luft leichter ist und nach oben steigt. Manchmal kann es erforderlich werden, die Unterschiede auszugleichen, z. B. durch Deckenventilatoren.

Konvektionsheizung

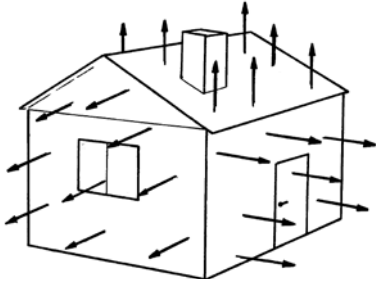
Konvektionsheizungen erwärmen die Räume, indem sie die Luft erwärmen, wenn sie an heißen Oberflächen, Radiatoren oder Konvektoren, entlangströmt. Die Luftströmung an den Radiatoren oder Konvektoren wird hauptsächlich durch thermische Strömungen verursacht. Die warme Luft steigt nach oben und wird durch kalte Luft ersetzt. Dadurch entsteht ein Luftkreislauf oder Konvektion.

Kalten Luftströmungen, z. B. von Fenstern, wird effektiv durch einen warmen Luftstrom entgegengewirkt, wenn die Wärmequelle unter dem Fenster platziert wird.



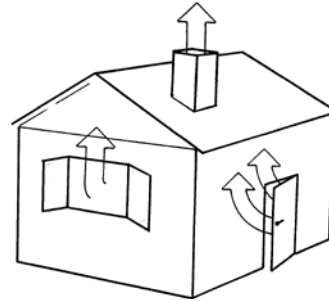
Energieeinsparungen

Wärmeverluste



Transmissionswärmeverluste

Die Höhe der Wärmeverluste variiert je nach Gebäudebereich und Isolation. Die Verluste sind proportional zur Temperaturdifferenz von Innenluft und Außenluft.



Lüftungsverluste

Die Lüftung eines Gebäudes erfolgt entweder mechanisch oder auf natürlichem Weg. Mechanische Lüftung erfolgt meist über ein Luftzuführungs- und Abluftsystem, das eine Wärmerückgewinnung ermöglicht. Natürliche und ungewünschte Lüftung besteht aus thermischen Strömungen, die warme Luft zum Aufsteigen bringen, die durch Öffnungen und nicht abgedichtete Bereiche entweichen kann.

Methoden zum Reduzieren von Wärmeverlusten und Heizkosten

Eine verbesserte Isolierung des Gebäudes verringert selbstverständlich Wärmeverluste und erhöht Energieeinsparungen, es gibt aber noch andere Methoden zur Einsparung von Heizkosten.

Ausgleich von Temperaturdifferenzen

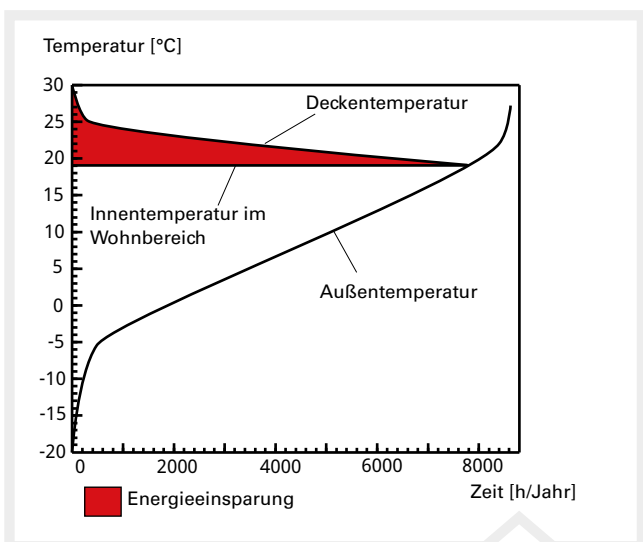
Warme Luft ist leichter als Kaltluft und sammelt sich am höchsten Punkt eines Gebäudes. So entstehen vertikale Temperaturdifferenzen zwischen Fußboden- und Deckenbereich. Der Temperaturgradient ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) bezeichnet die Temperatursteigerung pro Meter Höhe und variiert je nach Jahreszeit und Heizungssystem. In Räumen mit hohen Decken ist der Temperaturunterschied zwischen dem Wohnbereich und der Raumdecke häufig sehr groß, zwischen 10 - 15 $^{\circ}\text{C}$. Ein Ausgleich dieses Unterschieds kann die Wärmeverluste um bis zu 30 % verringern und die Heizung optimal nutzen.

Wärmestrahler

Die Heizung mit einem an der Decke montierten Wärmestrahler erfolgt indirekt. Die Wärme entwickelt sich, wenn die Wärmestrahlen auf Oberflächen treffen, wie Böden, Wände, Maschinen usw. Diese Oberflächen erwärmen daraufhin die Luft des Wohnbereiches. Der Temperaturunterschied zwischen Boden und Decke ist daher sehr gering.

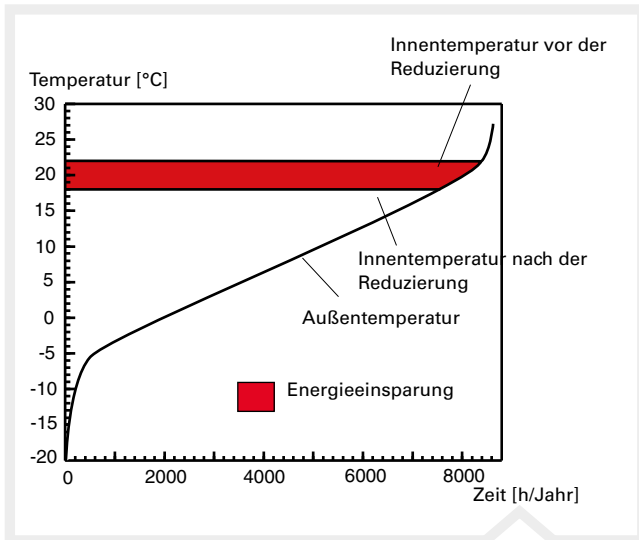
Deckenventilatoren

Die Heizung mit z. B. Heizlüftern oder Radiatoren ergibt einen verhältnismäßig hohen Temperaturgradienten. Die Installation von Deckenventilatoren ist dabei ein sehr einfacher und kostengünstiger Weg zum Ausgleich der Temperaturdifferenz. Die warme Luft von der Decke wird damit nach unten in den Wohnbereich gedrückt.



Geringere Innentemperatur

Eine weitere Methode der Energieeinsparung ist die Verringerung der Innentemperatur. Dies muss allerdings ohne Einbußen an Komfort erfolgen.



• Geringere Lufttemperatur

Beim Einsatz von Wärmestrahlern kann die Lufttemperatur eines Raumes um einige Grad verringert werden, trotzdem wird eine höhere Temperatur gefühlt, die sogenannte Betriebstemperatur. Eine Reduzierung der Temperatur um 1 °C ermöglicht Energieeinsparungen von 5 %. Betriebstemperaturen sind die von den Bewohnern gefühlten Temperaturen. Sie sind die Summe aus Lufttemperatur und Strahlungstemperaturen. Alle Gegenstände verursachen Strahlungstemperaturwechsel. Kalte Oberflächen verringern sie und warme Oberflächen erhöhen sie. Betriebstemperaturen können beschrieben werden als:

$$t_{op} = \frac{t_{Luft} + t_{rad.}}{2} = \frac{t_{Luft} + (t_{Luft} + \Delta t_{rad.})}{2} = t_{Luft} + \frac{\Delta t_{rad.}}{2}$$

wobei t_{Luft} = Lufttemperatur
 $t_{rad.}$ = Strahlungstemperatur (einschl. Lufttemperatur)
 $\Delta t_{rad.}$ = Strahlungstemperaturwechsel (ohne Lufttemperatur)

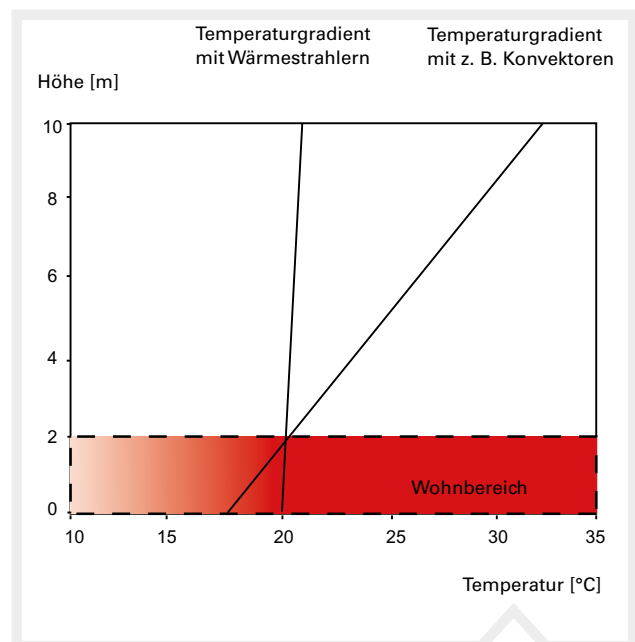
• Punkt- und Flächenheizung

Mit Wärmestrahlern können in verschiedenen Gebäudebereichen unterschiedliche Temperaturen erzeugt werden. Zum Beispiel muss nicht das gesamte Gebäude die gleiche hohe Temperatur aufweisen, wenn Arbeitsbereiche weit auseinander liegen. Aus Komfortgründen erfordern unterschiedliche Arbeitssituationen ebenfalls unterschiedliche Temperaturen. Punktheizung kann man auch mit Punktbeleuchtung vergleichen. Wenn Personen präsent sind, wird die Heizung oder Beleuchtung verstärkt.

