

# Konvektive Erwärmung – Aspekte im Industrieofenbau

## Convective Heating – Aspects in industrial furnaces

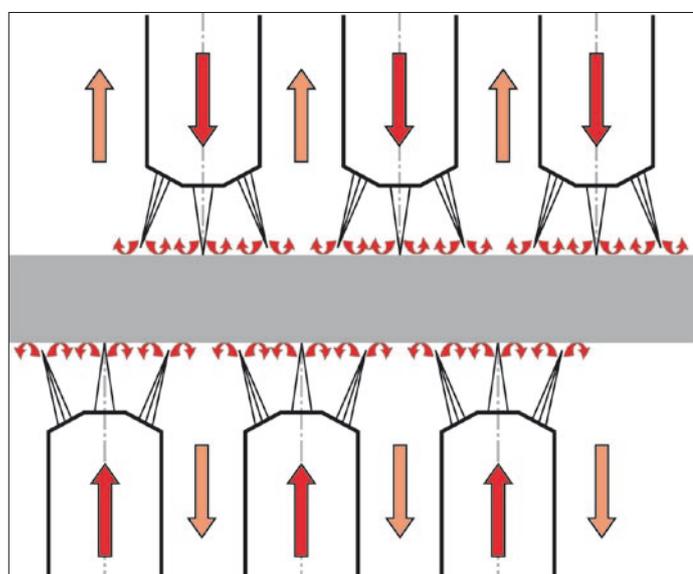
Olaf Irretier, Werner Schütt

Die schnelle und vor allem auch gleichmäßige Erwärmung spielt bei der Wärmebehandlung eine entscheidende Rolle. Gleichmäßige Bauteil- und Gefügeeigenschaften, minimierter Bauteilverzug und letztlich auch die Wirtschaftlichkeiten hängen von dieser wesentlichen Eigenschaft eines Industrieofens ab.

In den letzten Jahren hat sich die Erwärmung mit Prallströmung (Jet-Heating) vor allem bei der Erwärmung von Schmiede- /bzw. Umformbauteilen aus Aluminium etabliert. Die Erwärmung mit Prallstrahlen bietet viele Vorteile: Kompakte Bauweise, hohe Temperaturgleichmäßigkeit, erheblich geringere Energiekosten sowie die Möglichkeit, unterschiedlich große Teile im gleichen Ofen effizient zu erwärmen. Der folgende Beitrag stellt die Aspekte der konvektiven Erwärmung auf Basis der Prallströmung im Industrieofenbau dar.

Fast and homogenous heat treatment of components have a determining role. Homogenous crystal structure and qualities, minimised distortion and finally also the economical situation of the thermal process depended on the quality of an industrial furnace.

During the last years the heating with impact current (jet Heating) has set up especially in heat treatment of alumina as well as forging parts. The heating with impact current offers many advantages like compact design of heat treatment furnaces, high temperature homogeneity, lower energy costs as well as the possibility to heat up differently large parts in the same furnace efficiently. The following article shows the aspects of convective heating due to impact current in industrial furnace technology.



**Bild 1:** Prinzip Prallströmung

**Fig. 1:** The impingement flow principle

### Grundlagen Prallströmung

Bei jeder Wärmebehandlung werden Bauteile zunächst auf hohe Temperaturen erwärmt und nach einer entsprechenden Haltedauer wieder abgekühlt. Der Wärmeübergang auf das Bauteil geschieht bei Temperaturen bis 700 °C, jedoch fast ausschließlich durch (erzwungene) Konvektion. Es ist daher erstrebenswert, dass insbesondere in diesem Temperaturbereich die forcierte Umwälzung besonderer Beachtung zukommt.

Neben der „konventionellen“ Umwälzung durch Heißgasventilatoren hat sich in den letzten Jahren vor allem auch die Erwärmung durch „Prallstrahlung“ durchgesetzt, weil durch diese Technologie Öfen in kompakter Bauweise mit hoher Temperaturgleichmäßigkeit möglich sind und somit auch erheblich geringere Energiekosten anfallen (**Bild 1**).

Die Intensität der Wärmestrahlung erfolgt in vierter Potenz der absoluten Temperatur. Damit ergibt sich eine akzeptable Intensität dieser Art der Wärmeübertragung erst bei höheren Temperaturen. Der Wärmeübertragungswert steigt erst ab ca. 600 °C auf Werte, welche das Wärmgut wirtschaftlich schnell genug erwärmt.

Mit Bezug auf die vorliegenden Randbedingungen – die für die Ofenauslegung wesentlichen Behandlungstemperaturen liegen bei Temperaturen bis zu 600 °C und das niedrige Aufnahmevermögen an Wärmestrahlung von  $\epsilon = 0,05$  bis  $0,4$  – bietet die Erwärmung mittels Jet-Heating eine minimale Ofenlänge, wie auch höchste Temperaturgleichmäßigkeit.

Bei konventionellen und vor allem großen Umwälzöfen nimmt die Temperatur der das Bauteil umströmenden Heißluft oder Gas während des Überströmens



**Bild 2:** „Jet-Heating“ Kammer-Ofenanlage für Aluminiumbauteile

**Fig. 2:** „Jet-heating“ chamber-furnace installation for aluminium components

kontinuierlich ab. Beim Erwärmen mittels Prallströmung („Jet-Heating“) werden alle Teile einer Charge immer mit gleicher Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit beaufschlagt.

