

# Elektrisch beheizte Umluftöfen für die Wärmebehandlung von Metallen

Drott, E. (1)

Durch den erhöhten Bedarf an Hochleistungsbauteilen und High-Tech Produkten aus Leichtmetalllegierungen oder Buntmetallen besteht im Industrieofenbau auch ein steigender Bedarf an Umluftöfen. Die Bauteile erfordern eine Wärmebehandlung bei einer sehr guten Temperaturverteilung im Nutzraum und eine schnellere Wärmeübertragung. Das erreicht man nur durch erzwungene Konvektion.

Wie sind elektrisch beheizte Umluftöfen aufgebaut und was ist bei der Auslegung der Ofenbaugruppen zu beachten, damit die Wärmeübertragung auf die Charge überwiegend durch erzwungene Konvektion erfolgt?

Dazu werden Ofenraum/ Nutzraum, Umwälzventilator mit Umlufteinrichtung, Heizung, Isolierung, Regelung und nicht zuletzt die Charge selbst näher betrachtet.

Das Ergebnis der Optimierung zeigen Messungen, die in einem Sonder-Umluftkammerofen der Firma Linn High Therm GmbH durchgeführt wurden. Wie das Ganze in dem gleichen Ofen ohne Umluftbetrieb aussieht, wurde durch Simulation ermittelt. Aus den Kurven ist ersichtlich, dass die erzwungene Konvektion nachweislich zu einer kürzeren Aufheizzeit und zu einer hohen Temperaturgleichmäßigkeit im Ofen führt.

Erwärmungsanlagen für Halbzeuge aus Leichtmetalllegierungen oder Buntmetallen, deren geringe Wärmestrahlungsabsorption wegen der meist blanken Oberfläche eine konvektive Wärmeübertragung notwendig macht.

Durch die Forderung nach Hochleistungsbauteilen und High-Tech-Produkten steigt der Bedarf immer weiter an. Leichtbauteile mit höchstmöglicher Festigkeit ersetzen mehr und mehr herkömmliche Materialien, was sich besonders in der Automobilindustrie, der Luftfahrttechnik, der Aluminiumindustrie und beim Wärmebehandeln von Magnesium widerspiegelt.

Doch auch in klassischen Anwendungsbereichen, wie der Federindustrie, im Werkzeug- und Formenbau, in Härtereien sowie in der Forschung und Entwicklung haben Umluftöfen ihren festen Platz. Eine kleine Auswahl von Teilen, die in Umluftöfen wärmebehandelt werden, zeigt Bild 1. Weitere Anwendungsbeispiele sind:

- das Anlassen von Getriebewellen für die Automobilindustrie,
- die Erwärmung von Leichtmetall-Motorengehäusen für Motorräder,
- die Wärmebehandlung von Federn aller Art, unter anderem für Kugelschreiber und für den

- Maschinen- und Fahrzeugbau,
- die Erwärmung von Aluminium-Röhren für hydraulische Antriebe,
- das Vorwärmen von Schaumwerkzeugen aus Leichtmetall,
- sowie die Wärmebehandlung von Aluminium-Bratpfannen für den Hausgebrauch.

## Aufbau und Funktion des Umluftofens

Elektrisch beheizte Umluftöfen bestehen aus dem Ofenraum, der Umlufteinrichtung mit Umwälzventilator, der elektrischen Heizung, der Isolierung, dem Ofengehäuse und der Schalt- und Regelanlage (Bild 2). Sie dienen zur Wärmebehandlung von Teilen, bei denen eine sehr gute Temperaturverteilung und eine schnellere Wärmeübertragung gefordert wird (Arbeitstemperaturen bis ca. 950 °C).

Die konvektive Wärmeübertragung wird durch strömende Luft/ Gas realisiert. Als Strömungsmotor kommt ein Umwälzventilator zum Einsatz. Den Ventilator kann man so in den Kreislauf einbauen, dass entweder eine vertikale oder eine horizontale Strömung realisiert wird.