• Geringer Temperaturgradient

Die Heizung mit Wärmestrahlern liefert eine sehr ausgeglichene vertikale Temperaturverteilung. Die Wärme entwickelt sich, wenn die Wärmestrahler auf Oberflächen treffen, wie Böden, Wände, Maschinen usw. Diese Oberflächen erwärmen daraufhin die Luft des Wohnbereiches. Die Temperaturunterschiede zwischen Decke und Fußboden werden sehr gering und ein „Überheizen“ wird vermieden. Besonders in Gebäuden mit hohen Decken werden gegenüber konventionellen Heizungssystemen große Energieeinsparungen erzielt.

Der Temperaturgradient [°C/m], der Temperaturanstieg pro Meter Höhe, ist für Wärmestrahler sehr gering, ca. 0,3 °C/m. Die Warmluftheizungen oder konventionelle Radiatorheizungen verursachen bedeutend größere Temperaturunterschiede pro Meter Höhe mit Temperaturgradienten von 2,5 und 1,7 °C/m bei voller Leistung.



• Zeitsteuerung

Falls sich niemand in einem Gebäude aufhält, z. B. in der Nacht oder in Ferienzeiten, kann die Temperatur heruntergefahren werden.

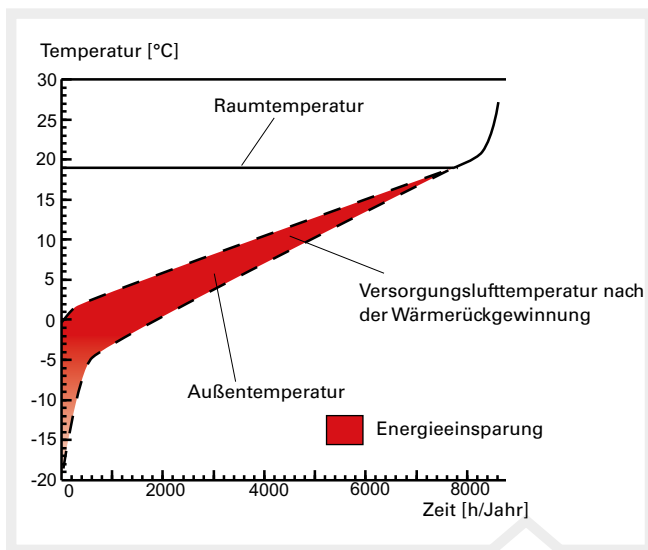
Verluste reduzieren

Durch Öffnungen wie Türen und Tore entstehen bedeutende Energieverluste. Durch die Öffnung entweicht ständig teuer beheizte oder gekühlte (klimatisierte) Luft. Dies kann durch die Installation von Luftschleiern verhindert werden. Luftschleier bilden eine Sperre zwischen unterschiedlichen Temperaturzonen. Eine ausgeglichene Ventilation und kürzere Öffnungszeiten können ebenfalls Energieverluste reduzieren.

Erfahren Sie mehr über Luftschleier von Frico auf unserer Website.

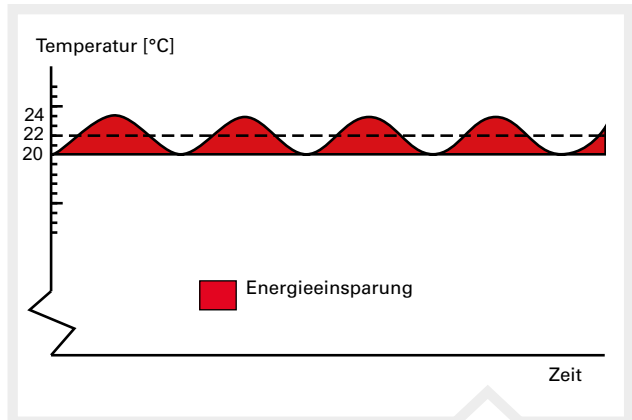
Wärmerückgewinnung

Um bei einer mechanischen Belüftung Lüftungsverluste zu reduzieren, können Teile der Abluftenergie zurück gewonnen werden. Eine einfache Methode besteht darin, sofort Teile der warmen Abluft wieder in die Zuluft einzuleiten, die sogenannte Rückluft. Eine weitere Methode ist der Einsatz eines Wärmetauschers, der dem Gebäude wieder einen Teil der Heizenergie zuführt.



Besserer Temperatursausgleich

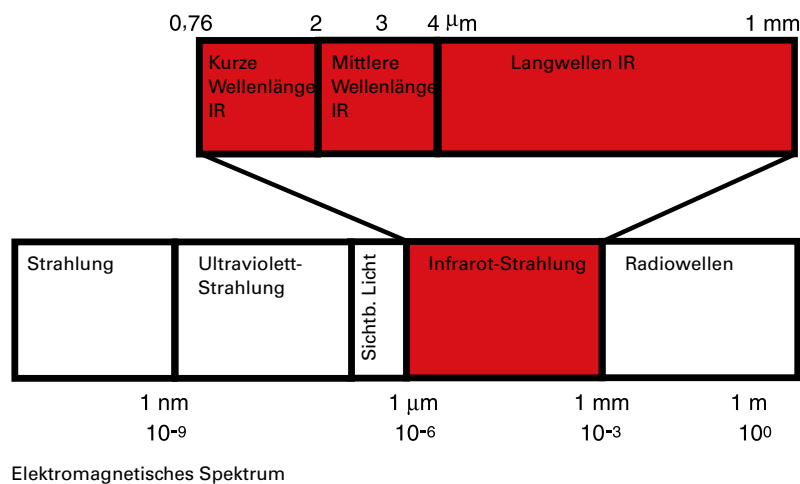
Mit einem Standard-Ein/Aus-Thermostat kann die Temperatur um einen bestimmten Wert variiert werden. Falls die gewünschte Temperatur niemals unter 20 °C fallen soll, muss die Durchschnittstemperatur etwa 22 °C betragen. Mit einem Triac-gesteuerten Regler kann die Raumtemperatur auf 20 °C eingestellt werden, sie wird dann nicht mehr vom Einstellwert abweichen. Eine Reduzierung der Temperatur um 1 °C ermöglicht Energieeinsparungen von 5 %.



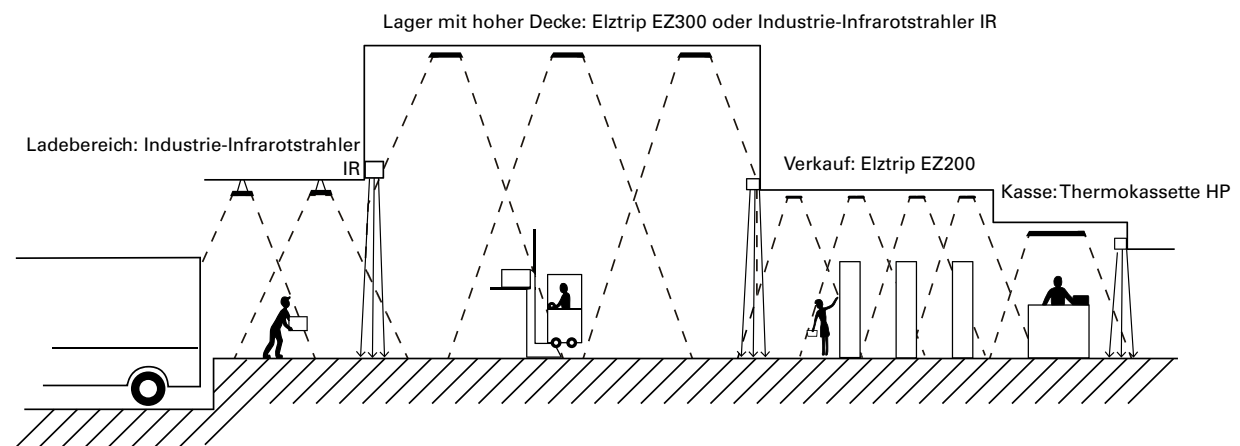
Was bedeutet Wärmestrahlung?

Temperaturstrahlung wird erzeugt, da alle Körper Energie in Form von elektromagnetischen Wellen abstrahlen. Da die Strahlung von warmen Körpern kommt, wird sie auch Wärmestrahlung genannt. Die Abbildung unten zeigt den Bereich des elektromagnetischen Spektrums, in dem Wärmestrahlung vorkommt. Wellenlänge und Strahlungsintensität eines Wärmestrahlens hängen von der Temperatur ab. Je höher die Elementtemperatur eines Wärmestrahlens ist, desto kürzer ist die Wellenlänge und desto höher die Strahlungsintensität.

Ein Strahlungsaustausch zwischen zwei Körpern findet nur statt, wenn zwischen ihnen eine Temperaturdifferenz besteht. Menschen befinden sich permanent im Wärmeaustausch mit ihrer Umwelt. Wenn der Mensch viel Wärme verliert, ist ihm kalt. Es ist für ihn notwendig, dass ein thermischer Punkt erreicht wird, in dem ein Gleichgewicht herrscht, dieser Punkt entspricht der Komfort-Temperatur. Die Komfort-Temperatur wird durch Lufttemperatur, Wandtemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit bestimmt. Das Heizen mit Wärmestrahlern erzeugt ein perfektes Komfortklima.



