

Institut für Industriefenbau und Wärmetechnik (IOB) der RWTH Aachen University

RWTH Aachen University
Institut für Industriefenbau und Wärmetechnik (IOB)
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Herbert Pfeifer

Kopernikusstraße 10
52074 Aachen

Tel.: +49 241 80-25936
Fax.: +49 241 80-22289

www.iob.rwth-aachen.de
contact@iob.rwth-aachen.de

Das Institut für Industriefenbau und Wärmetechnik (IOB) unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Herbert Pfeifer ist ein international bekanntes Forschungsinstitut mit der Aufgabe der Prozess- und Anlagenoptimierung auf den Gebieten der Herstellung, Verarbeitung und des Recyclings von Eisen und Stahl, NE-Metallen, Glas und Keramik.

1 Struktur

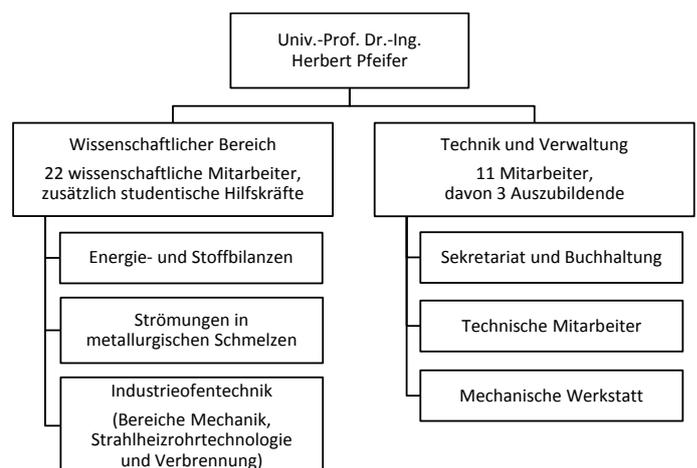
Das IOB ist ein Institut der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) in Aachen. Es gehört zur [Fachgruppe für Materialwissenschaft und Werkstofftechnik](#) der [Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik](#).



Bild 1: Außenansicht des IOB

Das Institut befindet sich auf der Hörn in Aachen. Seit 2010 ist es in einem Neubau (siehe Bild 1) in der Kopernikusstraße 10 in Aachen beheimatet. Neben einer Büroetage inkl. Seminar- und Besprechungsraum stehen zwei Technikumshallen und eine mechanische Werkstatt zur Verfügung.

Zurzeit (Stand November 2016) sind neben der Professur 21 wissenschaftliche und 11 Stellen in Technik und Verwaltung besetzt. Geforscht wird in 3 Arbeitsgruppen. Die Struktur des IOB zeigt die folgende Grafik:



2 Lehre, Kurse, Mitgliedschaften

Prof. Dr.-Ing. Herbert Pfeifer ist nicht nur Leiter des Instituts für Industriefenbau und Wärmetechnik, sondern auch Inhaber des Lehrstuhls für Hochtemperaturtechnik. So werden Vorlesungen, Übungen und Praktika für folgende Studiengänge angeboten:

- Werkstoffingenieurwesen (B. Sc., M. Sc.)
- Wirtschaftsingenieurwesen mit der Fachrichtung Werkstoff- und Prozesstechnik (B. Sc., M. Sc.)
- Metallurgical Engineering (M. Sc.)
- Rohstoffingenieurwesen (B. Sc., M. Sc.)
- Umweltingenieurwesen (B. Sc.)

Zu den Lehrveranstaltungen zählen u.a.:

- Transportphänomene I und II,
- Angewandte Wärmetechnik,
- Simulationstechnik,
- Industriefennteknik,

- Berechnung und Auslegung von Industrieöfen,
- Lichtbogenofentechnik,
- sowie das Seminar über ausgewählte Kapitel der Hochtemperaturtechnik.