Bei Vertikalbetrieb befindet sich der Ventilator in der Ofendecke (Abb. 2) oder im Boden, bei Horizontalbetrieb dagegen in der Rückwand, der Tür oder in einer Seitenwand (je nach Ofentyp).

Welche Strömungsrichtung beim Ofenkonzept gewählt wird, richtet sich u.a. nach der Art der Charge und der Art der Wärmebehandlung.

Ein Beispiel für Horizontalbetrieb zeigt Bild 3. Dort befindet sich der Ventilator in der Ofentür eines Kammerofens mit gasdichter Muffel. Eingebaut ist ein Radialventilator. Das Medium wird axial angesaugt und

Wärmebehandlungsöfen mit Umluftzirkulation finden ihre Anwendung dort, wo die Wärmeübertragung auf die Charge überwiegend durch erzwungene Konvektion erfolgt. Dies sind z. B.



Bild 1: Teilebeispiele

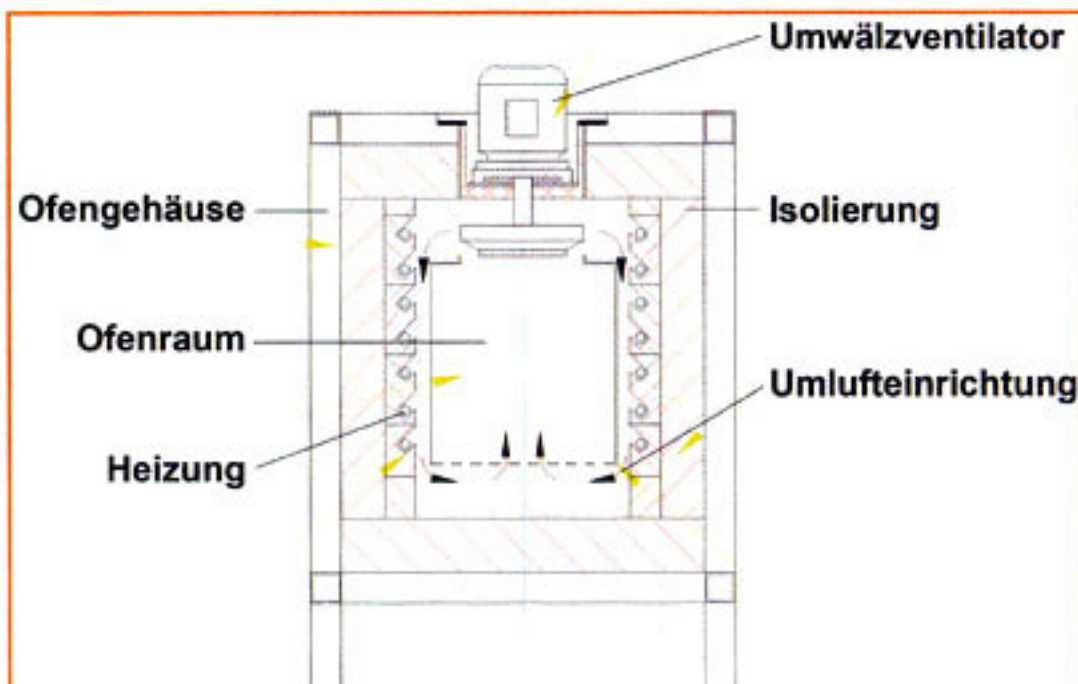


Bild 2: Prinzipdarstellung

anschließend radial mit hoher Umfangsgeschwindigkeit wieder ausgeströmt. Die Schirmbleche dienen zur Strahlungsisolierung.

In Bild 4 ist der Umwälzventilator im Deckel eines Schachtovens mit schutzgasdichter Retorte eingebaut. Zum Be- und Entladen wird der komplette Deckel angehoben und zur Seite weggeschwenkt.