Beispiele für den Einsatz unterschiedlicher Wärmestrahler



Leitfaden – Wärmestrahler-Heizungen im Gebäude

Vollheizung

Beim Entwurf eines Heizsystems muss der Leistungsbedarf eines Gebäudes berechnet werden. Erfahren Sie mehr über Leistungs- und Energieberechnungen auf den folgenden Seiten. Für Wärmestrahler mit einer geringeren Elementtemperatur (z. B. Thermocassette HP und Elztrip) gilt eine Faustregel, um einen Näherungswert für die Anzahl der Wärmestrahler zu berechnen, die für das Heizen eines Gebäudes erforderlich sind:

$$\text{Mindestanzahl von Strahlern} = \frac{\text{Fläche der Räumlichkeiten [m}^2\text{]}}{\text{Installationshöhe [m]} \times \text{Installationshöhe [m]}}$$

Diese Formel ergibt eine erste Schätzung der Mindestanzahl von Wärmestrahlern, die für ein angenehmes Raumklima benötigt werden. Um die benötigte Leistung pro Wärmestrahler zu errechnen, muss zuerst der Gesamtleistungsbedarf berechnet werden.

Empfohlener Abstand für Elztrip

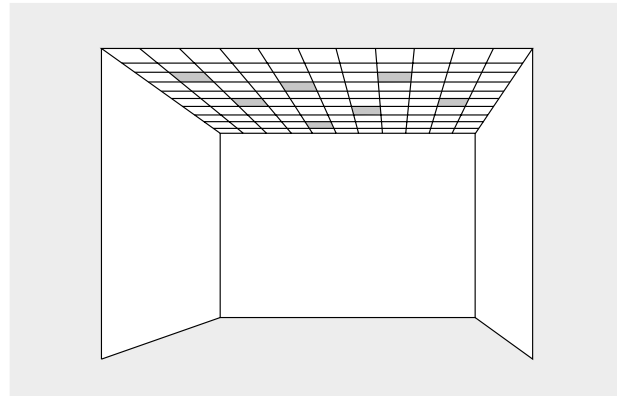
Bei der Planung der Elztrip-Installation sollte man beachten, dass der Abstand zwischen den Wärmestrahlern nicht größer sein darf als der Abstand zwischen Wärmestrahler und Fußboden, d. h. „a“ sollte kürzer sein als „H“. Siehe abb. In Räumen, die nicht oft genutzt werden, sind die Anforderungen an den Komfort gewöhnlich geringer und der Abstand zwischen den Wärmestrahlern kann vergrößert werden. In Räumen, die regelmäßig genutzt werden, sollte der Abstand zwischen einer sitzenden Person und dem Wärmestrahler mindestens 1,5 bis 2 m (Δh) betragen. Wenn diese beiden Richtlinien befolgt werden, wird die maximale Temperaturdifferenz im Betrieb $h_{top} = 5^\circ\text{C}$ das Wohlbefinden nicht beeinträchtigen. Das heißt, die Differenz zwischen tatsächlicher und gefühlter Temperatur beträgt nicht mehr als 5°C .

Flächenheizung

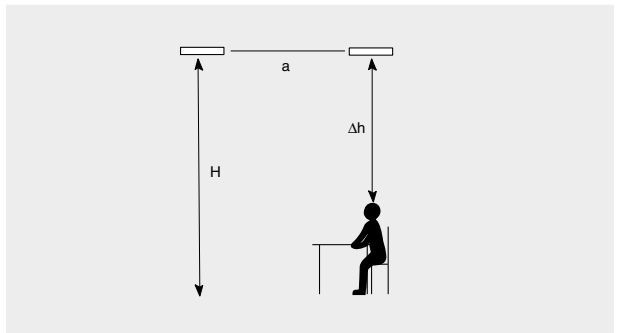
Unterschiedliche Arbeitssituationen erfordern unterschiedliche Temperaturen. Mit Wärmestrahlern kann ein Gebäude sehr einfach in bestimmte Temperaturzonen unterteilt werden oder individuelle Arbeitsbereiche können punktuell beheizt werden. Dadurch entstehen geringere Heizkosten und ein erhöhter Heizkomfort.

Ergänzende Heizung

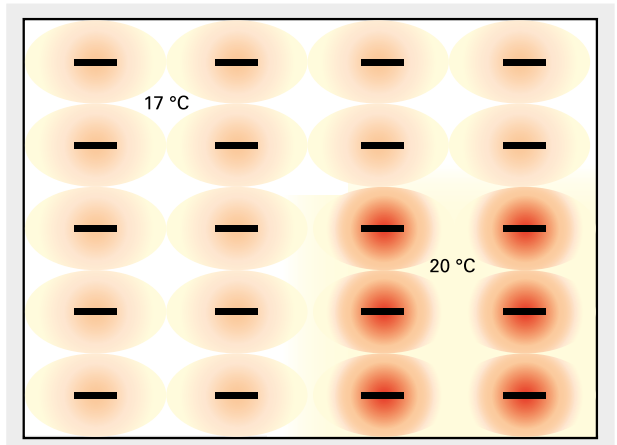
Als Ergänzung zu anderen Heizsystemen oder bei einer Erweiterung sind Wärmestrahler häufig eine einfache, kostengünstige Lösung. Bei einem wasserbeheizten Gebäude ist es oft einfacher und flexibler, einige elektrische Wärmestrahler zu installieren, als das Heizrohrsystem zu erweitern.



Beispiel der Vollheizung mit Thermocassette HP installiert in einer Zwischendecke.



Empfohlener Abstand für Elztrip



Planzeichnung: Temperaturzonen mit Wärmestrahlern

Geeignete Wärmestrahler für die Flächenheizung sind Thermocassette HP, Elztrip, IR und Aquaztrip, abhängig von der Installationshöhe und den Bedingungen des Gebäudes.

Steigert die Energieeffizienz

Ein Heizen mit Wärmestrahlern ist sehr energieeffizient, jedoch gibt es noch viel bessere Möglichkeiten, Energie, aber keinen Komfort, einzusparen. Verbesserte Ergebnisse können durch einen Schwarz-Kugel-Sensor (der die Betriebstemperatur misst) oder einen Präsenzmelder (der sicherstellt, dass der Strahler nur im Bedarfsfall verwendet wird) erreicht werden.

Schwarz-Kugel-Sensor

Durch die zusätzliche direkte Wärme des Wärmestrahlens kann die Lufttemperatur im Gebäude leicht, um einige Grad, gesenkt werden, ohne den Komfort zu beeinträchtigen. Erfahren Sie mehr über die wahrgenommene Betriebstemperatur auf den folgenden Seiten.

Ein Schwarz-Kugel-Sensor, der die gefühlte Luft- und Abstrahltemperatur misst, wird mit dem Thermostat verbunden, um vollen Nutzen aus dieser Leistung zu ziehen. Wenn die Temperaturen minimal sind, ist die zusätzliche Abstrahltemperatur maximal, wodurch dank des Schwarz-Kugel-Sensors die höchsten Einsparungen möglich sind. Eine Verringerung der Lufttemperatur um 1 °C resultiert in Energieeinsparungen von ca. 5 %.



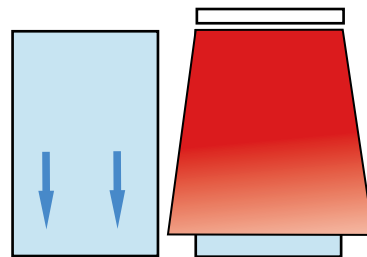
Präsenzmelder

Ein Wärmestrahler beginnt zu heizen, sobald er eingeschaltet wird. Das ist ideal, wenn er gemeinsam mit einem Präsenzmelder verwendet wird. Der Wärmestrahler wird deshalb nur verwendet, wenn das nötig ist. Dadurch werden Energieeinsparungen sichergestellt.



Schutz vor kalter Zugluft

Eine kalte Oberfläche, z. B. ein Fenster, hat eine kühlende Wirkung auf die umgebende Luft. Wärmestrahler schützen wirkungsvoll und kostengünstig vor kalter Zugluft von Fensterflächen, indem die Fensterfläche aufgeheizt wird. Je kälter das Fenster, desto mehr Strahlungswärme ist erforderlich. Die Heizstrahlen gehen „automatisch“ an die Stelle, an der sie am meisten benötigt werden, wodurch das Schaffen eines komfortablen Raumklimas erleichtert wird.



Geeignete Wärmestrahler für den Schutz vor kalter Zugluft sind Thermoplus, Thermocassette HP, Elztrip und Industriinfra IR, abhängig von der Installationshöhe und der Fensterfläche.

Leitfaden – Wärmestrahler-Heizungen im Freien

Aufstellung

Die Infrarot-Strahler werden um die zu beheizende Fläche herum montiert. Durch die Wärmeverteilung aus zwei Richtungen erzielt man einen optimalen Komfort.

Leistungsbedarf

Es kann eine Faustregel für den Leistungsbedarf verwendet werden, um einzuschätzen, wie viele und welche Wärmestrahler benötigt werden. Die Ausgangsleistung kann reduziert werden, wenn die zu beheizende Fläche eingefasst ist. Für vollständig eingefasste Flächen muss der Heizbedarf berechnet werden.

Wenn es sehr windig ist, ist ein Strahler mit einer höheren Ausgangsleistung erforderlich, um eine angemessene Heizleistung zu gewährleisten. Dasselbe gilt für die Installationshöhe. Wenn die Strahler relativ hoch installiert sind, ist eine höhere Ausgangsleistung erforderlich.

Infrarotstrahler mit rohrförmigen Heizelementen

750–1000 W/m² erhöht die wahrgenommene Temperatur um etwa 10 °C.

Wenn der Bereich überdacht ist: mindestens 1000 W/m².

Wenn der Bereich von drei Wänden umgeben ist: 750 W/m².