Die Geometrie und Anordnung der Düsenfelder wird durch Form und Größe des Bauteils bestimmt – auch beidseitig der Transportebene können Düsenfel-

der entsprechend angeordnet werden, um ein durchlaufendes Wärmegut beidseitig und damit effektiver mit Heißluft oder -gas zu beaufschlagen. Die einer Temperaturregelzone bzw. einzelner Düsenfelder zugeführte Energie geschieht beispielsweise durch Hochgeschwindigkeitsbrenner (geg. mit integriertem Rekuperator) oder elektrischer Beheizung.



**Bild 3:** Düsenfeld für Prallströmung

**Fig. 3:** Nozzle array for impingement flow

Die gleichmäßige Verteilung der zugeführten Heißgase (durch Brenner) im Umwälzstrom erfolgt durch ein spezielles Verteil- und Mischsystem (**Bild 2**).

Neben der hohen Erwärmungseffizienz zeichnet sich das Erwärmungsprinzip durch Prallströmung durch eine äußerst hohe Temperaturgleichmäßigkeit am Bauteil von nur  $\pm 1$  K aus. Diese Genauigkeit erreichen „klassische“ Umwälzöfen in der Regel nicht oder erst nach langen Ausgleichzeiten.

Das Prinzip der „Prallströmung“ kann in der Regel in allen Ofenanlagen (Kammeröfen, Rollenherdöfen, Förderbandöfen, Drehherdöfen, etc.) eingesetzt werden. In **Bild 3** ist das Düsenfeld einer Ofenanlage dargestellt. Die Düsenfelder sind jeweils mit Umwälzaggregat und eigenen Gasbrennern ausgestattet.

Bei dieser Anordnung blasen alle Gasbrenner in spezielle Misch- bzw. Düsenrohre, um die zugeführten Heizgase mit dem Umwälzstrom zu vermischen. Die Anordnung der Brenner bzw. der Düsenrohre saugseitig zu den Ventilatoren ergeben eine sehr gute Vermischung und vermeidet somit das Entstehen von heißen Strahlen und damit örtlichen Übertemperaturen am Wärmegut. Der Einsatz von Brennern und damit das Einblasen von extrem heißen Gasen ins Umwälzsystem haben damit auch keinen negativen Einfluss auf die Genauigkeit der Temperaturführung.

Neben dem sehr gleichmäßigen und schnellen Erwärmen (verzugsreduzierend) durch Prallströmung ist analog natürlich auch ein sehr gleichmäßiges Abkühlen und sogar Abschrecken (Jet-Cooling) möglich.

Das System „Jet-Heating“ arbeitet, wie auch die konventionellen Umwälzöfen, ohne Übertemperatur; alle Erwärmungs- bzw. Behandlungsteile werden damit bei jedem Betriebszustand exakt mit der eingestellten Solltemperatur beaufschlagt. Unterbrechungen im Materialtransport, wie auch dauernde Veränderungen der Durchsatzleistung bzw. der Ofenbelegung haben keinen Einfluss auf die Erwärmungsgeschwindigkeit, die Gleichmäßigkeit der Erwärmung und das Temperaturniveau des Wärmegutes.

Eine wichtige Eigenschaft von Jet-Heating ist die Möglichkeit, Teile mit unterschiedlichen Abmessungen im gleichen Ofen (und ohne Umrüstung) erwärmen zu können. Hierfür wurden Düsenysteme-

me entwickelt, mit denen eine effiziente und gleichmäßige Erwärmung verschiedenster Teilegeometrien erreicht werden. Mit Jet-Heating können auch Teile, welche in den Abmessungen sehr große Unterschiede aufweisen, im gleichen Ofen erwärmt werden. Für den richtigen Abstand der Düsen zum Wärmgut wurden Öfen mit heb- und senkbarem Düsensystem entwickelt. Der erfolgreiche Betrieb dieser Ofenanlagen erweitert den Einsatzbereich von Jet-Heating erheblich.

Für Erwärmungs- und Behandlungstemperaturen zwischen 200 °C und 800 °C werden Jet-Heating Öfen meist eingesetzt für das:

- Anwärmen von Rohlingen und vorgeschmiedeten Teilen aus Aluminium auf Schmiedetemperatur,
- Lösungsglügen und Warmauslagern beispielsweise von Gussteilen und geschmiedeten Fahrwerksteilen aus Aluminiumlegierungen,
- Homogenisieren und Lösungsglügen von Barren, Platinen und Stangen aus Aluminium,
- Glühen und Anlassen von Stahl-Bauteilen.

## Anwendungsfall Schmieden

Bei großen Ofendurchsätzen wurden Schmiedeteile bisher meist induktiv auf Temperatur erwärmt. Aufgrund der sehr hohen Leistungsdichte sind diese Öfen sehr kompakt. Nachteilig jedoch kann der verhältnismäßig hohe Investitionsbedarf ausfallen, d. h. für z. B. unterschiedliche Bolzendurchmesser sind mehrere Induktionsspulen erforderlich. Außerdem ist die induktive Erwärmung nicht für die Behandlung von vorgeschmiedeten Teilen geeignet (**Bild 4**).

Klassische Luftumwälzöfen mit konventioneller Überströmung eignen sich für große Durchsatzleistungen nur bedingt: Sie weisen bezüglich Temperaturgenauigkeit, Reproduzierbarkeit des Temperaturprofils und der Möglichkeit, mit Gas zu beheizen, Vorteile auf. Aufgrund der vergleichsweise geringen Leistungsdichte und der daraus resultierenden großen Ofenabmessungen sind sie oft keine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zur induktiven Erwärmung.

