

# Energieeffizienz und Wärmerückgewinnung in Wärmebehandlung und Härtereibetrieb (Teil 1)

von **Olaf Irretier, Marco Jost, Julian Irretier**

Die Themen Energieeffizienz und Wärmerückgewinnung in Industriebetrieben und allen voran in energetisch intensiven Betrieben der Thermoprozess- und Härtereibranche sind derzeit in aller Munde. Der folgende zweiteilige Fachbeitrag zeigt Möglichkeiten auf, um sich der Energieeffizienz und Wärmerückgewinnung in Wärmebehandlungs- und Härterei Betrieben nähern zu können. Der vorliegende Teil 1 gibt eine allgemeine Einführung und zeigt Optimierungsmöglichkeiten auf zur Steigerung der Energieeffizienz. Teil 2 der Veröffentlichung wird die Fördermöglichkeiten für Energieeffizienzmaßnahmen als Leitfaden darstellen.

Energieeffizienz und Wärmerückgewinnung haben in den letzten Jahren in allen Bereichen der Produktion zunehmend Beachtung gefunden. Der generelle Ansatz der Ressourcenschonung und des Umweltschutzes und das mit steigendem Energiepreis verbundene Streben nach Kostenreduzierung lösen derzeit eine Reihe von Maßnahmen aus. Zukünftig wird insbesondere auch aufgrund der gesetzlichen nationalen und internationalen Bestimmungen mit einem weiter zunehmenden Handeln nach energieeffizienten Anlagen und Verfahren zu rechnen sein.

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich seit dem Kyoto-Protokoll dem Rückgang der Treibhausgasemissionen verschrieben. Bis heute sollten die Treibhausgase gegenüber 1990 um 40 % reduziert werden. Mit einem Rückgang von 35,7 % bis 2019 ist man diesem Ziel erfreulicherweise sehr nahe gekommen. Die weiteren Langfristziele wurden 2008 auf dem G8-Gipfel in Japan mit einer Halbierung der Emissionen bis 2050 manifestiert, was eine Steigerung der Energieeffizienz um etwa 3 % jährlich erforderlich macht – derzeit liegt die jährliche Steigerung der Energieeffizienz bei unter 2 %. Während in den letzten 15 bis 20 Jahren der Energieverbrauch in Deutschland in den Bereichen Verkehr und Haushalt um etwa 10 % gestiegen ist, konnte in der Industrie ein Rückgang von etwa 15 % verzeichnet werden. Das nicht auch zuletzt durch ansteigende Produktivität und Energieeffizienz der Prozesse.

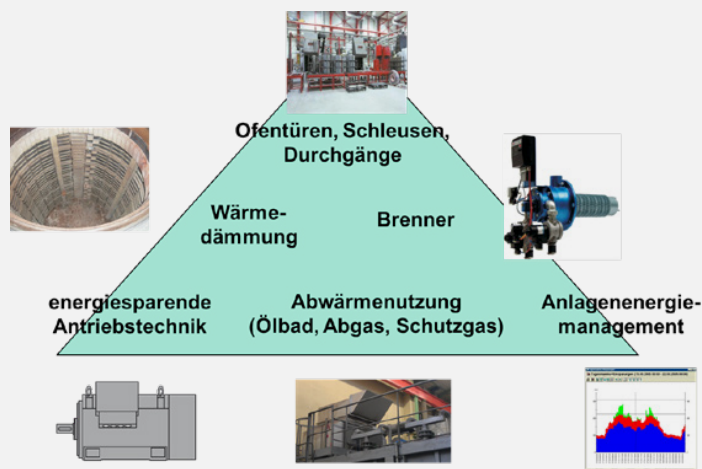
Es liegt auf der Hand, dass die europäische Gesetzgebung weiter handelt und handeln wird, um die Effizienz insbesondere der energieintensiven Prozesse weiter zu

steigern. Durch die Richtlinie 2006/23/EG wurden weitere Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (Ökodesign-Richtlinie) festgelegt. Für die Zukunft hat die EU mit dem EU-Energie- und Klimapaket weitere Ziele, u. a. die Steigerung der Energieeffizienz um 20 %, die Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 20 % und die generelle Förderung erneuerbarer Energien, festgelegt. Mit dem New-Approach-Ansatz der EU (EU-Harmonisierung, CE-Kennzeichnung, Konformitätsbewertung etc.) dürfen dann nur noch Produkte in den Handel gebracht werden, die dieser Richtlinie entsprechen.

In diesem zweiteiligen Fachbeitrag geht es darum, wie Wärmebehandlungsbetriebe und Härtereien sich dem Thema Energieeffizienz und Wärmerückgewinnung nähern können. Teil 1 gibt eine allgemeine Einführung und thematisiert dann konkrete Optimierungsmöglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz.