Halogen- und Carbon-Infrarotstrahler

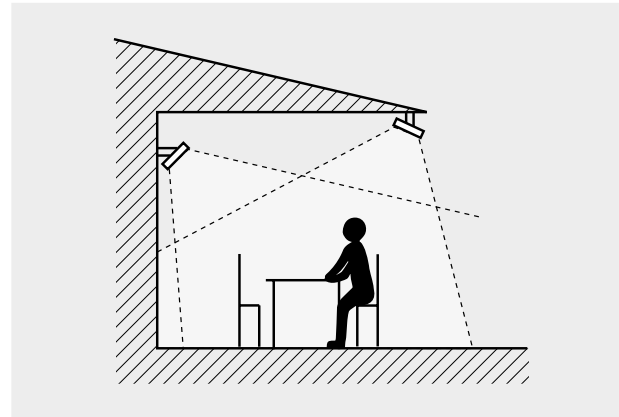
600–800 W/m² erhöht die wahrgenommene Temperatur um etwa 10 °C.

Wenn der Bereich überdacht ist: mindestens 800 W/m².

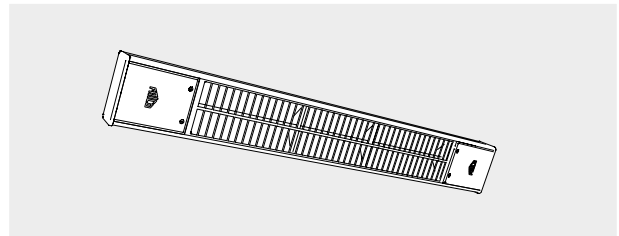
Wenn der Bereich von drei Wänden umgeben ist: 600 W/m².

Montagehöhe

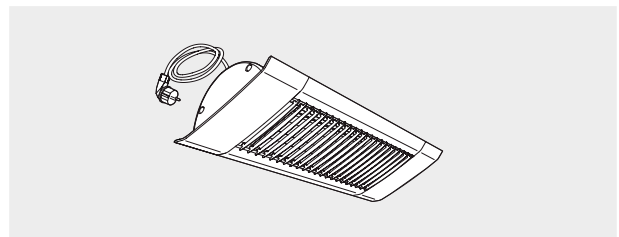
Wenn der Strahler in größerer Höhe montiert wird, muss die Wärmeverteilung so ausgerichtet sein, dass sie bis unten im Sitzbereich zu spüren ist. Wenn der Strahler jedoch in geringer Höhe montiert wird, kann die gezielte Wärmestrahlung als unangenehm wahrgenommen werden. Hier ist ein Wärmestrahler mit großflächiger Wärmeverteilung besser geeignet.



Für eine gleichmäßige Wärmeleistung sollten die Strahler aus mindestens zwei Richtungen heizen.



Infracalm ist ein Beispiel für einen Infrarotstrahler mit rohrförmigen Elementen.



Der Halogen-Infrarotstrahler IH und der Carbon-Infrarotstrahler IHC sind in ihrem Aussehen identisch, unterscheiden sich jedoch in ihren Lampen und in der Wärmeverteilung.



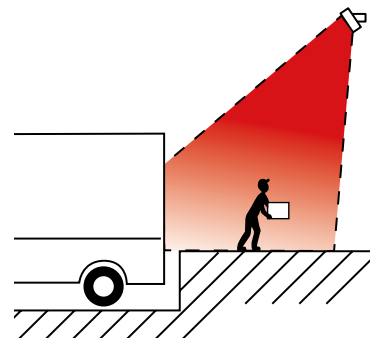
Lösungen für Probleme im Freien

Wärmestrahler werden nicht nur für Straßencafés und Terrassen verwendet. Sie können auch als Lösung für zahlreiche andere Heizprobleme im Freien verwendet werden.

Wärmestrahler eignen sich gut für sitzende Zuschauer auf der Tribüne.

Probleme mit Eisbildung z. B. auf Laderampen können ganz einfach durch die Montage eines Infrarotstrahlers für den Außeneinsatz an einer Außenwand gelöst werden.

Bei Kundenveranstaltungen im Freien muss häufig vorübergehend geheizt werden. Ein Wärmestrahler auf einem tragbaren Ständer, der nach Bedarf bewegt werden kann, ist eine praktische Lösung.

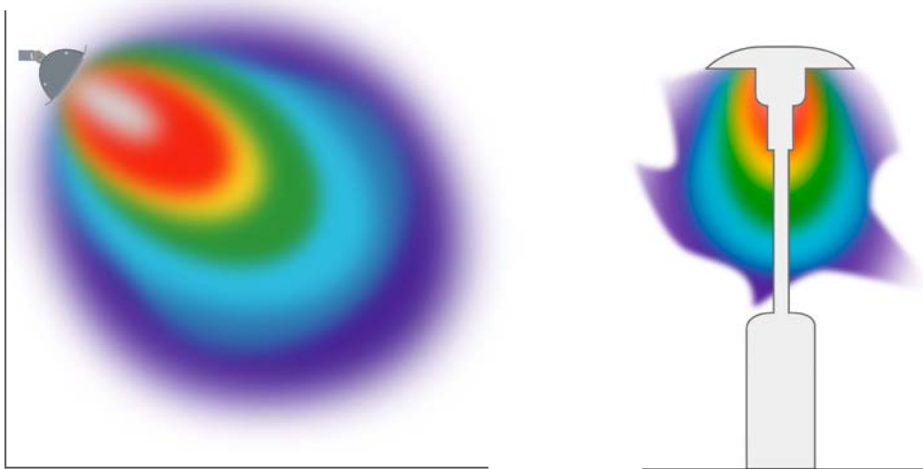


Vergleich von elektrischen Infrarotstrahlern und Gasheizungen (LPG)

Eine Alternative zu einem elektrischen Infrarotstrahler ist eine Terrassenheizung mit LP-Gas. Eine Gasheizung erfordert keinen elektrischen Anschluss. Das kann gelegentlich praktisch sein, jedoch haben elektrische Infrarotstrahler mehr Vorteile.

Vorteile eines elektrischen Infrarotstrahlers:

- Energieeffizient – fast alle zusätzliche Energie wird in Wärme umgewandelt
- Sichere Verwendung
- Verträgt Wetter und Wind besser
- Erfordert nur eine minimale Wartung
- Heizt sofort, sobald Sie auf den Knopf drücken
- Kann auch in kleineren Bereichen verwendet werden, in denen die Sauerstoffversorgung begrenzt ist
- Besser für die Umwelt
- Raumsparend
- Geringe Betriebskosten



Der Vergleich des Infrarotstrahlers IHW von Frico und einer Gasheizung (LPG) zeigt, dass die Gasheizung eine kürzere Lebensdauer hat und keine konstanten Ergebnisse liefert.

Rechenbeispiel – Betriebskosten

Fläche: 15 m²

Verwendung 8 Stunden/Tag

Verwendung 100 Tage/Jahr

Infrarotstrahler IHW10 (2 Stk.)

Strompreis (europäischer Durchschnitt)	0,2€/kWh
Betriebskosten pro Stunde	0,4 €
Betriebskosten pro Tag	3,2 €
Betriebskosten pro Jahr	320 €

Gasheizung (LPG)

Gaszylinder 11 kg	20€
Gasverbrauch	1 kg/h
Betriebskosten pro Stunde	1,8 €
Betriebskosten pro Tag	14,4 €
Betriebskosten pro Jahr	1440 €



Leistungs-und Energieberechnung

Leistungsbedarf

Die Wärmeverluste eines Gebäudes setzen sich aus zwei Komponenten zusammen, aus den Transmissionswärmeverlusten der Wände, Fenster, Türen und des Daches sowie aus den Lüftungsverlusten.

Transmissionswärmeverluste:

$$P_T = A \times U \times (t_{\text{Raum}} - \text{DUT})$$

Lüftungsverluste:

$$P_v = q \times c \times \rho \times (t_{\text{Raum}} - \text{DUT})$$

oder

$$P_v = Q \times (1 - \alpha) \times (t_{\text{Raum}} - \text{DUT}) \times 0.33$$

wobei

U	= Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² °C] (=k.-Koeffizient)
A	= Fläche des umbauten Raumes [m ²]
t _{Raum}	= Raumtemperatur [°C]
DUT	= niedrigste Außentemperatur der Gegend [°C]
q	= berechneter Außen-Luftstrom [m ³ /s], Zwangslüftung kann vernachlässigt werden
c	= spezifische Heizkapazität [J/kg°C]
ρ	= Dichte [kg/m ³]
Q	= Luftstrom [m ³ /s]
α	= Effizienz der Wärmerückgewinnung, 0 - 1

Der Wärmedurchgangskoeffizient k. kann aus Tabellen und Diagrammen abgelesen oder berechnet werden, wenn die Baumaterialien bekannt sind.

Der Betriebszeit-Faktor berechnet sich aus der Betriebszeit der Aktivität wie folgt:

$$\text{Betriebszeit} = (\text{Stunden}/24) \times (\text{Tage}/7)$$

Stunden = Anzahl der Betriebsstunden pro Tag

Tage = Anzahl der Betriebstage pro Woche

Belüftungssysteme können ebenfalls

Betriebszeitfaktoren haben, falls sie mit halber Geschwindigkeit laufen oder während der Nacht angehalten werden.

Technischer Vertrieb

Der Technische Vertrieb von Frico bietet kostenlos an:

- Leistung und Energieberechnungen
- Lösungen für Heizungsprobleme und Ratschläge zum Energiesparen
- Hinweise zu Dimensionierung und Anordnung
- Lösungen für komfortable Heizungen

Bitte nehmen Sie mit uns Kontakt auf, um Heizungs- und Energiekosten zu sparen.

Auf unserer Website www.frico.se können Sie sehr einfach eine Leistungsberechnung durchführen, indem Sie die Daten für ein Gebäude und die entsprechenden Temperaturen eintragen. Je genauer die eingetragenen Daten sind, desto exakter wird das Ergebnis der Berechnung.