Die Studierenden lernen in den vom IOB gehaltenen Basisvorlesungen die Grundlagen der Wärmeübertragung und Strömungsmechanik sowie die mathematischen und informatischen Hintergründe von Prozesssimulationen. In den vertiefenden Veranstaltungen werden die Studierenden in den Arbeitsbereich der Industrieofentechnik eingeführt. Hierzu lernen sie nicht nur die Theorie der Industrieöfen kennen, sondern bekommen auch das Handwerkszeug zu deren Auslegung und Berechnung – z.B. CFD und FEM-Methoden – beigebracht.

Prof. Dr.-Ing. Herbert Pfeifer ist nicht nur als Lehrstuhlinhaber sondern auch als Vorsitzender des Prüfungsausschusses *Wirtschaftsingenieurwesen mit der Fachrichtung Werkstoff- und Prozesstechnik* aktiv. Neben der Koordination dieses Studiengangs wird am IOB die entsprechende Fachstudienberatung organisiert. Eine individuelle und persönliche Betreuung der Studierenden ist uns hierbei besonders wichtig.

Das IOB ist Mitglied in der Forschungsgemeinschaft Industrieofenbau e.V. (FOGI). Die Mitglieder stammen aus Industrie und Wissenschaft und sind tätig in den Bereichen Erwärmen, Schmelzen und Gießen von Metallen, Wärme- und Oberflächenbehandlung von Metallen, Keramik und Glas sowie für Feuerungstechnik. Gemeinschaftliche Forschung im vorwettbewerblichen Bereich gleicht wettbewerbs- oder strukturbedingte Nachteile von mittelständischen Unternehmen gegenüber der Großindustrie aus und sichert die Wettbewerbsfähigkeit. Zur Umsetzung der Forschungsergebnisse in den Mitgliedsfirmen wird jährlich ein zweitägiges Seminar abgehalten, das für die Mitarbeiter der Mitgliedsfirmen den Stand der Forschung zu einer bestimmten Thematik darstellt und den Praktikern die Nutzung der Forschungsergebnisse erleichtert. 2013 fand am IOB das FOGI-Seminar „Grundlagen der Wärmeübertragung und Energietechnik von Industrieöfen“ statt.

Die [Stahl-Akademie](#) ist die Weiterbildungsabteilung des [Stahlinstituts VDEh](#) und Anbieter von Seminaren zu Metallurgie und Werkstofftechnik von Stahl, die u.a. von Mitarbeitern aus Eisenhütten- und Stahlwerken sowie aus der Zulieferer- und Anwenderindustrie besucht werden. Prof. Dr.-Ing. Herbert Pfeifer hat die fachliche Lei-

tung im Seminar „Industrieofentechnik“ und ist am Seminar „Elektrotechnik des Lichtbogenofens“ beteiligt.

3 Forschung

3.1 Energie- und Stoffbilanzen

Die Bezeichnung der Arbeitsgruppe deutet bereits darauf hin: Die Erstellung von Energie- und Stoffbilanzen ist wichtige Grundlage ihrer Forschungsarbeiten. Die Bilanzen werden insbesondere für den Elektrostahlprozess, aber auch für andere energieintensive Hochtemperaturprozesse zur Anlagen- und Prozessoptimierung, berechnet.

Grundlage der Berechnung der Energie- und Stoffbilanzen sind valide gemessene Ofendaten auf denen dann die Modellierung und Simulation des Prozesses mittels Computational Fluid Dynamics (CFD) oder anderer analytischer Methoden aufbauen. Auf die langjährigen Erfahrungen in Installation und Betrieb von Abgasanalyse-systemen an industriellen Hochtemperaturaggregaten, wie zum Beispiel dem Lichtbogenofen (LBO), und in Modellierung und Simulation, kann hier zurückgegriffen werden. Als Beispiele seien hier die Strömungsmodellierung der Gasphase und des Lichtbogens im LBO mittels CFD (siehe Bild 2), die Modellierung des Entstaubungssystems eines Lichtbogenofens in Matlab, welche aktuell weiterentwickelt wird und deren Verbindung mit einem vollständigen energie- und massenbilanzierenden Model eines LBO.