Messungen, die in einem Umluftkammerofen von Linn High Therm (Ofentyp FU-1000/500/1300/500) durchgeführt wurden zeigen, dass die erzwungene Konvektion nachweislich zu einer kürzeren Aufheizzeit und zu einer besseren Temperaturgleichmäßigkeit im Ofen führt. Dieser Sonderofen (675 Liter Ofenraum)

Wärmebehandlung nutzbar ist, heißt Nutzraum.

Natürlich darf nicht der gesamte Ofenraum mit der Charge zugestellt werden. Das haben auch die Messungen im Umluftkammerofen von Linn gezeigt. Es muss sicher gestellt sein, dass das Wärmeumgehört von der Umluft umströmt werden kann. Nur durch eine ausreichende Umluftzirkulation ist eine gleichmäßige und schnellere Wärmeübertragung möglich.

Häufig bestehen bei Ofenbetreibern und Ofenbauern unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich Ofenraum bzw. Nutzraum. Die Festlegung des eigentlichen Nutzraumes ist deshalb für die Ofenplanung sehr wichtig.

## Umlufteinrichtung

Die Umlufteinrichtung dient sowohl zur Abschirmung der Heizung gegenüber dem Nutzraum als auch zur Umluftführung. In einer industriellen Wärmebehandlungsanlage mit konvektivem Wärmeaustausch wird die Strömung üblicherweise im geschlossenen Kreislauf geführt.

Die Strömungsführungen verbinden auf der Zuflussseite und auf der

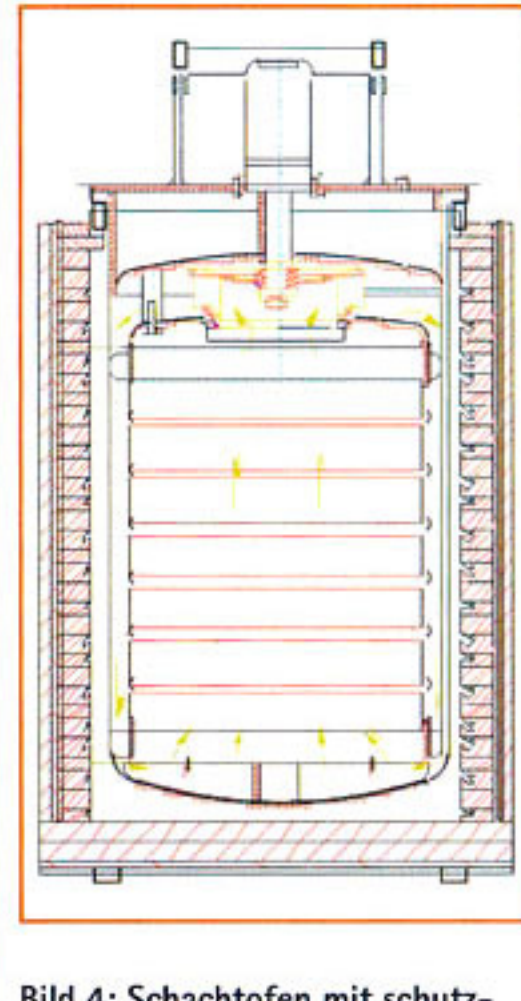


Bild 4: Schachtofen mit schutzgasdichter Retorte

dient unter anderem zum Anlassen von Blechbiegeteilen und Federn. Die Vorgabe vom Kunden lautet: Arbeitstemperatur 250°C ± 5 K im Nutzraum mit der Charge.

Aus Bild 5 ist ersichtlich, dass bei der Aufheizkurve mit Umluftbetrieb die am Regler eingestellte Solltemperatur von 250 °C (gemessen in der Kammermitte) nach 10 Minuten erreicht ist, bei der Aufheizkurve ohne Umluftbetrieb (Simulation) dagegen erst nach ca. 17 Minuten.

Einen Überblick über die Temperaturverteilung zeigt Bild 6. Vergleicht man die Temperaturen an den einzelnen Messpunkten in Chargennähe, so differieren sie nur um ca. 5 K. Die Kundenvorgabe wurde damit mehr als erfüllt.