Energiebedarf

Der Energiebedarf für das Heizen wird durch den Leistungsbedarf und die Anzahl der Gradstunden bestimmt, die für das Aufheizen auf die gewünschte Temperatur erforderlich sind. Der theoretisch erforderliche Energiebedarf verringert sich durch die interne Wärmeenergie E_i.

Tatsächlicher Energiebedarf

$$E = \frac{P_t}{t_{\text{local}} - \text{DOT}} \times \text{°Ch} + \frac{P_v}{t_{\text{local}} - \text{DOT}} \times \text{°Ch} - E_i$$

Interne Wärmeenergie

$$E_i = P_i \times A_{\text{Boden}} \times \text{Betrieb} \times 8760$$

°Ch = Anzahl der Gradstunden zum Heizen

E_i = interne Wärmeenergie [Wh/Jahr] (abhängig von den Raumaktivitäten, kann aus Tabellen und Diagrammen abgelesen werden)

P_i = interne Wärmeabgabe [W/m²]

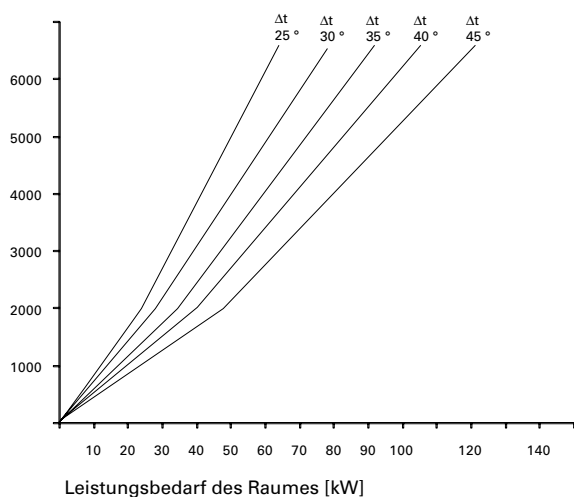
Betrieb = Betriebszeitfaktor für die interne Wärmeabgabe

Berechnungstabelle, Leistungsbedarf

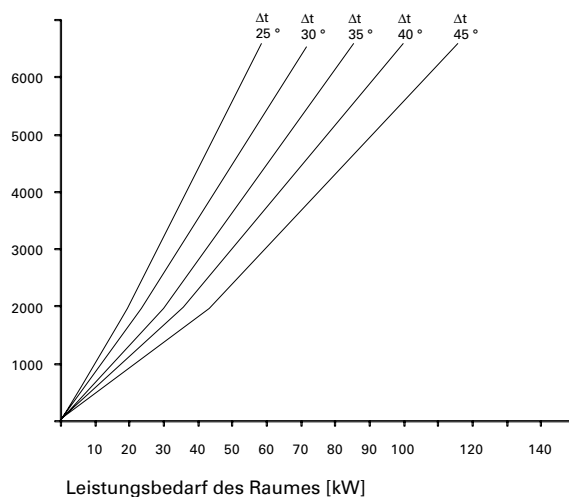
Sollten nicht alle Gebäudedaten verfügbar sein, kann trotzdem eine Schätzung des Leistungsbedarfs erfolgen. Falls das Raumvolumen und die gewünschte Raumtemperatur bekannt ist, kann der Leistungsbedarf im folgenden Diagramm abgelesen werden. Als Basis des Diagramms dienen Leistungsbedarfsberechnungen nach anerkannten Messmethoden. In den Berechnungen wird im Gebäude oder in den Räumen von einem Luftaustausch pro Stunde ausgegangen. Es wird davon ausgegangen, dass die vier Wände Außenwände sind

und dass das Dach über der Decke sich ebenfalls außen befindet. Im Leistungsbedarfsdiagramm A und B beträgt der durchschnittliche k.-Koeffizient 0,25 und 0,4, das entspricht einem korrekt isolierten Gebäude. Im Diagramm C beträgt der durchschnittliche k.-Koeffizient 1,0, das heißt, das Gebäude ist weniger gut isoliert. Die Kurven Δt im Diagramm zeigen die Differenz zwischen der Raumtemperatur und der niedrigsten Außentemperatur.

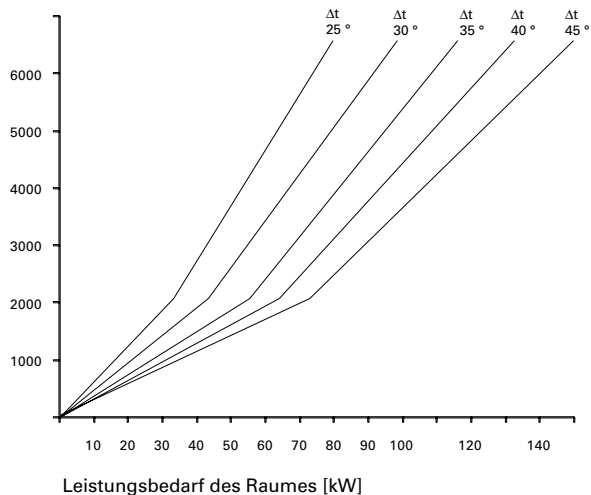
Leistungsbedarfsdiagramm A
Durchschnittlicher k.-Koeffizient 0,25



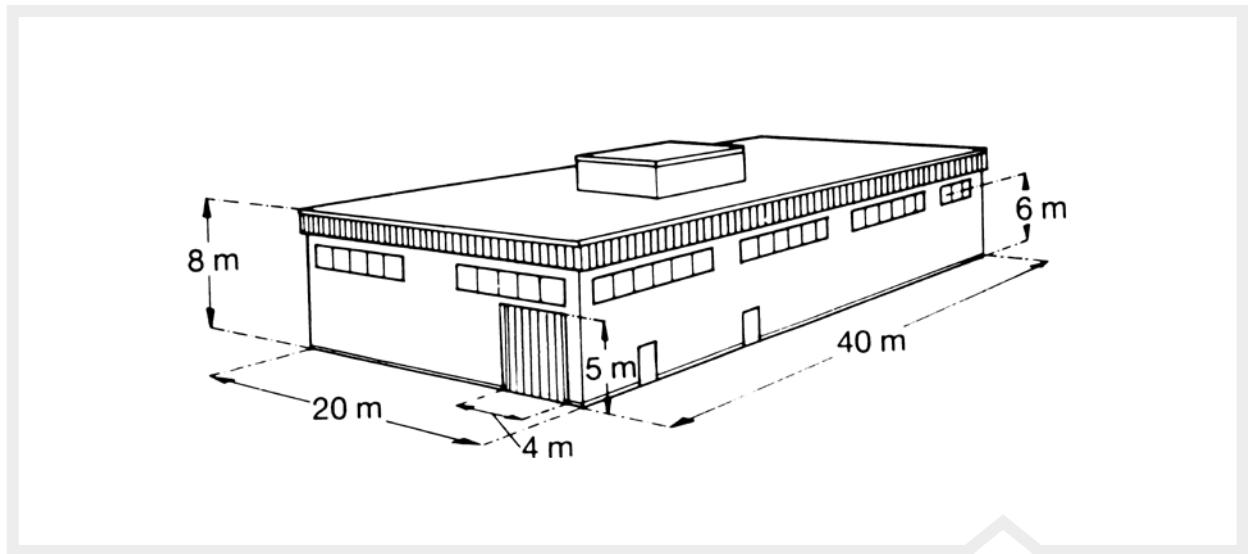
Leistungsbedarfsdiagramm B
Durchschnittlicher k.-Koeffizient 0,4



Leistungsbedarfsdiagramm C
Durchschnittlicher k.-Koeffizient 1,0



Berechnungsbeispiel



Eingabedaten

Objekt: Industriegebäude

Gebäudemasse

Länge: 40 m
Breite: 20 m
Höhe: 8 m
Fensterfläche: 130 m²
Türen: 25 m²

Baumaterial

Wände: Leichter Betonformstein, 30 cm k. = 0,6
Dach: Leichter Betonformstein, 30 cm k. = 0,6
Fenster: Doppelfenster, 6 m über dem Boden k. = 3,0
Türen: Gedämmte Stahlblech-Falittüren k. = 1,0

Betriebszeit: 12 h/Tag, 5 Tage pro Woche

Lüftung

Natürliche Belüftung, am Tag: 0,4 ch./h
Natürliche Belüftung, in der Nacht: 0,3 ch./h
Interne Wärmeenergie: 5 W/m²

Innentemperatur

Gewünschte Tagestemperatur: +18 °C
Gewünschte Nachttemperatur: +15 °C

Umweltdaten

Tiefste Außentemperatur (DOT): -18 °C
Temperatur im Jahresdurchschnitt: 5 °C
Windgeschwindigkeit im Jahresdurchschnitt: 4,0 m/s

Schätzung

Leistungsbedarf

Transmissionswärmeverluste: $P_T = A \times k. \times \Delta t$

	Fläche [m ²]	k.- Koeffizient	Δt [°C]	Leistung [W]
Außenwand	805	0.6	36	17388
Dach	800	0.6	36	17280
Boden	800	0.3	36/2	4320
Fenster	130	3.0	36	14040
Türen	25	1.0	36	900

Wärmedurchgangsverluste, insgesamt: 53 928 W

Lüftungsverluste: $P_V = V_{\text{Gebäude}} \times n \times \Delta t \times 0,33$

	Rauminhalt des Gebäudes [m ³]	Luftwechsel [ch./h]	Δt [°C]	Leistung [W]
Tag	6400	0.4	36	30413
Nacht	6400	0.3	33	20909

Die größten Lüftungsverluste entstehen am Tage.