Neben der Prozesstechnik interessiert vermehrt der Aspekt der umwelttechnischen Messungen und die der Energieeffizienz. Die Durchführung von Abgasmessungen in industriellen Entstaubungsanlagen dient der Ermittlung umweltrelevanter (Stäube, Dioxine, NO_x, CO₂ etc.) und effizienzrelevanter (wie CO, O₂) Stoffströme. Nicht nur die Ermittlung eines Ist-Zustandes sondern auch die Grundlagen zur Entstehung sowie Prozessstrategien zur Verminderung bzw. Vermeidung umweltrelevanter Emissionen und zur Steigerung der Effizienz werden entwickelt.

In Zeiten der Nachhaltigkeit ist die Steigerung die Ressourceneffizienz eines Prozess ein ständiges Forschungsthe-



Bild 2: Temperaturströmung, die durch den Spalt zwischen Deckel und Ofengefäß verursacht wird

ma. Dazu gehört neben der Einsparung von Einsatzstoffen auch deren äquivalenter Ersatz durch bspw. Alternativprodukte oder besser noch wiederverwendbare Abfallstoffe. So stellt die Forschung zur Substitution von fossilen Kohlenstoffträgern durch Biomasse im LBO einen weiteren wichtigen Arbeitsbereich dar. Da fossile Kohle ein endliches Produkt und durch CO₂-Zertifikate verteuert ist, gilt es Alternativen zu finden. Sowohl im Technikumsmaßstab als auch industriell wurden und werden Versuche von uns durchgeführt. Im erfolgreichen EU-Projekt GREENEAF „Sustainable EAF steel production“ ([Report EUR26208EN](#)) wurde die Machbarkeit der Substitution bewiesen. Im aktuell laufenden Nachfolgeprojekt GREENEAF2 wird u.a. neben einer Marktanalyse die bessere Handhabbarkeit der Biomasse erforscht.

Nicht nur Biomasse, auch Schlacken- und andere Abfallprodukte sind mögliche Zusatzstoffe im LBO. Dazu wurde das Recycling von zerfallenen Gießpfannenschlacken als Substitut für Kalk untersucht. Dabei soll der abgesiebte Feinanteil der Pfannenschlacke als Bestandteil von bindemittelgebundenen Reststoffsteinen wieder eingesetzt werden. Weitere Komponenten dieser Agglomeratsteine können Biokohle und feiner Eisenschrott zur Magnetisierung und damit zum besseren Handling der Agglomeratsteine sein. Die Untersuchungen fanden im Rahmen des BMWi ZIM-finanzierten Projektes RECYCEOS statt.

3.2 Strömungen in metallurgischen Schmelzen

Die Kenntnis der Strömung bei Raffination und Gießen von Stahl, Kupfer und Aluminium aus metallurgischen Reaktoren (Konverter, Pfanne, Stranggießverteiler und Kokille) ist entscheidend für die Optimierung der Qualität des Halbzeugs und des Fertigprodukts. Die Möglichkeiten von Strömungsmessungen in metallurgischen Schmelzen sind aufgrund der hohen Temperaturen sehr eingeschränkt, daher werden die strömungs- und wärmetechnischen Vorgänge anhand von physikalischen und numerischen Modellen untersucht.

Wassermodelle metallurgischer Reaktoren

Die kinematischen Viskositäten von Metallschmelzen und Wasser und damit deren Fließeigenschaften sind nahezu gleich. So ist eine Untersuchung der Schmelzen in Wassermodellen möglich. Am IOB sind unterschiedlichste Wassermodell-Versuchsstände von AOD-Konvertern, Pfannen, Verteilern, Kokillen und Bandgießanlagen für das endabmessungsnahe Gießen verfügbar (siehe Bild 3).



