



Effiziente Wärmeverfahren optimieren industrielle Produktionsprozesse

Abb. 1



- ▶ Neue Verfahren bieten Chancen, gleichzeitig Energiebedarf, Betriebsablauf und Produktqualität zu optimieren
- ▶ Forschung konzentriert sich auf komplette Prozessketten und Verknüpfung von Verfahren
- ▶ Bis zu 40% Energieeinsparung möglich
- ▶ Forschungsinstitute fördern firmen- und branchenübergreifenden Informationsaustausch

Eine Generatorwelle für ein Kraftwerk verlässt den Wärmofen einer Freiformschmiede.

Viele Industrieprodukte müssen bei der Herstellung erst mal durchs Feuer gehen. In der metallverarbeitenden Industrie, bei der Glas-, Keramik- und Baustoffherstellung sowie in Teilen der Lebensmittelbranche sind Wärmeprozesse die zentralen Produktionsschritte. Rund 65% des Endenergiebedarfs der Industrie entfallen hierauf. In Deutschland werden Industrieöfen überwiegend von Klein- und mittleren Unternehmen hergestellt und annähernd jeder zweite Ofen geht in den Export.

Neue, energieeffiziente Wärmeprozesse erfolgreich in die betriebliche Praxis einzuführen, ist gar nicht so einfach. Die Firmen erwarten von einem innovativen Verfahren nicht nur weniger Energiebedarf und –kosten, sondern auch eine Optimierung von Produktqualität, Produktionsabläufen und Ofendurchsatz sowie Flexibilität gegenüber Kundenwünschen und geänderten technischen Parametern. In der metallverarbeitenden Industrie beispielsweise hängen die Materialeigenschaften, besonders bei hochwertigen Produkten, u. a. von exakten Wärm-, Kühl- und Härteprozessen, einer genau definierten Ofenatmosphäre und einer gleichmäßigen Erwärmung des

gesamten Nutzguts ab. Heute resultieren Effizienzsteigerungen weniger aus verbesserten Einzelprozessen, die sich dem physikalisch Möglichen bereits durch frühere Innovationen immer weiter annähern haben, sondern aus der Optimierung ganzer Prozessketten, der Verknüpfung von Verfahren und der ganzheitlichen Optimierung etablierter Produktionsabläufe. Hierbei stehen u. a. immer leistungsfähigere Simulationswerkzeuge sowie eine modell- und regelgestützte Ofenführung im Mittelpunkt.

Jede neue Anlage bedeutet eine Chance, zukünftig den Energieverbrauch in der Industrie zu senken und die Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern. Viele mittelständige Ofenhersteller und -betreiber benötigen Unterstützung, um auf dem aktuellen Stand des Wissens zu bleiben und innovative Verfahren zu entwickeln und einzuführen. Im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungsprojekte werden nicht nur effizientere Verfahren erarbeitet, sondern auch der Informationsaustausch innerhalb und zwischen Branchen unterstützt.

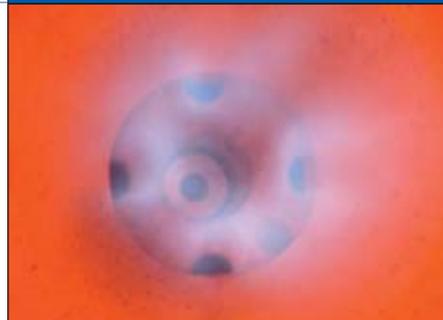
► Industrielle Wärmeprozesse

Bei der Herstellung vieler Produkte in der Stahlindustrie sind Wärmeprozesse für Qualität, Kosten, Energiebedarf und Umweltbelastung entscheidend. Oft werden Erwärmung, Warmumformung und Wärmebehandlung gekoppelt. Da bereits kleinste Schwankungen der Temperatur, der Brenngaszusammensetzung, der Ofenatmosphäre oder anderer Parameter zu großen Auswirkungen bei der Produktqualität führen können, müssen die Prozesse verstanden, optimiert und exakt gesteuert werden. Ziele sind, ein beschleunigter und gleichmäßiger konvektiver Wärmeeintrag ins komplette Nutzgut, optimierte Liege- und Beladungszeiten für die

Öfen und eine Verringerung unerwünschter physikalisch-chemischer Vorgänge, wie z. B. Zunder-, Randentkohlungs- und Spannungseffekte.