Der eigentliche homogene Nutzraum beträgt etwa 75% des Ofenraumes. Das heißt, in diesem Raum werden die geforderten 250 °C ± 5 K eingehalten.

Bild 7 stellt den gleichen Ofen ohne Umluftbetrieb dar (Simulation). Es ist gut zu erkennen, dass nur etwa 20% des Ofenraumes als eigentlicher Nutzraum dient. In dem übrigen Raum werden die 250 °C ± 5 K weit überschritten.

## Ofenraum/ Nutzraum

Als Ofenraum bezeichnet man den Raum, der sich aus den Innenabmessungen ergibt. Der Raum, der für die

Wärmewiderstand erfolgt. Strömungsverzweigungen und die Umlenkung der Strömung beim Eintritt in den Ofeninnenraum vermindern die Strömungsgeschwindigkeit. Das kann auch zu Verwirbelungen führen, wodurch die Temperaturgleichmäßigkeit im Ofen beeinträchtigt wird.

Deshalb sind Form und Anordnung der Luftleitbleche (Prallbleche) von großer Bedeutung, um Umlenkverluste minimal zu halten. Aber auch allgemeine Wärmeverluste durch technisch bedingte Wärmebrücken im Ofen sind zu bedenken (z.B. Tür-, Bodenbereich).

Die Luftleitbleche sollten also differenziert und flexibel angeordnet sein mit dem Ziel einer optimalen Wärmeübertragung auf die Charge.

Das Strömungssystem kann durch Berechnungen entsprechend ausgelegt werden. Dies ist unter Beachtung aller Randbedingungen und einem