Foto: Martin Braun

Bild 3: Wassermodell einer Bandgießanlage

Zur Strömungsfeldmessung stehen verschiedene laser-optische Methoden zur Verfügung:

- Laser-Lichtschnitt-Technik (LLS) zur Strömungsvisualisierung
- Laser-Doppler-Anemometry (LDA) und Digital Particle Image Velocimetry (DPIV) zur 3D-Aufnahme von turbulenten Strömungsfeldern
- Planar Laser Induced Fluorescence (PLIF) zur Aufnahme von Temperatur- und Konzentrationsfeldern

Des Weiteren können Partikelverteilungen und Abscheidkurven mittels eines Coulter-Counter-Systems bestimmt werden. Die Aufnahme von Badspiegelbewegungen wird mit Ultraschallsensoren ermöglicht. Verweilzeitmesssysteme (RTD) werden zur Analyse von Mischungsvorgängen genutzt.

Numerische Modellierung

Parallel zu den Strömungsuntersuchungen in physikalischen Modellen erfolgen die numerischen Simulationen mittels CFD (siehe Bild 4). Zur Erhöhung der Genauigkeit der Rechnungen, werden die Simulationen zunächst für die Wasserströmung durchgeführt und die freien Parameter anhand der sehr genauen laser-optischen Messergebnisse validiert. Erst danach erfolgen die Simulationen für die mehrphasigen, nicht-isothermen Metallschmelzen. Insbesondere bei der Überlagerung von Effekten, z.B. magneto-hydrodynamischen und wärmetechnischen Phänomenen beim Elektroschlacke- und Vakuumlichtbogenumschmelzprozess (ESU und VAR), wird die CFD-Simulation erfolgreich angewendet.

Die Schwerpunkte der aktuellen Forschung sind:

- Nachhaltiges Aluminium-Recycling: Effizientes Einschmelzen (Mitgliedschaft im [AMAP](#), dem Open-