Berechneter Leistungsbedarf:

53 928 + 30 413 = 85 kW

Energiebedarf

Wärmedurchgangsenergie: $E_T = P_T / \Delta t \times \text{°Ch}$

$E_T = 53\,928 / 36 \times 97\,330 = 146 \text{ MWh/Jahr}$

Lüftungsenergie: $E_V = P_V / \Delta t \times \text{°Ch}$

Tag: $30413 / 36 \times 97330 \times 12/24 \times 5/7 = 29 \text{ MWh/Jahr}$

Nacht: $20909 / 33 \times 97330 \times (1 - 12/24 \times 5/7) = 40 \text{ MWh/Jahr}$

Interne Wärmeenergie: $E_I = P_I \times A_{\text{Boden}} \times 8760$

$E_I = 5 \times 800 \times 8760 \times 12/24 = 12,5 \text{ MWh/Jahr}$

Gesamter Energiebedarf: $E_T + E_V - E_I = 202,5 \text{ MWh/Jahr}$



Berechnungsbeispiel

Das Industriebgebäude in unserem Rechenbeispiel soll mit Wärmestrahlern, z. B. Industrie-Infrarotstrahlern IR oder mit Heizlüftern beheizt werden. Auf dieser Basis wird speziell für diese Heizmethoden eine Computerberechnung des Leistungs und Energiebedarfs erstellt.

Das Rechenprogramm berücksichtigt auch den Temperaturgradienten °C/m (Temperaturanstieg pro Meter Höhe), der gerade bei dieser Gebäudehöhe und Heizmethode Einfluss gewinnt.

Fläche und Höhe

Gebäudegrundfläche	800 m ²
Dachfläche	800 m ²
Gebäudehöhe	8 m
Fensterfläche	130 m ²
Einbauhöhe der Fenster	6 m
Türfläche	25 m ²
Außenwandfläche	805 m ²
Lüftungswärmeverlust	
Luftwechsel am Tag	0,4 ch./h
Luftwechsel in der Nacht	0,3 ch./h

k.-Koeffizient

Fenster k.-Koeffizient	3,0 W/m ² °C
Tür k.-Koeffizient	1,0 W/m ² °C
Außenwand k.-Koeffizient	0,6 W/m ² °C
Dach k.-Koeffizient	0,6 W/m ² °C
Fußboden k.-Koeffizient	0,3 W/m ² °C
Zusätzliche Heizquellen	
Interne Wärmeenergie	5 W/m ²

Energiekosten

Strompreis (europäischer Durchschnitt)	0,2 €/kWh
--	-----------

	Wärmestrahler	Heizlüfter	Heizlüfter mit Deckenventilatoren	
Temperatur				
Angegebene Innentemperatur	17	18	18	°C
Angegebene Außentemperatur	-18	-18	-18	°C
Jahresdurchschnittstemperatur	5	5	5	°C
Temperaturgradient	0,3	2,5	0,3	°C/m
Nachttemperatur	14	15	15	°C
Betriebszeit (TIO)				
Betriebszeit Tagestemperatur	11	12	12	h/Tag
Betriebszeit Nachttemperatur	13	12	12	h/Tag
Betriebstage pro Woche	5	5	5	Tage

ERGEBNISSE

Leistung

Transmissionswärmeverluste	54 201	68 684	55 699	W
Lüftungsverluste	+ 30 202	+ 35 693	+ 31 046	W
Wärmeverluste gesamt	84 402	104 377	86 745	W
Interne Wärmeenergie	- 4 000	- 4 000	- 4 000	W
Gesamtleistungsbedarf, netto	80 402	100 377	82 745	W
Leistungsbedarf/m ²	101	125	103	W/m ²
Leistungsbedarf/m ³	13	16	13	W/m ³

Energie kWh/Jahr

Energiebedarf am Tag	88 075	130 340	103 787	kWh/Jahr
Energiebedarf in der Nacht	+ 70 252	+ 88 309	+ 71 975	kWh/Jahr
Gesamtleistungsbedarf, brutto	158 327	218 649	175 761	kWh/Jahr
Interne Wärmeenergie	- 12 514	- 12 514	- 12 514	kWh/Jahr
Gesamtleistungsbedarf, netto	145 813	206 135	163 247	kWh/Jahr

Jährliche Betriebskosten	29 163	41 227	32 649	€/Jahr
--------------------------	--------	--------	--------	--------

Energieeinsparung

Ein Vergleich des Energiebedarfs gemäß diesen Berechnungen:

Industrie-Infrarotstrahler IR: 146 MWh/Jahr

Heizlüfter: 206 MWh/Jahr

Heizlüfter und Deckenventilator ICF: 163 MWh/Jahr

Energieeinsparung mit Wärmestrahlern: 60 MWh/Jahr

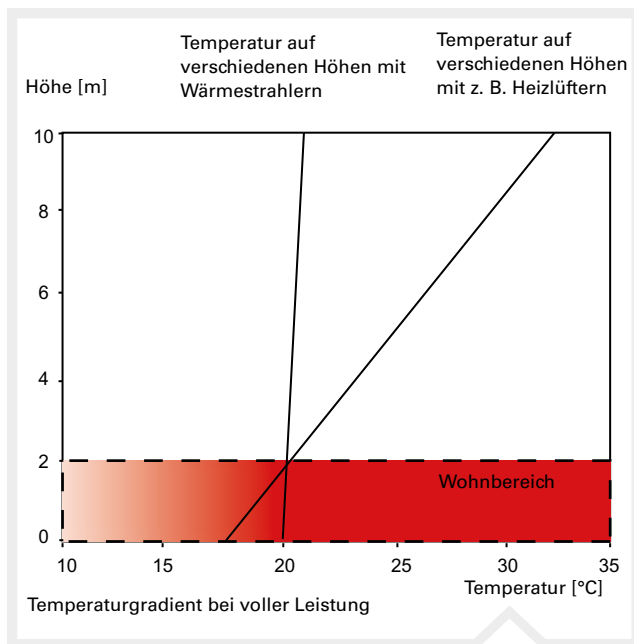
Wärmestrahler verbrauchen ca. 30 % weniger Energie im Vergleich zu Heizlüftern. Falls mit den Heizlüftern Deckenventilatoren eingesetzt werden, beträgt die Differenz 20 %.

Einsparfaktoren

• Niedriger Temperaturgradient

Wärmestrahler haben einen verhältnismäßig niedrigen Temperaturgradienten (ca. 0,3 °C/m) im Vergleich zu Heizlüftern (ca. 2,5 °C/m). Die Temperaturen sind hierbei vertikal gleichmäßiger verteilt, das bedeutet geringere Wärmeverluste und ein verbessertes Ausnutzen der Heizwärme im Aufenthaltsbereich.

• Beitrag der Strahlungstemperatur



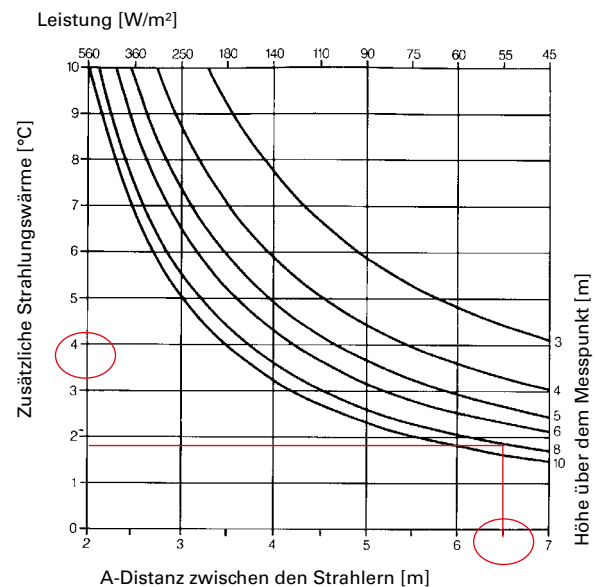
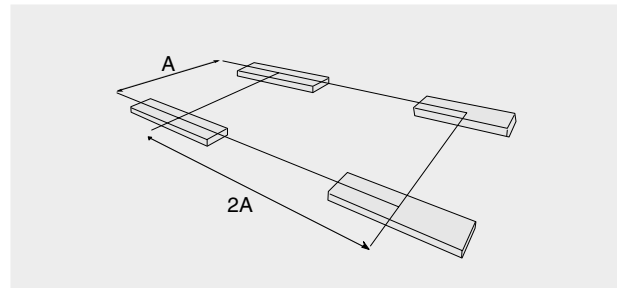
Industrielle Infrarot-Wärmestrahler leisten auch einen Beitrag zur Strahlungstemperatur, und das praktisch „kostenlos“. Die Lufttemperatur des Raumes kann daher etwas niedriger gehalten werden, bei gleichbleibender (gefühlter) Betriebstemperatur. Das untere Diagramm zeigt den großen Einfluss des IR4500 auf die Strahlungstemperatur. Die Strahler sind an der Decke in einer Höhe von 8 Metern über dem Boden montiert. Die Messungen erfolgten 1,5 Meter über dem Boden (Höhe über dem Messpunkt = 6,5 m).

Das Diagramm für den Beitrag zur Strahlungstemperatur zeigt:

$\Delta t_{\text{rad}} = 2 \text{ °C}$, A-Distanz 6,5 Meter zwischen den Strahlern

$$\Delta t = t_{\text{Raum}} + \Delta t_{\text{rad}}/2 \Rightarrow t_{\text{Raum}} = t_{\text{op}} - \Delta t_{\text{rad}}/2$$

In unserem Beispiel: $t_{\text{Raum}} = 18 - 2/2 = 17 \text{ °C}$



Zusätzliche Strahlungswärme IR 4500

• Schnelle Erwärmung

Die Heizung mit Wärmestrahlern erfolgt schneller als mit Luftheizungen. Falls bei Nacht eine geringere Temperatur gewünscht wird als im gezeigten Beispiel, kann die Nachttemperatur verlängert werden.