Für optimierte Wärmeprozesse im Hinblick auf alle Ziele bieten sich verschiedene Ansätze an: die Vermeidung von Wärmeverlusten und die Wärmerückgewinnung, die exakte Steuerung von Brenngaszusammensetzung, Sauerstoffgehalt und Ofenatmosphäre sowie die Verknüpfung von Einzelmaßnahmen in eine übergeordnete Prozessführung (z. B. modellgestützte Ofenführung). Auch immer leistungsfähigere Simulationsprogramme und neue Sensoren

Abb. 2: Brenner im Betrieb



tragen dazu bei, die sehr komplexen Vorgänge in einem Ofen besser nachzubilden und verstehen zu können.

► Neue Verfahren und Instrumente

Am Betriebsforschungsinstitut (BFI) in Düsseldorf werden seit Jahren effiziente Verfahren, Instrumente und Konzepte für die Metall- und die metallverarbeitende Industrie und deren Wärmeprozesse erforscht und entwickelt. Im Folgenden werden sechs aussichtsreiche Entwicklungen vorgestellt.

■ Brenner und Beheizungssysteme für multivalenten Einsatz

Für die Erwärmung hochwertiger Nutzgüter wurde ein neuartiger Flachflammenbrenner entwickelt, der auch für höchste Brennluftvorwärmung geeignet ist. Die derzeitige betriebliche Erprobung (Abb. 3) bestätigt einen sehr geringen Druckverlust von unter 30 mbar bei einer Brennluftvorwärmung von 1.000 °C. Der einfache Aufbau mit tangentialer Einströmung der Brennluft ermöglicht eine günstige Fertigung und geringen Verschleiß. Eine Produktivitätssteigerung wird durch das Permanent-Impuls-Verfahren (PI) erreicht, das mit eingedüsten Verbrennungsgasen arbeitet. An der Nutzgutoberfläche steigt durch hohen Brennerimpuls und hohe

Abb. 3: Flachflammenbrenner mit thermischem Regenerator



Strömungsgeschwindigkeit die konvektive Wärmeübertragung deutlich. Dadurch wird die Erwärmungsdauer des Nutzguts verkürzt und der Ofen kann in schnellerer Taktfolge belegt werden. Das PI-Verfahren wird derzeit an einem Glühofen zur Ring-erwärmung betrieblich erprobt.

■ Wärmerückgewinnung mit thermischen Regeneratoren

Auch für die regenerative Wärmerückgewinnung an Hochtemperatur-Industrieöfen wurden mehrere neu entwickelte Verfahren in Betrieben zum Einsatz gebracht. Die Systeme weisen einen sehr geringen Druckverlust auf und sind unempfindlich gegen Verschmutzungen.

Für die kontinuierliche Brennluftvorwärmung wurde das Drehregenerator-Brenner-System DREBS entwickelt. Ein Drehregenerator basiert auf einer drehenden Speicher-masse, die auf der einen Seite von heißem Abgas und auf der anderen Seite – im Gegenstrom – von kalter Brennluft durchströmt wird (vgl. BINE-Projektinfo 3/2004). An einem Walzwerksofen wurde damit eine Energieeinsparung um 30–40% gegenüber dem ursprünglichen Rekuperatorbetrieb erreicht. Bei mehreren Heizständen für die Erwärmung von Stahlwerkspfannen lag die Reduzierung bei ca. 40%. Auch die Temperaturgleichmäßigkeit hat sich verbessert. Die jüngste Neuentwicklung ist ein kompaktes Rohrregenerator-Brenner-System,

ROREBS (Abb. 4). Die frei einstellbaren Taktzeiten zwischen 10 s und 1 Min. der einzelnen ROREBS ermöglichen eine zeitlich und örtlich definierte Beheizung. Damit konnte an einem Schmelzofen der Brennstoffbedarf um ca. 30% gegenüber dem ursprünglichen Rekuperatorbetrieb gesenkt werden.

■ Atmosphärenregelung zur Sicherstellung der Produktqualität

An Verzinkungsanlagen werden Wärmöfen üblicherweise mit starkem Brenngasüberschuss betrieben, um Oberflächenoxidation zu vermeiden. Dieses führt zu unnötig hohen Energiekosten und CO₂-Emissionen. Im Rahmen eines Verbundvorhabens werden dazu Lösungen entwickelt. Module dieses Vorhabens sind: ein innovatives Ofenführungskonzept mit neuartigem Ausbrandmesssystem, ein neuer Unterstöchiometrie-Brenner und günstigere Gut-Transportrollen. Aktuell wurde bereits folgender Stand erreicht:

- Das Ausbrandmesssystem zur Ermittlung des unterstöchiometrischen Teilausbrands wurde modifiziert und erfolgreich im Betrieb, bei einer angestrebten Messgenauigkeit größer 99%, erprobt (Abb. 5).
- Energie- und Stoffstrombilanzen für den Vorwärmofen einer Feuerverzinkungsanlage konnten auf Basis von Betriebsdaten und Betriebsmessungen mit einem Bilanzfehler kleiner 0,3% ermittelt werden.