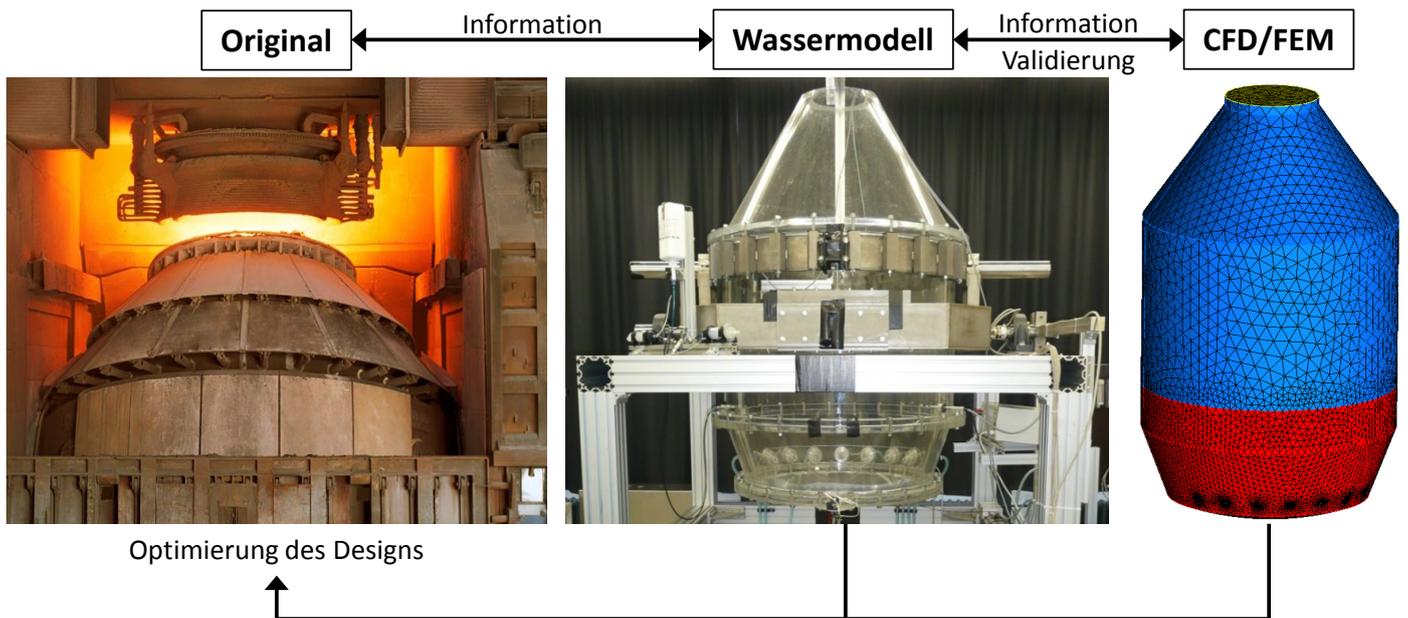


Bild 4: Untersuchung eines AOD-Konverters

Innovation-Forschungs-Cluster für Aluminium an der RWTH Aachen)

- Numerische Modellierung des Impuls-, Wärme- und Stofftransportes beim Vakuumlichtbogenumschmelzen
- Auswirkung einer Elektrodenrotation beim Elektroschlackeumschmelzprozess auf die Abtropfmechanismen und die Raffinationswirkung
- Experimentelle und numerische Untersuchungen der Mehrphasenströmung im Wassermodell einer Stahlgießpfanne als Grundlage zur Weiterentwicklung der Mehrphasenmodelle in der Strömungssimulation metallurgischer Reaktoren

3.3 Industrieofentechnik

Der Schwerpunkt dieser Arbeitsgruppe liegt bei den Erwärmungs- und Wärmebehandlungsöfen der metallzeugenden und verarbeitenden Industrie. Dabei stehen die Erhöhung der Lebensdauer der Ofenkomponenten, die Prozessstabilität, die Verbesserung der Produktqualität, Energie- und Ressourceneffizienz sowie die Verringerung von Schadstoffemissionen im Vordergrund. Dabei wird eine große Bandbreite an Ofentypen abgedeckt, z.B. kontinuierliche Bandbehandlungsanlagen und Kühlstrecken der Stahl- und Nichteisen-Metall-Industrie; Verzinkungs- und Verzinnungsanlagen; Tieföfen, Kammeröfen, Drehherdöfen, Stoßöfen und Hubbalkenöfen zur Anwärmung von Schmiede-, Walz- und Strangpressvorprodukten; Rollenherdöfen, Kammeröfen, Haubenöfen zur Wärmebehandlung von Umform- und Gussprodukten aus Stahl- und Nichteisen-Metallen

und zahlreiche Öfen für Spezialanwendungen wie gasbeheizte und induktive Bolzenerwärmungsanlagen und Schwebebandöfen.

Mechanik

Die Untergruppe Mechanik beschäftigt sich hauptsächlich mit der strukturmechanischen, strömungs- und wärmetechnischen Optimierung von Wärmebehandlungsöfen mit erzwungener Konvektion. Einerseits wird Umwälzung und Strömungsführung von Ofenraum-Atmosphären durch Hochtemperaturventilatoren, Leitsysteme, Diffusoren, Düsensysteme und Innengehäuse untersucht. Des Weiteren wird die Überwachung durch eine, speziell für den Einsatz in Hochtemperaturanlagen entwickelte, kontinuierliche Volumenstrommess-einrichtungen und Soft-Sensoren/Ofenmodelle vorangetrieben. Andererseits stehen die Auswirkungen erzwungener Konvektion auf das zu behandelnde Gut und die strömungsführenden Einrichtungen in Hochkonvektionsanlagen im Fokus. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der kontinuierlichen Bandbehandlung in Durchlaufglühöfen, Schwebebandöfen, Kühlstrecken (siehe Bild 5) und Verzinnungslinien.