Empfehlung und Einbauposition

Der Leistungsbedarf dieses Industriegebäudes beträgt bei einer Heizung mit Infrarot-Wärmestrahlern IR etwas über 80 kW. Empfehlung: Es werden 18 Industrie-Infrarotstrahler IR mit je 4,5 kW empfohlen.

Tabellen zur Dimensionierung

Elektrische Grundformeln

Stromstärke

Gleichstrom und 1-phasiger Wechselstrom bei $\cos\varphi=1$	3-Phasen- Wechselstrom Y-Schaltung	3-Phasen- Wechselstrom Δ -Schaltung
$I=U/R=P/U$	$I_L=I$	$I=I_L \cdot \sqrt{3}$

Spannung

Gleichstrom und 1-phasiger Wechselstrom bei $\cos\varphi=1$	3-Phasen- Wechselstrom Y-Schaltung	3-Phasen- Wechselstrom Δ -Schaltung
$U=RI$	$U=U_L \cdot \sqrt{3}$	$U_L=U$

Leistung

Gleichstrom und 1-phasiger Wechselstrom bei $\cos\varphi=1$	3-Phasen- Wechselstrom Y-Schaltung	3-Phasen- Wechselstrom Δ -Schaltung
$P=UI$	$P= \sqrt{3}UI\cos\varphi$	$P= \sqrt{3} UI \cos\varphi$

U = Betriebsspannung in Volt: bei Gleichstrom und Einphasenwechselstrom zwischen den beiden Leitern, bei 3-Phasen-Wechselstrom zwischen zwei Phasen (nicht zwischen Phase und Null).

U_L = Spannung zwischen Phase und Null in einem Kabel mit 3 Phasen

$\sqrt{3} \approx 1.73$

I = Stromstärke in Ampere

I_L = Stromstärke in Ampere in der Phasenleitung

R = Widerstand in Ohm

P = Leistung in Watt

Symbole für Modelltypen

= Standard (kein Symbol)

☼ = tropfwassergeschützt, IPX1

☼☼ = spritzwassergeschützt, IPX4

☼☼☼ = strahlwassergeschützt, IPX5

Schutzarten für Elektromaterial

IP, erste Stelle Schutz vor festen Objekten

0	Kein Schutz
1	Schutz vor festen Objekten ≥ 50 mm
2	Schutz vor festen Objekten $\geq 12,5$ mm
3	Schutz vor festen Objekten $\geq 2,5$ mm
4	Schutz vor festen Objekten $\geq 1,0$ mm
5	Schutz vor Staub
6	Staubdicht

IP, zweite Stelle Schutz vor Wasser

0	Kein Schutz
1	Schutz vor senkrecht auftreffendem Tropfwasser
2	Schutz vor Tropfwasser max. 15°
3	Schutz vor Spritzwasser
4	Schutz vor Sprühwasser
5	Schutz vor Strahlwasser
6	Schutz vor schwerer See
7	Schutz gegen kurzfristiges Eintauchen in Wasser
8	Schutz vor Auswirkungen von langfristigem Eintauchen in Wasser

Dimensionierungstabelle für Kabel und Drähte

Installationskabel, offen oder in Kabelrohr		Verbindungsleitungen		
Querschnitt [mm²]	Sicherung [A]	Querschnitt [mm²]	Dauerstrom [A]	Sicherung [A]
1.5	10	0.75	6	10
2.5	16	1	10	10
4	20			
6	25	1.5	16	16
10	35	2.5	25	20
16	63	4	32	25
25	80	6	40	35
35	100	10	63	63
50	125			
70	160			
95	200			
120	250			
150	250			
185	315			
240	315			
300	400			
400	500			

Dimensionierungstabelle

Stromstärke bei unterschiedlichen Leistungen und Spannungen

Leistung [kW]	Schaltleitungen					
	127/1	230/1	400/1	230/3	400/3	500/3
1.0	7.85	4.34	2.50	2.51	1.46	1.16
1.1	8.65	4.78	2.75	2.76	1.59	1.27
1.2	9.45	5.22	3.00	3.02	1.73	1.39
1.3	10.2	5.65	3.25	3.27	1.88	1.50
1.4	11.0	6.09	3.50	3.52	2.02	1.62
1.5	11.8	6.52	3.75	3.77	2.17	1.73
1.6	12.6	6.96	4.00	4.02	2.31	1.85
1.7	13.4	7.39	4.25	4.27	2.46	1.96
1.7	14.2	7.83	4.50	4.52	2.60	2.08
1.9	15.0	8.26	4.75	4.78	2.75	2.20
2.0	15.8	8.70	5.00	5.03	2.89	2.31
2.2	17.3	9.67	5.50	5.53	3.18	2.54
2.3	18.1	10.0	5.75	5.78	3.32	2.66
2.4	18.9	10.4	6.00	6.03	3.47	2.77
2.6	20.5	11.3	6.50	6.53	3.76	3.01
2.8	22.0	12.2	7.00	7.03	4.05	3.24
3.0	23.6	13.0	7.50	7.54	4.34	3.47
3.2	25.2	13.9	8.00	8.04	4.62	3.70
3.4	26.8	14.8	8.50	8.54	4.91	3.93
3.6	28.4	15.7	9.00	9.05	5.20	4.15
3.8	29.9	16.5	9.50	9.55	5.49	4.39
4.0	31.15	17.4	10.0	10.05	5.78	4.62
4.5	35.4	19.6	11.25	11.31	6.50	5.20
5.0	39.4	21.7	12.50	12.57	7.23	5.78
5.5	43.3	23.9	13.75	13.82	7.95	6.36
6.0	47.3	26.1	15.0	15.1	8.67	6.94
6.5	51.2	28.3	16.25	16.3	9.39	7.51
7.0	55.0	30.4	17.50	17.6	10.1	8.09
7.5	59.0	32.6	18.75	18.8	10.8	8.67
8.0	63.0	34.8	20.0	20.1	11.6	9.25
8.5	67.0	37.0	21.25	21.4	12.3	9.83
9.0	71.0	39.1	22.5	22.6	13.0	10.4
9.5	75.0	41.3	23.75	23.9	13.7	11.0
10.0	78.5	43.5	25.0	25.1	14.5	11.6

Für Leistungen zwischen 0,1 und 1 kW wird der abgelesene Ampere-Wert mit 0,1 multipliziert.

Für Leistungen zwischen 10 und 100 kW wird der abgelesene Ampere-Wert mit 10 multipliziert.

Klimawerte

Ort	Durchschn. Tages- temperatur [°C]	Extrem- temp. im Dez. [°C]	Durchschn. Wind- geschwindigkeit [m/s]
Skandinavien			
Tromsø	2.9	-14.9	3.0
Karesoando	-1.5	-30.2	1.5
Sodankyle	-0.4	-43.1	3.0
Trondheim	4.9	-20.2	3.2
Vaasa	3.5	-30.2	3.8
Bergen	7.8	-8.4	3.2
Oslo	5.9	-20.2	2.2
Stockholm	6.6	-16.3	3.8
Göteborg	7.6	-15.8	4.0
Kopenhagen	8.5	-11.4	2.3
Großbritannien, Frankreich, Belgien, Niederlande, Luxemburg			
London	10.4	(-12)	-
Eelde	8.7	-14.6	5.3
De Bilt	9.3	-20.8	3.3
Ostende	9.9	-13.5	6.5
Brüssel	9.9	-16.0	3.8
Lille	9.7	-14.0	4.5
Luxemburg-Stadt	8.8	-15.2	
Le Havre	10.6	-7.8	-
Paris	10.9	-13.2	3.9
Straßburg	9.7	-21.0	2.2
Brest	10.8	-5.0	5.0
Tours	11.2	-18.0	3.7
Nantes	11.7	-10.8	3.6
Lyon	11.4	-24.6	3.0
Bordeaux	12.3	-13.4	3.1
Toulouse	12.5	-10.5	3.6
Marseille	14.2	-12.8	4.4
Ajaccio, Korsika	14.7	-3.6	2.6
Iberische Halbinsel			
Santander	13.9	-0.2	3.6
Barcelona	16.4	-2.5	2.2
Porto	14.4	-3.7	5.1
Madrid	13.9	-6.5	2.7
Palma de Mallorca	16.8	-1.5	2.8
Lissabon	16.6	0.0	4.1
Sevilla	18.8	-2.8	1.7
Malaga	18.5	2.0	2.1
Polen, Tschechische Republik, Slowakei, Ungarn			
Gdingen	7.9	-14.8	3.6
Warschau	8.1	-18.9	4.1
Krakau	8.6	-17.1	2.7
Prag	7.9	-20.4	-
Ostrava	8.1	-27.9	-
Bratislava	9.6	-22.8	3.4
Budapest	11.2	-19.1	2.3
Pecs	11.5	-	3.3