Anders die Jet-Heating Öfen: Sie vereinen die Vorteile der hohen Leistungsdichte der induktiven Erwärmung mit denen der gleichmäßigen, reprodu-

**Bild 4:** Prallströmung für komplex geformte Schmiedeteile

**Fig. 4:** Impingement flow for geometrically complex forgings

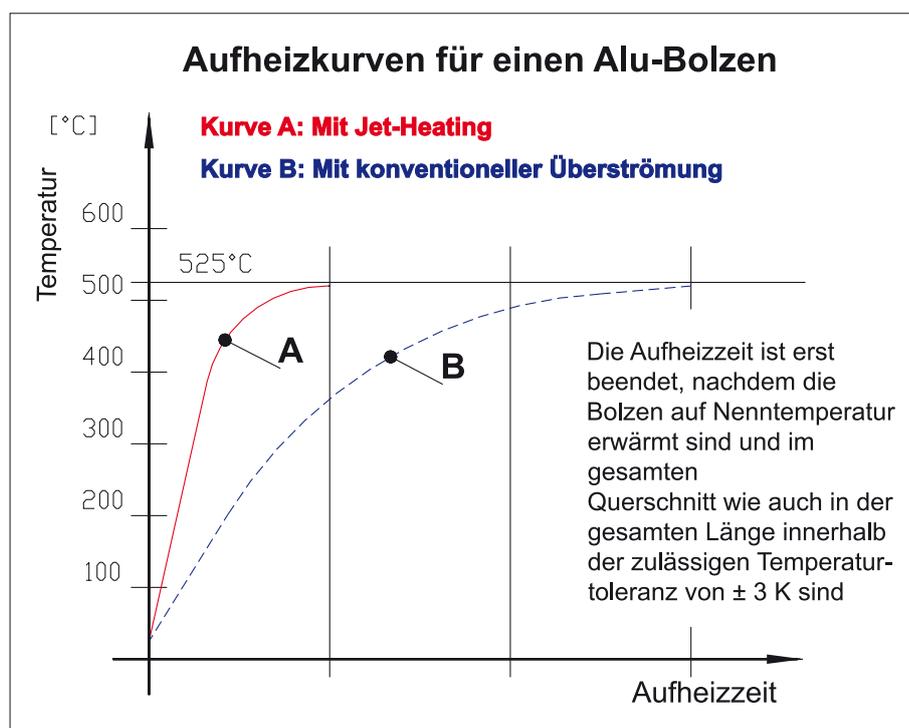


zierbaren und kostengünstigen Erwärmung bei der konvektiven Wärmeübertragung. Darüber hinaus bieten sie die Möglichkeit, Teile mit unterschiedlichen Geometrien im gleichen Ofen zu erwärmen, ohne ihn umzurüsten oder Zusatzeinrichtungen vorsehen zu müssen. Das **Bild 5** zeigt die Aufheizkurven eines mit Jet-Heating und eines mit Überströmung erwärmten Alu-Bolzens vor dem Schmiedeprozess.

Wie bereits aufgeführt, hat die Erwärmung durch Jet-Heating zusätzlich zur wesentlich schnelleren Erwärmung den Vorteil der gleichmäßigeren Er-

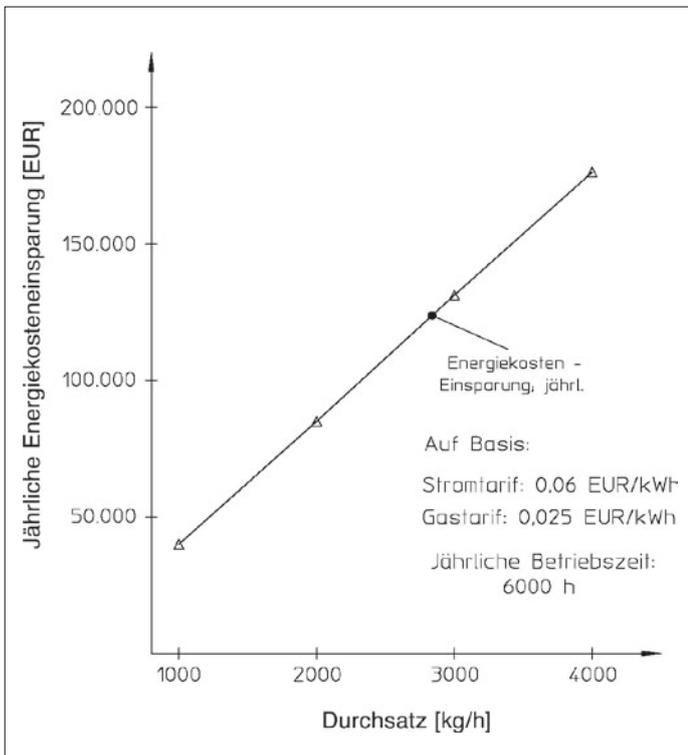
wärmung. Bei großräumigen Umwälzöfen nimmt die Temperatur der Heißluft während des Überströmens über das Wärmgut ständig ab; beim Erwärmen mittels Jet-Heating werden alle Teile einer Charge immer mit gleicher Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit beaufschlagt. Eine Begrenzung der Nutzraumabmessungen, um in vorgegebenen engen Temperaturtoleranzen zu bleiben sowie ein Reversieren des Umwälzstromes, ist bei Jet-Heating somit nicht erforderlich.