Verbrennung

In dieser Unterarbeitsgruppe werden Verbrennungsvorgänge in Industrieöfen erforscht. Dazu werden numerische Simulationen sowie experimentelle Messtechniken eingesetzt. Diese beinhalten berührungslose Verfahren, wie z.B. die OH*-Visualisierung, sowie Temperaturmessung und die Messung der lokalen Gaszusammensetzung. Aufgrund von Zunderbildung kommt es bei Er-



Bild 5: Modell einer Kühlstrecke

wärmungsvorgängen zu signifikanten Materialverlusten. Ein Forschungsziel ist die zunderarme Erwärmung von Metallhalbzeugen (z.B. Kupfer) bei gleichzeitig geringer NO_x -Emission. Um den Wärmeübergang zu steigern wird an einem Verfahren zur Erwärmung mittels direkter Flammenbeaufschlagung des Einsatzgutes geforscht. Die flammlose Oxidation wird bereits in zahlreichen Industrieöfen eingesetzt. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist die Erweiterung der Einsatzgrenzen der flammlosen Oxidation für kleine Leistungen und Biogase.

Gasbeheizte Strahlheizrohre aus Stahl oder Keramik ermöglichen die indirekte Befuerung eines Ofens, um unerwünschte Reaktionen der Gutoberfläche mit dem Abgas zu vermeiden. Aufgrund ihrer breitbandigen Bedeutung in Öfen von Feuerverzinkungsanlagen, Schwebbandöfen zum Rekristallisationsglühen von Kupferbändern oder in Kammeröfen zur Wärmebehandlung von Aluminium beschäftigt sich das IOB mit der Optimierung von Strahlheizrohren. Dies geschieht sowohl durch experimentelle Untersuchungen am Prüfstand (siehe Bild 6) als auch mit Hilfe numerischer Simulationen der Thermofluidodynamik sowie Strukturmechanik. Ein Forschungsziel ist dabei die Erhöhung der Lebens-

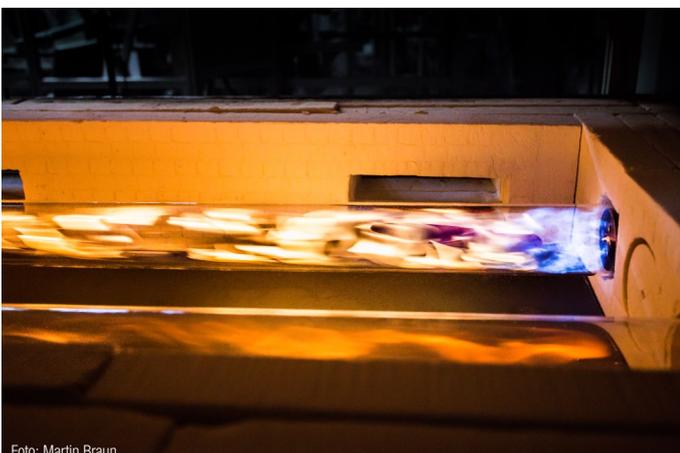


Bild 6: Verbrennung in einem Strahlheizrohr

dauer durch die Reduzierung von Thermospannungen, was vor allem durch eine homogene Oberflächentemperatur und eine optimierte Strömungsführung im Innern des Strahlheizrohres erreicht werden kann. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt in der Erweiterung der Einsatzgrenzen von Strahlheizrohren hin zu kleinen Durchmessern zur Reduzierung des Platzbedarfs entsprechend ausgerüsteter Anlagen.

4 Weitere Ausstattung und Dienstleistungen

Die bereits im Abschnitt über die Forschung am IOB beschriebenen Expertisen können selbstverständlich auch von Interessenten aus Industrie und Forschung in Anspruch genommen werden. Gleiches gilt für unsere weitere Ausstattung.