Abb. 4: ROREBS an einem Wärmofen

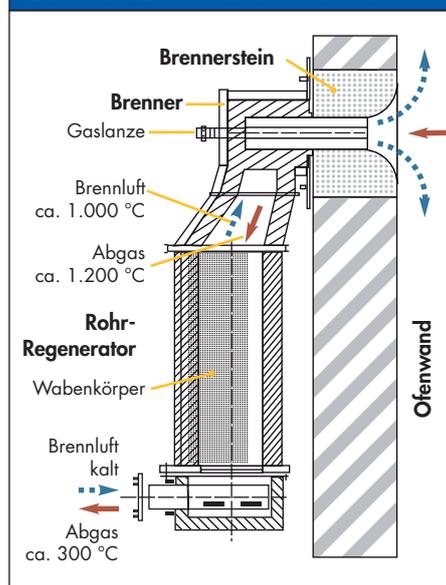
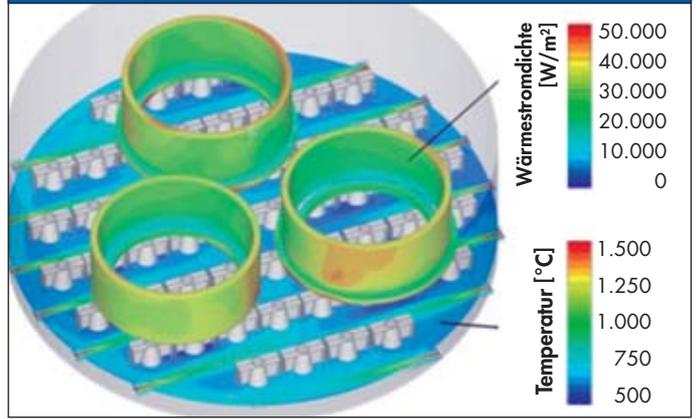


Abb. 5: Neues Messsystem für Ofenatmosphären



Abb. 6: Verbesserte Nutzguterwärmung durch Erhöhung des Brennerimpulses



■ Simulationsmodelle für Auslegung und Optimierung (CFD, Comsol)

Der konvektive Wärmeeintrag kann über die Strömungsführung der Ofenatmosphäre gezielt erhöht werden, meist erfolgt das über eine Anhebung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit. Hierfür Umwälzgebläse einzusetzen, die hohe Materialanforderungen stellen, war oft aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich. In einem neuen Verfahren wurden die über die Brenner in den Ofenraum eingedüsten Impulsströme der Verbrennungsgase zur einzig treibenden Kraft der Atmosphärenumwälzung. Um diese gezielt zu erhöhen, wurden zwei neuartige Beheizungsverfahren entwickelt.

Die Grundlagen hierfür wurden mittels Untersuchungen der Verbrennungstechnik, der Strömungsbedingungen und des Wärmeübergangs mit numerischen Simulationsrechnungen (Abb. 6) und Technikuserprobung geschaffen. Mit dieser neuen Entwicklung lassen sich viele Wärmeverfahren effizienter realisieren.

Um die geforderte Produktqualität und Energieeffizienz zu erreichen, muss man die Nutzeigenschaften während der Erwärmung und Wärmebehandlung genau kennen. Im Regelfall sind derartige Messungen während des Prozesses jedoch nicht möglich. Ein neu entwickeltes FEM-Simulationsmodell ist in der Lage, die Temperatur, den thermischen, elastischen, plastischen, umwandlungsbedingten und umwandlungsplastischen Spannungs-/Dehnungszustand sowie die diffusionsgesteuerte oder diffusionslose Phasen-