Ein wesentlicher Vorteil von „Jet-Heating“ sind die deutlich niedrigeren Ener-



**Bild 5:** Vergleich Aufheizkurven Jet-Heating vs. konventionelle Erwärmung

**Fig. 5:** Heating-up curves for jet and conventional heating



**Bild 6:** Jährliche Energiekosteneinsparung bei Jet-Heating im Vergleich zur induktiven Erwärmung

**Fig. 6:** Annual energy-cost savings with jet heating, compared to inductive heating

pro kWh. Aufgrund ihrer hohen Temperaturgenauigkeit eignen sich Ofenanlagen mit Prallströmung auch für die dem Schmiedeprozess von Aluminiumbauteilen nachfolgendem Lösungsglühen und Warmauslagern.

## Aufbau und Funktion von Ofenanlagen mit Jet-Heating

In **Bild 8** ist ein dreizoniger Jet-Heating-Durchlaufofen im Längsschnitt dargestellt. Bei diesem Ofenkonzept werden mittels Kettentransport durchlaufende Schmiedeteile von oben durch Prallströmung beaufschlagt. Hierfür sind oberhalb der Transportebene und flächendeckend die „Düsenfelder“ angeordnet. Die Unterteilung der Ofennutzlänge in mehrere Düsenfelder bzw. Temperaturregelzonen ermöglicht den Anschlusswert und die Strömungsintensität auf den über die Ofenlänge sehr unterschiedlichen Leistungsbedarf anzupassen. Jedes der hier dargestellten Düsenfelder wird durch jeweils ein Hochleistungs-Umwälzaggregat mit Heißluft versorgt.

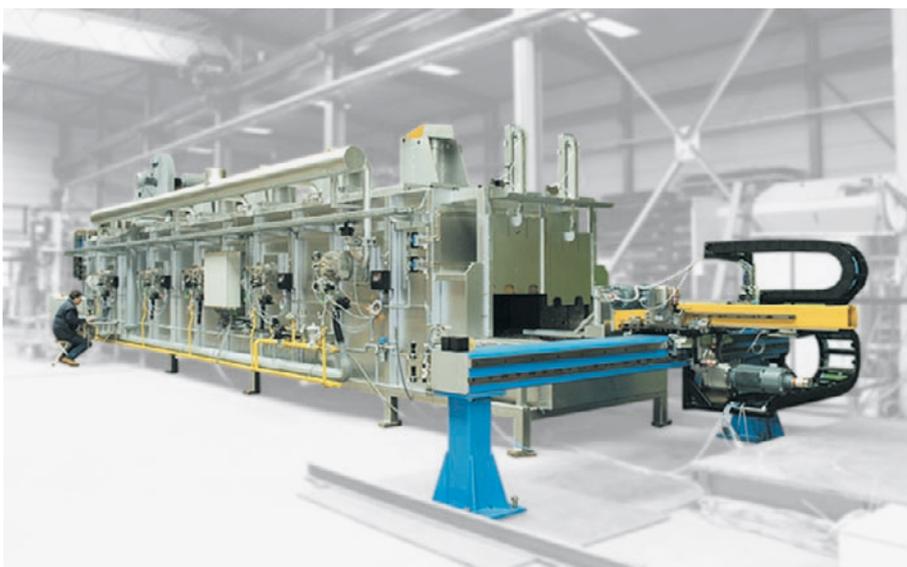
Bei dieser Luftbeaufschlagung von oben können die Umwälzaggregate platzsparend in der Ofendecke angeordnet werden. Wie bereits erwähnt, wird die Geometrie und die Anordnung der Düsenfelder durch die Form und Größe des Wärmegutes bestimmt; zum Beispiel können auch beidseitig der Transportebene Düsen angeordnet werden, um das durchlaufende Wärmgut beidseitig (und damit noch effektiver) mit Heißluft zu beaufschlagen.

Die für jede Temperaturregelzone bzw. für jedes Düsenfeld autarke Energiezuführung besteht aus Hochgeschwindigkeitsbrennern (zum Teil mit integriertem Rekuperator), Gas-Luftregelstrecken, dem gemeinsamen Verbrennungsluftgebläse sowie den erforderlichen Rohrleitungen für Gas und Luft. Sehr wesentlich ist die gleichmäßige Verteilung der zugeführten Heißgase im Umwälzstrom. Um eventuell auftretende Heißgasstrahlen im Umwälzstrom mit Sicherheit zu vermeiden, beinhaltet jedes Düsenfeld mit Umwälzaggregat ein eigens hierfür entwickeltes Verteil- und Mischsystem.

Die zu erwärmenden Bolzen, Schmiederohlinge, Gussteile usw. werden mittels Rollen-, Ketten- oder Bandtransport durch die Ofenanlage gefördert. Um einen automatischen Transport in einer verketteten Produktionslinie realisieren

giekosten im Schmiedebereich. Während induktive Erwärmungsanlagen mit kostenintensivem Strom und vergleichsweise kleinem Wirkungsgrad arbeiten, können Jet-Heating-Ofenanlagen mit Erdgas betrieben werden. Die jährliche Energiekosteneinsparung beim Betrieb von Jet-Heating-Öfen, im Vergleich zu indukti-

ver Erwärmung, ist in **Bild 6** dargestellt. Die extrem hohen Einsparungen bei hohen Durchsatzleistungen sind ein überzeugendes Argument für den Einsatz von Jet-Heating. Basis dieser Kostenanalyse sind eine jährliche Betriebszeit von 6.000 h, ein Gastarif von € 0,025 pro kWh und ein Stromtarif von € 0,06