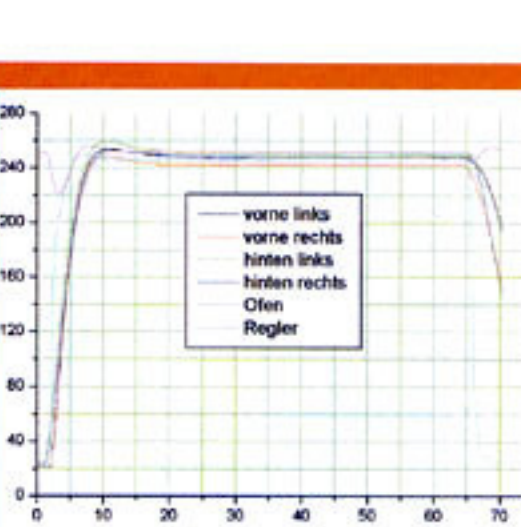


Bild 6: Temperaturverteilung, Linn-Ofentyp FU-1000/500/1300/500

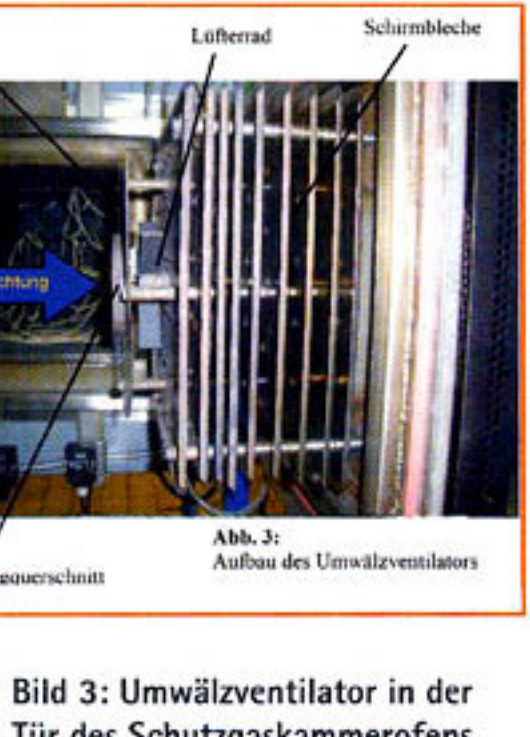


Bild 3: Umwälzventilator in der Tür des Schutzgaskammerofens Linn-Ofentyp KS-S

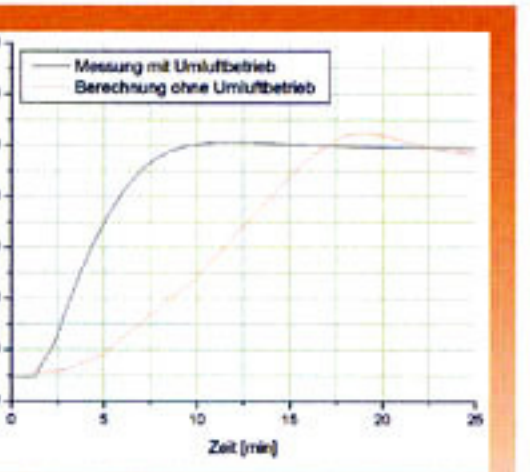


Bild 5: Aufheizkurven, Linn-Ofentyp FU-1000/500/1300/500

Abströmseite den Ofenraum mit dem Umwälzventilator.

Bei der Gestaltung der Strömungsführungen von Umwälzventilator zum Ofenraum ist zu beachten, dass die Strömung gleichmäßig und mit einem möglichst geringen Strömungswiderstand erfolgt.

Die Umlenkung der Strömung beim Eintritt in den Ofeninnenraum vermindern die Strömungsgeschwindigkeit. Das kann auch zu Verwirbelungen führen, wodurch die Temperaturgleichmäßigkeit im Ofen beeinträchtigt wird.

Deshalb sind Form und Anordnung der Luftleitbleche (Prallbleche) von großer Bedeutung, um Umlenkverluste minimal zu halten. Aber auch allgemeine Wärmeverluste durch technisch bedingte Wärmebrücken im Ofen sind zu bedenken (z.B. Tür-, Bodenbereich).

Die Luftleitbleche sollten also differenziert und flexibel angeordnet sein mit dem Ziel einer optimalen Wärmeübertragung auf die Charge.

Das Strömungssystem kann durch Berechnungen entsprechend ausgelegt werden. Dies ist unter Beachtung aller Randbedingungen und einem

Umwälzventilatoren	Funktionsschema	Temperatur-einsatzbereich	Vorteile / Nachteile
Axialventilatoren		vorwiegend bis ca. 600 °C	- fördern hohe Volumenströme bei relativ kleiner Baugröße - erzeugen meist nicht so große Druckerhöhungen wie die Radialventilatoren - erfordern üblicherweise einen außenwandnahen Einbau, was die Zu- bzw. Abströmsituation erschwert
Radialventilatoren		bis ca. 1000 °C; bei Temperaturen über 600 °C meist in Umluftöfen zu finden	- umlenken eine interne Strömungsumlenkung (90°) - deren Laufräder können mit der größten Umfangsgeschwindigkeit betrieben werden - sind vielfach einzeitanfertigen (Heißgasventilatoren) - erfordern über 900 °C eine Zwangskühlung des Motors (z.B. mit Wasser oder Pressluft)
Querstromventilatoren		bis ca. 500 °C	- können an die jeweilige Anlagenbreite angepasst werden - ermöglichen eine gleichmäßige Beaufschlagung von breiten Arbeitsflächen (ohne Leiteinrichtungen) - haben vergleichsweise einen niedrigen Wirkungsgrad