umwandlung des Nutzgutes in allen Prozessstufen der Erwärmung und Wärmebehandlung zu beschreiben. Das Simulationsmodell wird zurzeit für die Entwicklung, Auslegung und Optimierung eines im Aufbau befindlichen, neuen Anlagenverbundes genutzt. Dieser besteht aus Kühlstrecken, Durchlauföfen und Härtebecken zur Wärmebehandlung nahtlos gewalzter Ringe direkt aus der Walzhitze. Es wird pro t Wärmebehandlungsgut eine Brennstoffeinsparung von ca. 18 Nm³ Erdgas und somit eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes von ca. 33,3 kg erwartet. Bei einem geplanten Materialdurchsatz von ca. 26.500 t Nutzgut pro Jahr entspricht dies einer jährlichen Einsparung von ca. 477.000 Nm³ Erdgas und einer Reduzierung des CO₂-Ausstoßes von 882 t pro Jahr. In einer weiteren aktuellen Anwendung wird das Simulationsmodell genutzt, die Austenitisierung von Schmiedeblocken in Chargenöfen hinsichtlich Ofenfahrweise und -belegung zu optimieren. Damit kann die Erwärmung und Umwandlung der Blöcke möglichst spannungsarm und mit hoher Energieeffizienz erfolgen (Abb. 7).

■ Chargenofenmodell

Mit dem Chargenofenmodell können mittels Simulationsrechnung Ofenreisen nach Liegezeit und Energieeinsatz optimiert werden. Ein derartiges Modell kann offline als Schulungs- und Planungssystem sowie online als Prozessbeobachter und für Zeitprognosen eingesetzt werden. So ist die Entwicklung optimaler Heizkurven und

Ofenbelegungen möglich. Damit kann die betriebliche Planung verbessert und der Durchsatz erhöht werden. Das System ist vollständig innerhalb einer ORACLE-Datenbank realisiert und besitzt eine komfortable grafische Benutzeroberfläche.

■ Ofenführung mit Modellen

Die modellgestützte Ofenführung hat ein breites Anwendungsspektrum, auch für kleine Anlagenbetreiber. Die verschiedenen Optimierungsziele lassen sich definieren, z. B. minimierter Energieaufwand, gleichmäßige Durchwärmung oder die Verringerung von Zunder- und Spannungseffekten. Das Bedienpersonal wird einerseits von Routineaufgaben entlastet, andererseits kann auch unter irregulären Prozessbedingungen eine optimale Ofenfahrweise gewährleistet werden. Wesentliche Verbesserungen gegenüber dem Betrieb „von Hand“ sind hierbei die automatisierte Anpassung der Prozessführung an Schwankungen der Prozessgasversorgung, unterschiedlichen Materialfluss sowie die Reaktion auf Produktionsunterbrechungen. Die sich hierbei ergebenden Kosteneinsparungen und Qualitätsverbesserungen führen schnell zu wirtschaftlichen Vorteilen. Verschiedene Anlagenbetreiber setzen das Verfahren bereits erfolgreich ein.

Das teilweise in Jahrzehnten gesammelte Wissen über Prozesse und Anlagen liegt oft allein in der Hand einiger weniger hochqualifizierter Mitarbeiter. Die Sicherung und konsequente Anwendung dieses Wissenschatzes kann über regelbasierte Systeme

Abb. 7: Berechnete Temperaturverteilung (links) und Spannungsverteilung (rechts) bei der Erwärmung/Austenitisierung von Schmiedeblocken

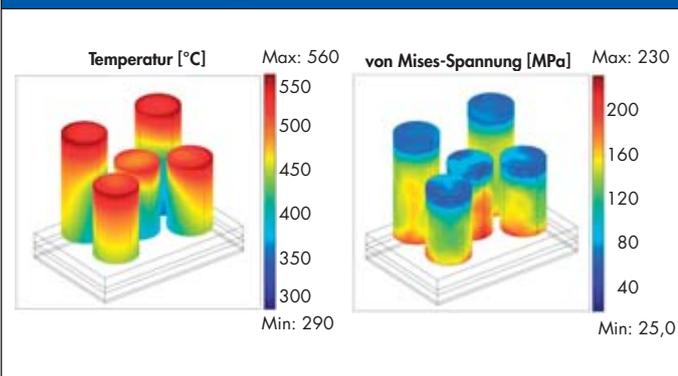
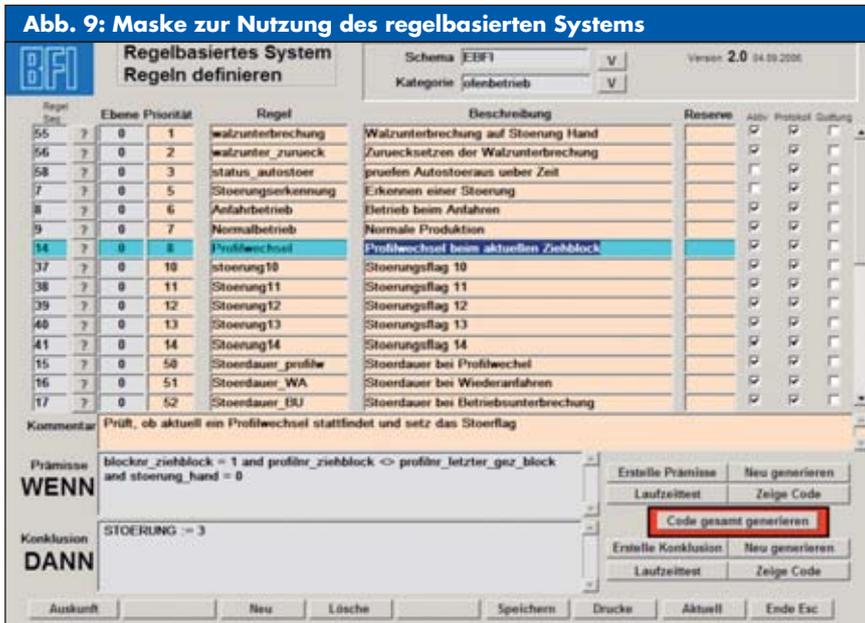