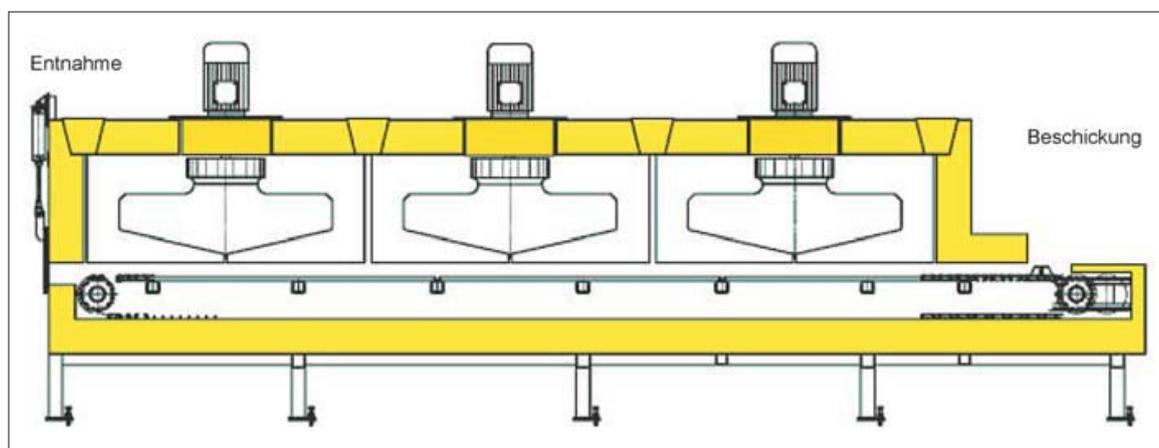


**Bild 7:** Ketten-Durchlaufofen mit „Jet-Heating“ für Guss- und Schmiedeteile aus Aluminium mit zweiachsigem Zuführportal

**Fig. 7:** Chain-conveyor furnace for aluminium castings and forgings, with dual axis feed portal and „Jet-heating“

**Bild 8:** Dreizoniger Jet-Heating-Durchlaufofen im Längsschnitt

**Fig. 8:** Longitudinal section through a three-zone Jet-heating straight-flow furnace



zu können, muss das Transportsystem folgende Eigenschaften aufweisen:

- Die Teile müssen durch den Roboter oder das Handlingsgerät positionsgenau aufgegeben werden können. Während des Transportes durch den Ofen müssen die Teile exakt auf diesen Positionen verbleiben bzw. es darf sich keine Relativbewegung zwischen Teilen und Transportkette/-band ergeben.
- Für die Entnahme der Teile aus dem Ofen mittels Roboter oder Handlingsgerät muss das Transportsystem sehr exakt positioniert werden können. Die Entnahmestelle am Ofenende muss bezüglich Temperaturniveau und Temperaturgleichmäßigkeit die gleichen hohen Qualitäten aufweisen, wie der Erwärmungsbereich selbst.

Für die verschiedensten Geometrien und Größen wurden entsprechend ausgeführte Transportsysteme realisiert und erfolgreich in Betrieb gesetzt.

## Anwendungsbeispiele

### Rollenherd-Durchlauf-Ofenanlage mit Jet-Heating

**Bild 9** zeigt eine Rollenherd-Durchlauf-Ofenanlage für das Anlassen von pressgehärteten Bauteilen. Bei diesen Bauteilen handelt es sich um Karosserieteile aus höchstfesten Stählen.

Die hier vorliegenden speziellen Anforderungen haben zur Ausarbeitung dieses Ofenkonzepts geführt; diese sind im Wesentlichen:

- Die in der verketteten Produktionslinie gefahrenen kurzen Taktzeiten von 18 s für ein Teilpaar machen ein Zwi-

schlenlagern quasi unmöglich und ein Zusammenfassen zu Chargen sehr aufwändig. Vorteilhafter ist die Beibehaltung eines kontinuierlichen Materialflusses mittels einer – ebenfalls kontinuierlich arbeitenden – Durchlaufanlage.

- Die dünnwandigen und komplex geformten Bauteile sind sehr verzugsempfindlich und müssen damit sehr gleichmäßig erwärmt werden. Auch bei der erforderlichen großen Ofenbreite von ca. 3.000 mm (jeweils ein linkes und ein rechtes Bauteil müssen gemäß der Anforderung des Gesamttransfers in der Produktionslinie nebeneinander angeordnet werden) wird mittels Jet-Heating diese hohe Anforderung erreicht.