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Umwälzventilatoren

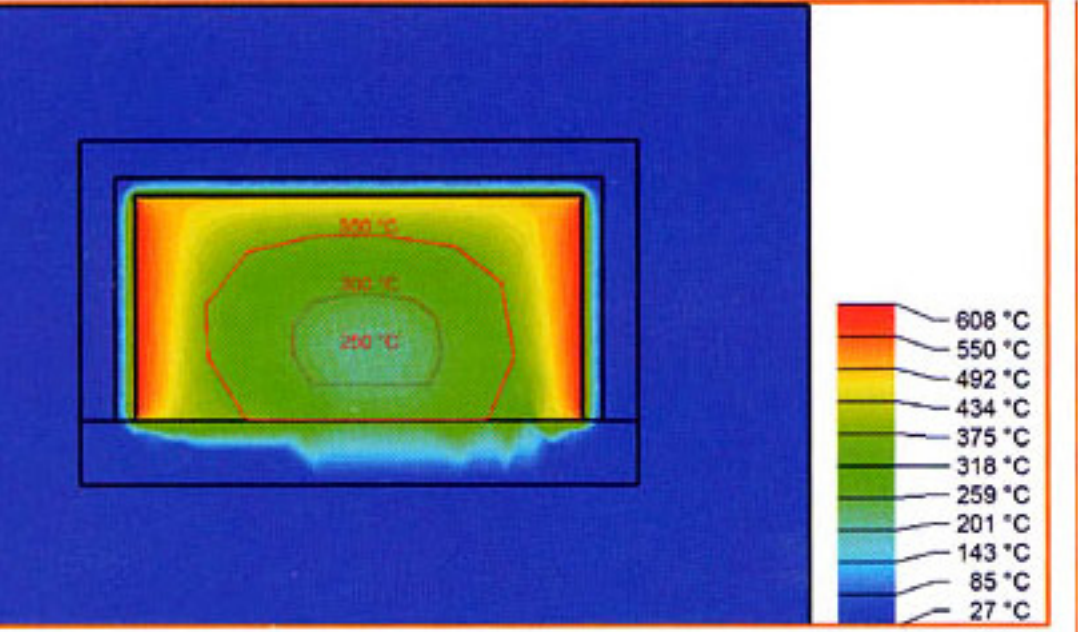


Bild 7: Temperaturverteilung, Simulation ohne Umluftbetrieb, Linn-Ofentyp FU-1000/500/1300/500

Eine Drehzahlstellung mit Frequenzumrichter ist damit problemlos möglich. Nachteilig ist aber, dass mit abnehmender Drehzahl die Eigenkühlung der Motorwelle bzw. des Motors immer schlechter wird. Für solche Anwendungen bieten sich Umwälzventilatoren mit Zwangskühlung an (z.B. Wasser- oder Pressluftkühlung).

## Heizung

Je nach Arbeitstemperatur werden bei den elektrisch beheizten Umluftöfen unterschiedliche Heizelemente eingesetzt. Dabei muss die maximal zulässige Oberflächentemperatur der Heizelemente berücksichtigt werden. Die Tabelle 2 zeigt einen Überblick der Heizelemente, wobei Angaben für die Arbeitstemperatur nur Richtwerte sind.

In der Regel wird die Heizung direkt im Umluftsystem angeordnet. Das ist optimal für eine schnellere Wärmeübertragung (Bild 2).

Eine zweite Einbauvariante ist die Anordnung der Heizung im Ofenraum (Bild 4).

Bei beiden Varianten muss die Heizungsanordnung so erfolgen, dass weder örtliche Leistungskonzentrationen noch Bereiche mit unzureichender Wärme entstehen.

Temperaturunterschiede, die auf Grund von Wärmeverlusten auftreten, lassen sich durch die Heizungsanordnung in mehrere Heiz- und Regelzonen ausgliedern. Die Heizzone, die sich unmittelbar an die

Türöffnung/Deckelöffnung anschließt, wird z.B. mit einer erhöhten Heizleistung berechnet.

Heizung, Umluftführung und Ventilator müssen im Komplex so ausgelegt sein, dass die Wärmeübertragung auf die Charge überwiegend durch erzwungene Konvektion erfolgt.

## Isolierung

Die Auswahl der Wärmedämmstoffe richtet sich nach der maximalen Ofeninnentemperatur unter Berücksichtigung der vom Kunden geforderten maximal zulässigen Gehäuseaußentemperatur. Üblicherweise ist es eine Kombination verschiedener Materialien, die man aufgrund von Wärmedurchgangsberechnungen zusammenstellt.

Eine komplette Faserauskleidung des Ofens ermöglicht relativ schnelle Aufheiz- bzw. Abkühlgeschwindigkeiten, wogegen ein Ofen mit Steinauskleidung träger reagiert.