Abb. 8: Durchwärmungsmessung mit Versuchsblock



Abb. 9: Maske zur Nutzung des regelbasierten Systems



erfolgen. Mit diesen lassen sich Prozesse führen, dokumentieren und optimieren. Bei einigen Anwendungsfällen sind diese regelbasierten Systeme modellbasierten Systemen übergeordnet. Dies gilt insbesondere dann, wenn sich Vorgaben zur Prozessführung nicht oder nur schwer analytisch darstellen lassen. Diese Lösung wird aktuell bereits bei Ofenführungssystemen und Sinteranlagen eingesetzt.

► Fazit und Perspektiven

Die Energieeffizienz der deutschen Metallbranche hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert und die Möglichkeiten sind noch nicht ausgeschöpft. Effizientere Wärmeverfahren zur Marktreife zu entwickeln, ist von zentraler Bedeutung.

Das ROREBS-Verfahren steht mittlerweile vor der Markteinführung. Immer leistungsfähigere Simulationswerkzeuge eröffnen neue Möglichkeiten, Prozesse möglichst von Beginn an zu optimieren. Dabei sind Brenner als Glied einer Kette zu betrachten. Eine ideale Wärmanlage wird es nicht geben, da diese stets den fortlaufend sich entwickelnden Produkthanforderungen folgen müssen.

In den nächsten Jahren bleiben Ofentechnologie und besonders die Einbeziehung des Nutzguts ein Thema. Auch neue Konstruktions- und Bauweisen für strategische Ofentypen würden Chancen bieten. Bei der Wärmerückgewinnung sind noch weitere Steigerungen und eine Verstromung in speziellen Kraftwerken möglich. Letztendlich muss auch die Branche motiviert werden, dass sich der Aufwand für die Einführung neuer Verfahren trotz hartem globalen Wettbewerb und Stahlboom lohnt.

► PROJEKTADRESSEN

Forschungsinstitution

- VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH
Dr. Rolf Klima
Wolfgang Bender
Sohnstraße 65
40237 Düsseldorf
www.bfi.de

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin (Hrsg.): Klimaschutz und Energieeffizienz. Nov. 2008. Vertrieb: www.bmwi.bund.de (→ Service/Publikationen)

Abbildungsnachweis

- Alle Abb.: BFI

Service

- Dieses Projektinfo gibt es auch als online-Dokument unter www.bine.info im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen und Links.

PROJEKTORGANISATION

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Claus Börner
52425 Jülich

- Förderkennzeichen
0327392A, 0327380B, 0327358B, 0327378A

IMPRESSUM

■ ISSN

0937 – 8367

■ Version in Englisch

Dieses Projekt-Info bieten wir Ihnen als PDF auch in englischer Sprache unter www.bine.info an.

■ Herausgeber

FIZ Karlsruhe
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

■ Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

■ Autor

Uwe Milles

BINE Informationsdienst Energieforschung für die Praxis

BINE Informationsdienst berichtet zu Energieeffizienztechnologien und Erneuerbaren Energien.

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt die BINE-Redaktion, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE Informationsdienst ist ein Service von FIZ Karlsruhe und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

Kontakt

Haben Sie Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter:

Tel. 0228 92379-44



FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstraße 185 – 197
53113 Bonn

kontakt@bine.info
www.bine.info