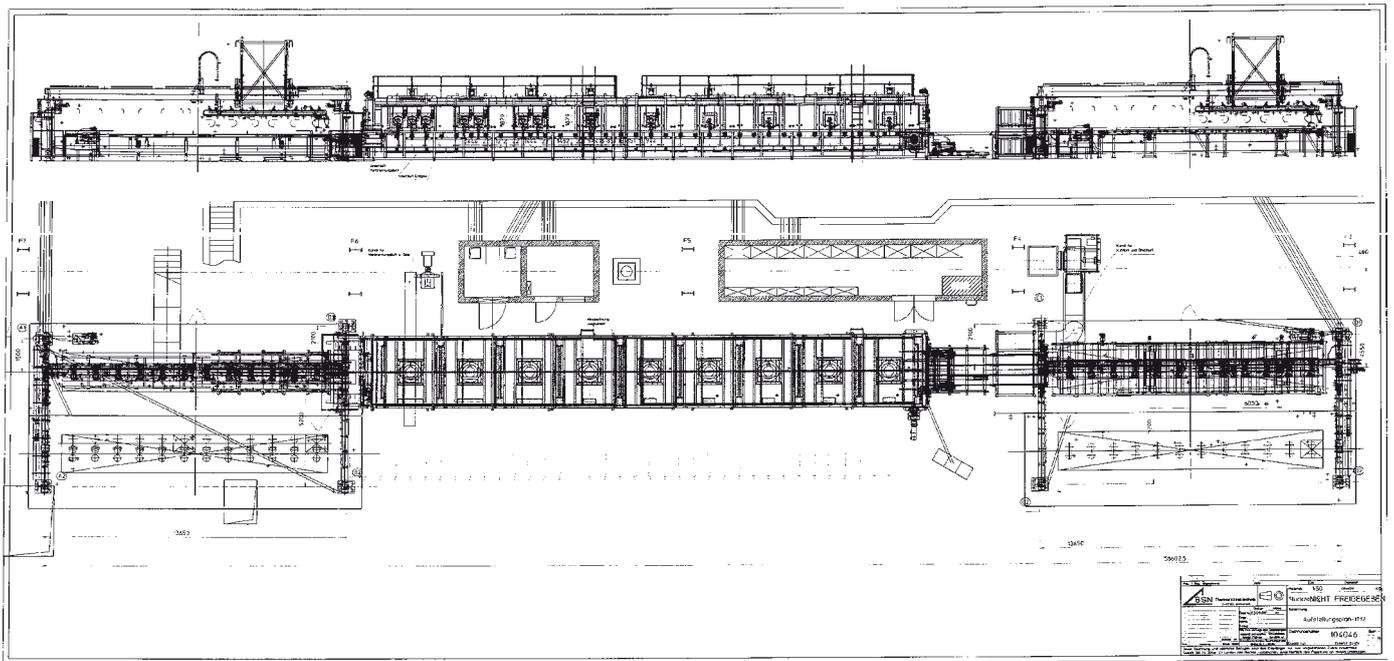
Der Transport der Bauteile erfolgt mittels Warenträger. Nachstehend sind die Eigenschaften und Ausführungsmerkmale dieses Ofenkonzeptes zusammengefasst aufgeführt:

- Schnelle Erwärmung durch Jet-Heating bis 550 °C
- Gleichmäßige und reproduzierbare Erwärmung aller Bauteile bei einer Nutzbreite bis 4.400 mm
- Einfache und schnelle Umrüstung der Warenträger
- Äußerst verzugsfreie und langlebige Warenträger
- Sehr exakte Positionierung für die vollautomatische Bauteilaufgabe und -entnahme
- Gleichmäßiges Abschrecken durch Jet-Cooling.



**Bild 9:** Rollenherd-Durchlaufofen mit Jet-Heating

**Fig. 9:** Continuous roller-hearth furnace incorporating Jet-heating



**Bild 10:** Layout einer Banddurchlaufofen mit Jet-Heating

**Fig. 10:** Layout of a belt kiln incorporating Jet-Heating

### Banddurchlauf-Ofenanlage mit Jet-Heating

In **Bild 10** ist eine komplette Banddurchlauf-Ofenanlage mit Kühlstrecke,

einschließlich Zuführ- und Entnahmepерipherie dargestellt. In dieser Ofenanlage werden Platinen und Tafeln mit Jet-Heating erwärmt und bei Temperaturen von 500 °C bis 750 °C ge-

glüht. Der Nenndurchsatz beträgt ca. 12,5 t/h.

Alle Zonen sind mit Gasbrennern ausgestattet. Entsprechend der Leistungsanforderungen sind in den ersten Zonen mehr Brenner angeordnet. Weiterhin ist der Einsatz von Brennern mit integriertem Rekuperator in den ersten fünf Zonen des Ofens wirtschaftlich. In der zweiten Ofenhälfte werden nur ca. 10 % der Gesamtwärmeleistung gefordert und damit kommen hier üblicherweise Kaltluftbrenner zur Anwendung.

Der Transport der Platinen und Tafeln mit Gewichten bis zu 2,5 t/Stück erfolgt über ein Lamellenband. Der Bandtransport gewährleistet – auch bei den durch die inneren Spannungen sich während der Erwärmung verziehenden Tafeln – äußerst gute und reproduzierbare Transportverhältnisse und somit hohe Betriebssicherheit.

Ergänzend kann festgehalten werden, dass sich die Erwärmung mit Jet-Heating für die Randbedingungen dieses Bedarfsfalles ideal eignen. Diese sind:

1. Ideale Geometrie des Wärmegutes
2. Sehr geringe Wärmeaufnahme-fähigkeit an Wärmestrahlung
3. Behandlungsniveau im Temperaturbereich, in dem die Wärmestrahlung eine noch geringe Intensität hat.



**Bild 11:** Drehherdofen mit Jet-Heating

**Fig. 11:** Rotary-hearth furnace incorporating Jet-heating

## Drehherdofen mit Jet-Heating

**Bild 11** zeigt einen Drehherdofen zum Erwärmen von Scheiben, Bolzen oder bereits vorgeformte Teile aus Aluminiumlegierungen auf Walz- oder Schmiedetemperatur. Der Nenndurchsatz beträgt 2.000 kg/h.

Die beim Erwärmen von Schmiedeteilen oft aus Platzgründen zwingend geforderte kompakte Ofenbauweise kann mit folgenden Ausführungsmerkmalen realisiert werden:

- Die Teile werden mit Jet-Heating erwärmt; hierfür sind beidseitig der Aufnahmeebene Düsen angeordnet. Diese beidseitige Beaufschlagung der Teile mittels Prallströmung ergibt maximale Erwärmungsgeschwindigkeiten.
- Der Ofen ist mit mehreren übereinander angeordneten Aufnahmeebenen ausgestattet. Die gleichmäßige Versorgung der Düsen in allen Aufnahmeebenen mit Heißluft wird durch speziell gestaltete Strömungskanäle gewährleistet.