Ort	Durchschn. Tages- temperatur [°C]	Extrem temp. im Dez. [°C]	Durchschn. Wind- geschwindigkeit [m/s]
Mitteleuropa			
List auf Sylt	8.4	-8.0	6,7
Greifswald	8.3	-17.4	5,3
Hamburg	8.4	-16.4	4,2
Dresden-Wahnsdorf	8.6	-20.3	4,9
Aschen	9.7	-16.5	3,0
Karlsruhe	10.1	-21.5	2,3
Wien	9.8	-15.3	3,0
Salzburg	8.1	-27.7	2,0
Garmisch- Partenkirchen	6.3	-22.7	1,3
Zürich	8.5	-19.3	2,8
Innsbruck	8.6	-24.8	1,3
Graz	8.3	-19.0	1,4
genf	10.3		-
Italien			
Mailand	3.8	-7.0	-
Genua	9.2	-2.8	-
Florenz	14.4	-8.0	-
Rom	15.6	-5.0	-
Neapel	16.8	-1.6	-
Messina	17.9	-0.2	-
Südost-Europa			
Zagreb	11.6	-26.3	-
Belgrad	11.8	-19.3	-
Bukarest	11.1	-19.9	2,0
Sarajevo	9.8	-22.4	1,4
Sofia	10.4	-20.3	2,0
Skopje	12.4	-21.8	-
Tirana	16.0	-8.0	1,5
Thessaloniki	16.1	-	-
Athen	17.8	-	2,0
Osteuropa und Russland			
Murmansk (Region)	-0.6	-	4,2
Archangelsk (Region)	-1.0	-	-
Moskau	4.9	-	-
St. Petersburg (Region)	4.4	-	3,6
Baltische Staaten	6.2	-	5,0
Weißrussland	6.3	-	3,4
Kiew	7.6	-	-
Novosibirsk	1.0	-	-

Wärmedämmung, k.-Wert

k = Wärmedurchgangskoeffizient [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$]

Der k -Koeffizient zeigt die Wärmedämmkapazität eines Gebäudeteils. Mit der folgenden Gleichung kann der k -Koeffizient berechnet werden:

$$1/k = R_{\text{si}} + R + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + d_n/\lambda_n + R_{\text{se}}$$

R = Wärmewiderstand [$\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$]

R -Werte zeigen die Wärmedämmkapazität eines Produktes oder eines Gebäudeteils.

R_{si} = Wärmeleitwiderstand von der Innenluft zur Wandoberfläche [$\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$]

R_{se} = Wärmeleitwiderstand

von der Außenluft zur Wandoberfläche [$\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$]

$d_1, d_2, \dots, d_n$ = Materialstärke [m]

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ = Wärmeleitfähigkeit [$\text{W}/\text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$]

Material	U-Wert in [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$]	Material	U-Wert in [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$]
Wände		Fenster	
Neue Gebäudekonstruktion		Neue Gebäudekonstruktion	
Holzkonstruktion mit 15 cm Isolierung und Gipskarton	0,27	1+1 Fensterscheiben (1 äußere Scheibe und 1 isolierte Scheibe)	2,5
Holzkonstruktion mit 20 cm Isolierung und Gipskarton	0,25	Zweifachfenster (zwei mal Isolierglas)	2,7
Holzkonstruktion mit 25 cm Isolierung und Gipskarton	0,22	2+1 Fensterscheiben (1 äußere Scheibe und 2 isolierte Scheiben)	1,0
Ziegelsteinkonstruktion mit 15 cm Isolierung und Gipskarton	0,27	Dreifachfenster (drei mal Isolierglas)	1,2
Ziegelsteinkonstruktion mit 20 cm Isolierung und Gipskarton	0,24	Energieklasse A	0,9
Leichtbeton mit 15 cm Isolierung	0,25	Energieklasse B	1,0
Leichtbeton mit 20 cm Isolierung	0,2	Energieklasse C	1,1
Plattenkonstruktion mit 5 cm Isolierung	0,8	Energieklasse D	1,2
Plattenkonstruktion mit 10 cm Isolierung	0,4	Energieklasse E	1,3
Plattenkonstruktion mit 15 cm Isolierung	0,3	Energieklasse F	1,4
Neubau für Niedrigenergiehaus	0,18	Energieklasse G	1,5
Lager	0,3	Ältere Gebäude	
Einfaches PVC (900 g)	5,0	Einfachfenster	5,0
Isolierte Halle (Thermohalle)	0,6	Doppelfenster	3,0
Ältere Gebäude		Dreifachfenster	2,0
Einfacher Mauerstein, 12 cm	1,8	Dreifachfenster mit Isolierglas	1,8
1,5 Steine, 18 cm	1,1	Türen	
Leichter Betonformstein, 20 cm	0,8	Schiebetüren mit Vollverkleidung	0,8
Leichter Betonformstein, 30 cm	0,6	Schiebetür mit Fensterscheibe	1,3
Beton, 15 cm	2,8	Faltdüren mit Fensterscheiben	2,2
Beton mit 5 cm Dämmung	0,8	Faltdüren voll verglast	3,4
Beton mit 10 cm Dämmung	0,4	Einfache Eingangstür ohne Glas	1,0
Fertigwand mit 5 cm Dämmung	0,8	Einfache Eingangstür mit Glas	3,4
Fertigwand mit 10 cm Dämmung	0,4	Doppelte Eingangstür ohne Glas	0,7
Fertigwand mit 15 cm Dämmung	0,3	Doppelte Eingangstür mit Glas	1,7
Neubau	0,3	Boden	
Dach		Neue Gebäudekonstruktion	
Neue Gebäudekonstruktion		Neuer Boden mit 10 cm Isolierung	0,2
Wellblechdach, mit 20 cm Isolierung	0,24	Neuer Boden mit 15 cm Isolierung	0,16
Ziegeldach, mit 20 cm Isolierung	0,23	Neuer Boden mit 20 cm Isolierung	0,13
Ältere Gebäude		Ältere Gebäude	
Betonträgerkonstruktion, 15 cm	2,8	< 300 m ²	0,4
Betonträgerkonstruktion mit 5 cm Dämmung	0,8	> 300 m ²	0,3
Betonträgerkonstruktion mit 10 cm Dämmung	0,4		
Leichter Beton, 20 cm	0,8		
Leichter Beton, 30 cm	0,6		
Wellblechdach, nicht isoliert	4,0		
Wellblechdach, mit 5 cm Dämmung	0,8		
Wellblechdach, mit 10 cm Dämmung	0,6		
Wellblechdach, mit 25 cm Dämmung	0,2		

Temperaturgradienten

Konvektor-Heizung	2 - 2,5 °C/m
Warmluft-Heizung - Heizlüfter	2 - 2,5 °C/m
Radiatoren und Warmluftheizung	1,7 °C/m
Radiator-Heizung	1,2 °C/m
Wärmestrahler	0,2 - 0,4 °C/m
Fußbodenheizung	~0,1 °C/m

Die Werte gelten bei voller Leistung

Interne Wärmeenergie

Aktivitäten	W/m ² Bodenfläche	W/Mitarbeiter
Laden	15	
Cafeteria	15	
Büro	0-20	100
Sport-Center	10	
Bäckerei	30	
Stahlwerk	50-70	
KFZ-Werkstatt	15	
Handwerksbetrieb	20	
Groß-Werkstatt	50	
Bleischweißen	25	

Energieäquivalent

Menge und Substanz	Energiemenge [MWh]
1 m ³ Öl	8.000
1 Nm ³ Flüssig-Propangas	0.022
1 Nm ³ Erdgas	0.009
1 Nm ³ Stadtgas	0.004
1 kg Flüssig-Propangas	0.087
1 kg Erdgas	0.007
1 kg Stadtgas	0.003

Wärmeleitfähigkeit

Material	λ-Werte [W/m°C]
Naturstein	2.4-3.6
Kalksandstein	1.0
Beton	1.7
Leichter Klinkerstein, Beton	0.6
Ziegel und Beton-Hohlblocksteine	0.6
Zementmörtel	1.0
Holz, Spanplatten	0.14
Gipskartonplatten	0.22
Sperrholz	0.13
Faserstoffplatten	0.08
Steinwolle	0.045
Zellkunststoff	0.04

Wärmewiderstand R

Material	R Wärmewiderstand [m ² °C/W]
Interner + externer Leitungswiderstand R _{si} + R _{se}	0.17
Kellerwand, unterirdisch 1-2 Meter	1.0
Unter dem Fußboden am Boden Äußerer Grenzbereich	0.7
Unter dem Fußboden am Boden Innerer Grenzbereich	2.0

Infiltration

Gebäude-Typ	[Luftwechsel / h]
Neue Gebäude	
< 1000 m ²	0,3
> 1000 m ²	0,1
Ältere Gebäude	
< 1000 m ²	0,4
> 1000 m ²	0,2

Belüftung

Mit der folgenden Formel können die Volumenströme zur Belüftung berechnet werden:

$$Q = q \times A_{\text{Boden}} \times 3,6 \quad \text{oder} \quad Q = n \times V_{\text{Gebäude}}$$

wobei q = Volumenstrom [l/s m²]
 n = Anzahl der Luftwechsel pro Stunde
 A_{Boden} = Fußbodenfläche des Gebäudes [m²]
 $V_{\text{Gebäude}}$ = Rauminhalt des Gebäudes [m³]

Die unten angegebenen Volumenströme sind nur Empfehlungen.

Gebäude	l/s m ²	l/s Person	Luftaustausch/h
Laden	2.1	7	4-5
Cafeteria	5	7	6.0
Öffentliche Gebäude	0.35	+7	3.0
Büro	0.35	+7	1-2
Schule	0.35	+7	4-5
Sport-Center	2.1	7	2.0
Bäckerei	6		6.0
Stahlwerk	40.0		10-15
KFZ-Werkstatt	30		3.0
Handwerksbetrieb	0.35	+7	5.0
Bleischweißen	5.0		5.0
Veranstaltungshalle/ Raucher		20	8.0
Veranstaltungshalle/ Nichtraucher	7	7	6.0
Mindestanforderung	0.35		ca 0,5