Bei empfindlichen Chargen erfolgt die Dämmstoffauswahl so, dass ein Lösen und Aufwirbeln von Partikeln durch den Umluftstrom vermieden wird.

## Regelung

Die Wahl der entsprechenden Regeltechnik und die optimale Anordnung der Thermoelemente sind wichtige Voraussetzungen für die Erzielung einer hohen Temperaturgleichmäßigkeit im Ofen.

mit Wärmegut bestückten Ofen nicht ganz einfaeh.

In der Ofenbau-Praxis greift man deshalb in den meisten Fällen auf sichere Erfahrungswerte zurück. Letztendlich erfolgt die Optimierung der Strömungsbleche aber direkt beim Einfahren der Ofenanlage.

## Umwälzventilator

Bei der Auswahl eines geeigneten Umwälzventilators ist das Betriebsverhalten unter Berücksichtigung der Einbausituation zu bedenken.

Je nach Hauptdurchströmungsrichtung des Laufrades unterscheidet man verschiedene Bauformen von Umwälzventilatoren (Tabelle 1).

Die Ventilatorleistung richtet sich nach dem Volumen des Ofeninnenraumes.

Proportionalitätsgesetz:  $P \sim \sqrt{V}$   
Beispiel:  
Geht man von einem Luftwechsel von ca. 30 1/min des Ofeninnenvolumens aus, ergibt sich bei einem Volumen von 1 m<sup>3</sup> die Ventilatorleistung von 30 m<sup>3</sup>/min.

Bei bestimmten Prozessen ist es erforderlich die Strömungsgeschwindigkeit variabel einzustellen. Diese exakte Anpassung kann z.B. bei kleinen und leichten bzw. großflächigen Teilen eine Bewegung im Luftstrom verhindern.

Die häufig eingesetzten Radialventilatoren mit Luftkühlung (bis 850 °C) werden überwiegend mit Drehstrom-Asynchron-Motoren angetrieben.

Aussagen über die Temperaturverteilung beziehen sich üblicherweise auf einen leeren Nutzraum.

Die Temperaturverteilung im Ofen mit Charge ist logischerweise von Fall zu Fall unterschiedlich (Art der Charge, massiv / hohl, wie beladen - kompakt/ aufgelockert usw.).

Die von mindestens ± 1 K haben, was bei modernen Reglern auch schon in den unteren Preisklassen erreicht wird.

Für die Thermoelemente wählt man solche mit Grenzabweichung nach IEC 584-2, Klasse 1.

Wird eine Temperaturverteilung von ± 3 K und besser gefordert bzw. bestehen hohe Anforderungen an die absolute Temperaturgenauigkeit, ist es aber ratsam, kalibrierte Thermoelemente mit Prüfprotokoll zu verwenden.

In den Umluftöfen für die Wärmebehandlung von Metallen kommen bei Linn High Therm Mantelthermoelemente NiCr-Ni (Typ „K“) mit Inconel-Mantel zum Einsatz. Diese sind robust im Aufbau und damit sehr unempfindlich gegenüber Schwingungen, mechanischer Beschädigung, Alterung durch die Ofenatmosphäre usw. Bei Arbeitstemperaturen bis 400 °C und hohen Anforderungen an die Messgenauigkeit werden auch Widerstandsthermometer PT 100 in 3-Leiterschaltung eingesetzt.

Die Thermoelemente dienen:

1. zur Temperaturgleichmäßigkeit (Prozessregler),
2. zum Zweck der Temperaturbegrenzung (Sicherheitsregler).

## Thermolemente, die auf den Prozessregler geführt werden

Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass die Einbaulage der Regelthermoelemente von Fall zu Fall unterschiedlich sein kann und zwar:

- a) im Umluftsystem
- b) im Nutzraum
- c) in Chargennähe

Die Position hängt u.a. von der Art der Charge ab. Bei der Einbaulage a) ist das Thermoelement unmittelbar