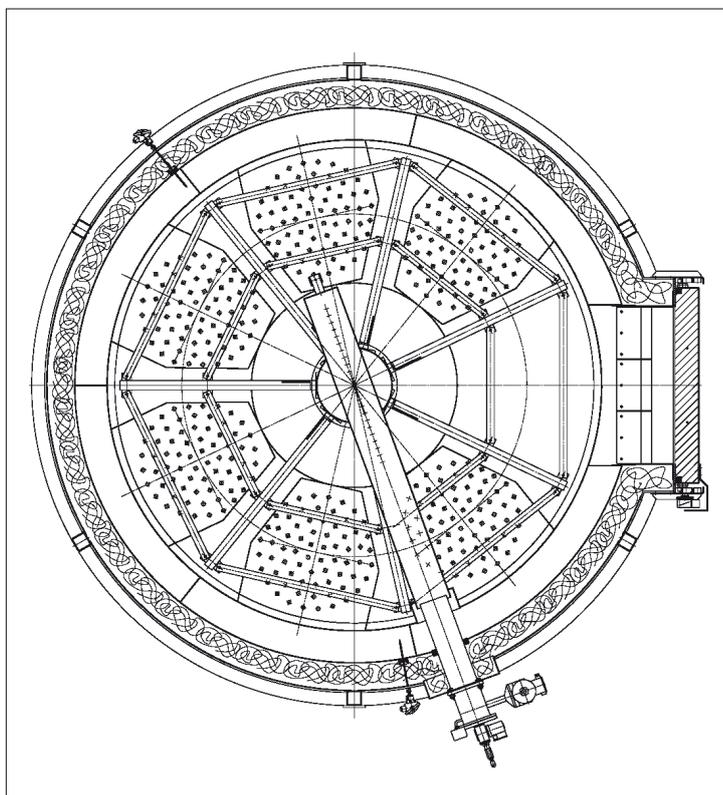
Neben der hohen Erwärmungseffizienz zeichnet sich dieses Erwärmungskonzept durch eine äußerst hohe Temperaturgleichmäßigkeit am Wärmegut aus. Schleppmessungen an einem Bauteil ergaben eine Toleranz von nur  $\pm 1$  K. Diese Genauigkeit können die bisher hierfür eingesetzten induktiven Erwärmungsanlagen nicht bieten. Diese Ofenanlage (mit einem Querschnitt gemäß **Bild 12**) ersetzt eine vorhandene induktiv arbeitende Erwärmungsanlage. Der Hauptgrund hierfür war die Möglichkeit mit diesem Ofenkonzept die jährlichen Energiekosten extrem zu reduzieren. Die Amortisationszeit beträgt maximal 1,5 Jahre.

Damit steht dieses Ofenkonzept beispielhaft für die Möglichkeit, Energiekosten einzusparen. Das kein Kühlwasser mehr benötigt wird und Umrüstungen für verschiedene Bauteile nicht erforderlich sind, sind weitere Vorteile. Andere Ausführungsmerkmale dieses Ofenkonzept sind:

- Arbeiten mit nur einer Temperatur-Regelzone. Das spezielle Strömungssystem in Zusammenarbeit mit der beidseitigen Düsenbeaufschlagung ermöglicht diesen kostengünstigen Aufbau. Trotz der Bestückung des Ofens mit nur einem Brenner und einem Hochleistungs-Umwälzaggregat werden die geforderten Erwärmungsgeschwindigkeiten und eine sehr hohe Temperaturgleichmäßigkeit, auch während der Produktionsphase, erreicht.

**Bild 12:** Querschnitt eines Drehherdofens

**Fig. 12:** Cross-section through a rotary-hearth furnace



Als Ofenkonzept kommt hier der Drehherdofen zur Anwendung, da an dem gleichen Ort mittels Roboter beschickt und entnommen werden kann. Damit ergibt sich insgesamt die platzsparendste Bau- und Arbeitsweise.

- Als Ofenkonzept kommt hier der Drehherdofen zur Anwendung, da an dem gleichen Ort mittels Roboter beschickt und entnommen werden kann. Damit ergibt sich insgesamt die platzsparendste Bau- und Arbeitsweise.

700 °C stellt ein enormes Potential dar, neben Gleichmäßigkeit der Ofenatmosphäre auch die Aufheizgeschwindigkeiten und damit die Prozesszeiten signifikant zu reduzieren. Der vorliegende Beitrag stellt die Grundlagen der Prallströmung und die Aspekte und Ausführungsmöglichkeiten im Industrieofenbau dar.

## Fazit

In den letzten Jahren ist das Thema der Energieeffizienz in der Wärmebehandlung von Bauteilen sehr intensiv behandelt worden. Der generelle Ansatz der Ressourcenschonung und des Umweltschutzes und das mit steigendem Energiepreis verbundene Streben nach Kostenreduzierung stehen dabei im Vordergrund.