Abgasmessungen

Die Mitarbeiter am IOB haben bereits zahlreiche Abgasmessungen an industriellen Anlagen durchgeführt. Dabei werden je nach Bedarf folgende Abgaseigenschaften bestimmt:

- Gaszusammensetzung
- Schadstoffemissionen
- Volumenstrom
- Temperatur
- Staubbeladung
- Feuchte

Ist das Abgas für gewöhnliche Messungen zu heiß, so besitzen wir wassergekühlte Messlanzen für den Hochtemperaturbereich von Industrieöfen und Abgassystemen metallurgischer Anlagen.

Simulationen und Berechnungen

Für die Simulationen thermischer und strömungstechnischer Prozesse in Industrieöfen, Abgassystemen und weiteren industriellen Anlagen werden folgende Methoden verwendet:

- Computational Fluid Dynamics (CFD), z.B. mit der Software OpenFOAM
- Finite Element Methoden (FEM-Strukturmechanik)
- Berechnungen im Bereich der chemischen Thermodynamik und Reaktionskinetik, z.B. mit den Softwarepaketen FactSage und Cantera
- Berechnungen von magneto-hydrodynamischen Strömungen

Durch die Simulationen können wir Unterstützung bei der strömungstechnischen Auslegung von Thermoprozessanlagen und der Erstellung von Massen- und Energiebilanzen thermischer und metallurgischer Prozesse

und Anlagen zur Optimierung des Ressourcen- und Energieverbrauchs geben.

600 kW Pilot-Lichtbogenofen

Das IOB betreibt einen [Pilot-LBO](#) (siehe Bild 7) mit folgenden technischen Daten:

- Transformator-Nennleistung: 850 kVA
- Sekundärspannung: 250-850 V in 10 Schritten
- Lichtbogen-Stromstärke: max. 2 kA
- Leistung: max. 600 kW

Dieser LBO ist für den speziellen Gebrauch als Versuchsofen konzipiert. Er kann sowohl im Dreh- als auch im Gleichstrom-Modus betrieben werden. Des Weiteren operiert er luftdicht, damit die gegenseitige Beeinflussung von Gasatmosphäre und Einsatzstoffen untersuchbar ist. Alle Prozessdaten (Abgaseigenschaften, chemische Analyse von Metall und Schlacke, Temperaturen etc.) sind erfassbar, um vollständige Energie- und Stoffbilanzen aufstellen zu können.



Bild 7: 600 kW Pilot-LBO

Wärmebehandlungen

Dem IOB steht eine Reihe von Wärmebehandlungsöfen zur Verfügung, in denen Versuche zur Wärmebehandlung und Sinterung in einem großen Temperaturbereich (max. 1600 °C) und unter unterschiedlichsten Atmosphären durchgeführt werden können.

Als Beispiel sei die [Vakuum-Wärmebehandlungsanlage](#) (siehe Bild 8), die für eine ganze Reihe von Verfahren der Thermoprozesstechnik (wie Glühen, Härten, Lösungsglühen, Löten, Auslagern und Sintern) geeignet ist, genannt. Die Erwärmung kann dabei konvektiv, unter N₂/H₂-Partialdruck und/oder unter Fein- bzw. Hochvakuum durchgeführt werden. Die maximale Betriebstemperatur der Ofenanlage beträgt 1600 °C. Damit ist diese Anlage zum Beispiel zum Sintern von Hochtemperaturlegierungen geeignet. Im Anschluss an den Erwärm- und Halteprozessschritt besteht in dieser Wärmebehandlungsanlage auch die Möglichkeit zu einem Abschrecken der Charge mittels N₂ unter Druck von bis zu 10 bar.



Bild 8: Vakuum-Wärmebehandlungsanlage

Sollten Sie Fragen haben, dann helfen wir Ihnen gerne weiter!

RWTH Aachen University
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Herbert Pfeifer

Kopernikusstraße 10
52074 Aachen

Telefon: +49 241 80-25936
Fax: +49 241 80-22289

contact@iob.rwth-aachen.de
www.iob.rwth-aachen.de