Der Industrieofenbau hat vor allem in den Bereichen Ofenisolierung, Beheizungssysteme, Abwärmenutzung und vor allem auch der Verbesserung der thermodynamischen Wärme- und Stofftransporte ein großes Optimierungspotential. Gesteigerter Wärmeübergang durch Prallströmung (Jet-Heating) in Ofenanlagen bei Temperaturen bis etwa

**Dr. Olaf Irretier**  
Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW  
Kleve

Tel.: 02821 7153-948  
olaf.irretier@t-online.de



**Dipl.-Ing. Werner Schütt**  
BSN Thermprozesstechnik GmbH  
Simmerath

Tel.: 02473 9277-112  
werner.schuett@bsn-therm.de



# Induktives Schmelzen und Warmhalten

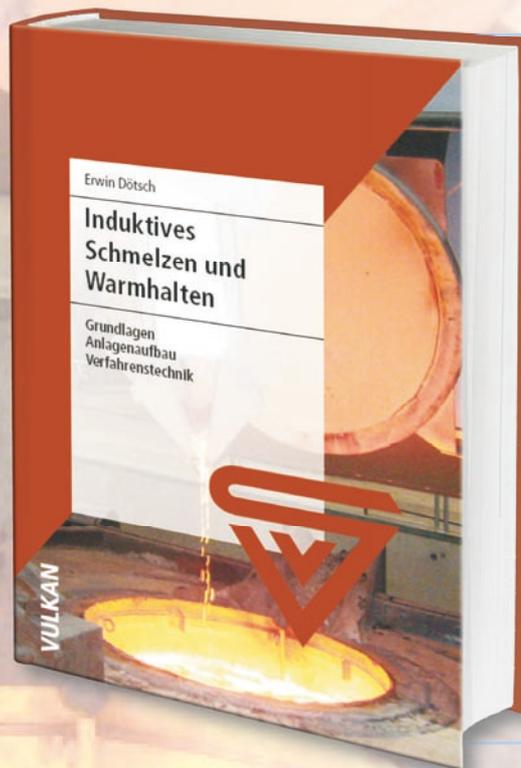
## Grundlagen – Anlagenbau – Verfahrenstechnik

Dieses kompakte Buch behandelt die Verfahrenstechnik des Schmelzens, Warmhaltens und Gießens von Metallen mit Induktionsanlagen. Dazu werden die Grundlagen der induktiven Energieübertragung und die industrielle Ausführung von Induktionsöfen soweit beschrieben, wie es für das Verständnis der Produktionsprozesse notwendig ist. Farbige Abbildungen verdeutlichen anschaulich die Thematik. Ebenso gibt es ein Kapitel über die Schmelztechnologie der Metalle und ihrer Legierungen. Auf dieser Grundlage werden die Auslegung und der Betrieb der Induktionsanlagen für den Einsatz in Eisen- und Stahlgießereien, Stahlwerken sowie NE-Metallgießereien und -halbzeugwerken dargestellt. Schwerpunkt ist dabei die metallurgische Verfahrenstechnik.

### Inhalt:

Einleitung; Grundlagen; Induktive Energieübertragung; Bauformen von Induktionsöfen; Induktions-Tiegelöfen; Elektromagnetische Rührer und Pumpen; Ofenauslegung für das Schmelzen im Tiegelofen; Schmelzmetallurgie von Eisen- und Nichteisen-Werkstoffen; Betrieb von Induktionsanlagen in Eisengießereien; Schmelzen im Induktionstiegelofen; Duplizieren, Warmhalten und Speicherschmelzen im Tiegelofen; Warmhalten im Rinnenofen; Gießen mit druckbetätigten Gießöfen; Kontinuierliche Flüssigisenversorgung; Kontinuierliche Flüssigisenversorgung; Schmelzen von Stahlguss im Induktionstiegelofen; Induktionstiegelöfen im Ministahlwerk; Induktionsanlagen in der Aluminium-Industrie; Induktionsanlagen für Kupferwerkstoffe; Induktionsanlagen für Zink etc.

Herausgegeben von Erwin Dötsch  
2009, 260 Seiten, DIN A 5, gebunden,  
4-Farb-Druck, € 60,00  
ISBN 978-3-8027-2379-7



  
Vulkan-Verlag  
www.vulkan-verlag.de

Induktives Schmelzen und Warmhalten erscheint in der Vulkan-Verlag GmbH, Huysenallee 52-56, 45128 Essen

**Vorteilsanforderung per Fax: +49 (0) 201 / 820 02 - 34 oder im Fensterumschlag einsenden**

Ja, ich bestelle  gegen Rechnung  3 Wochen zur Ansicht

\_\_\_ Ex. Induktives Schmelzen und Warmhalten  
1. Auflage 2009 für € 60,00 zzgl. Versand

Die bequeme und sichere Bezahlung per Bankabbuchung wird mit einer Gutschrift von € 3,- auf die erste Rechnung belohnt.

### Antwort

**Vulkan-Verlag GmbH  
Versandbuchhandlung  
Postfach 10 39 62  
45039 Essen**

**Garantie:** Dieser Auftrag kann innerhalb von 14 Tagen bei der Vulkan-Verlag GmbH, Versandbuchhandlung, Postfach 10 39 62, 45039 Essen schriftlich widerrufen werden. Die rechtzeitige Absendung der Mitteilung genügt. Für die Auftragsabwicklung und zur Pflege der laufenden Kommunikation werden Ihre persönlichen Daten erfasst und gespeichert. Mit dieser Anforderung erkläre ich mich damit einverstanden, dass ich per Post, Telefon, Telefax oder E-Mail über interessante Verlagsangebote informiert werde. Diese Erklärung kann ich jederzeit widerrufen.

Firma/Institution

Vorname/Name des Empfängers

Straße/Postfach, Nr.

Land, PLZ, Ort

Telefon

Telefax

E-Mail

Branche/Wirtschaftszweig

Bevorzugte Zahlungsweise

Bankabbuchung

Rechnung

Bank, Ort

Bankleitzahl

Kontonummer

Datum, Unterschrift

ISWDZs0909