## **Energieeffizienz im Ofenbau – Allgemeine Aspekte**

Bei Wärmebehandlungs- oder Verbrennungsprozessen entstehen mehr oder weniger große Mengen an CO<sub>2</sub>. Bei genauer Betrachtung ist insbesondere die Branche der Thermoprozesstechnik zum weiteren Handeln aufgerufen – werden doch aufgrund der vielen unterschiedlichen Anwendungsbereiche etwa 40 % der industriell genutzten Energie für Thermoprozessanlagen und Industrieöfen verbraucht. Hinzu kommt, dass die Lebensdauer



**Bild 1:** Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

von Thermoprozessanlagen bei 30 Jahren und mehr liegt und insofern gerade auch der langfristige Lebenszyklus in den Überlegungen zur Steigerung der Energieeffizienz berücksichtigt wird.

Industrieofenbauer haben erkannt und bereits vor einigen Jahren damit begonnen, die Energieeffizienz ihrer Anlagen in den Bereichen Ofenisolierung, Beheizungssysteme, Abwärmenutzung und Stromverbrauch sowie die integrierte Nutzung von Abwärme für den thermischen Prozess zu verbessern (**Bild 1**). So sparen moderne Ofenanlagen gegenüber älteren Anlagen mit einfachen Ausführungen etwa 20 % Energie im Bereich der Wandisolierung. Durch Maßnahmen der Abgastechnik zur Wärmerückgewinnung können in einigen Fällen sogar bis zu 75 % der Energie eingespart werden. Die Durchführung energieeffizienter Maßnahmen ist dabei sowohl durch Nachrüstung an bestehenden Anlagen als auch bei entsprechenden Neuanlagen möglich. Die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen hängt dabei vor allem auch von der zeitlichen Betrachtungsweise ab. Kurzfristige Amortisationen sind dabei vor allem durch Maßnahmen im Bereich der Isolierung, der Brennertechnik oder auch der direkten Abwärmenutzung zu erwarten.

Die Bewertung einer effizienteren Energienutzung in der Wärmebehandlungs- und Ofentechnik ist mit der Frage verbunden, wie die vorhandene Wärme, d. h. der Energieinhalt eines Bauteils, einer Atmosphäre oder eines Stoffes durch ein Temperaturgefälle an ein anderes Medium oder die Umgebung übertragen werden kann. Hierbei ist das Problem zu lösen, dass die zur Verfügung stehende Wärmemenge je nach Prozess diskontinuierlich anfallen kann und zudem von den Tages- bzw. Jahreszeiten abhängig sein kann, während die Abwärme oder Energie bedarfsgerecht bereitgestellt werden muss.

Bei Überlegungen zur Energieeffizienz im Ofenbau und in der Wärmebehandlung gilt es auch die grundsätzlichen

Phänomene der Wärme- und Stoffübertragung zu berücksichtigen. Bei der Wärmebehandlung werden Bauteile auf hohe Temperaturen erwärmt, gehalten und nach einer entsprechenden Haltezeit wieder abgekühlt. Der Wärmeübergang auf das Bauteil erfolgt bei Temperaturen bis 700 °C überwiegend durch (erzwungene) Konvektion, während bei höheren Temperaturen für die Erwärmung mehr und mehr die Wärmestrahlung verantwortlich ist. Es ist daher nachvollziehbar, dass insbesondere bei niedrigeren Temperaturen bis etwa 700 °C eine forcierte Umwälzung für eine beschleunigte und zudem gleichmäßige Erwärmung der Chargen notwendig ist. Neben der konventionellen Umwälzung durch Heißgasventilatoren hat sich in den letzten Jahren bei einigen Anlagentypen die Erwärmung durch Hochgeschwindigkeitskonvektion durchgesetzt. Mithilfe dieser Technologie

können Öfen in kompakter Bauweise konstruiert werden, die sich durch eine sehr gute Temperaturgleichmäßigkeit und eine hohe Energieeffizienz auszeichnen.

Die Optimierung und Steigerung der Umwälzung und Strömung im Industrieofen ist daher ein wesentlicher Aspekt zur Steigerung der Energieeffizienz. Durch Hochgeschwindigkeitskonvektion können zum Beispiel Durchlaufanlagen im Hinblick auf ihre beheizte Länge deutlich verkürzt werden – in einigen Fällen sogar um bis zu 70 %. Damit beträgt zum Beispiel die Baulänge einer solchen Durchlaufanlage bei kurzen Temperaturhaltezeiten von ca. 5 min für dickwandige Bleche nur ca. 30 % von dem eines reinen StrahlungsOfens bzw. nur ca. 50 % eines klassischen Konvektionsofens. Insgesamt können Ofenanlagen bei einer Optimierung der Umwälzung und Durchströmung somit kleiner ausgeführt werden, da die thermischen Prozesse entsprechend schneller ablaufen und sich dadurch der Durchsatz erhöht.

### Energieeffizienz durch Optimierung des Isolieraufbaus

Die Ofenisolierung oder Wärmedämmung besitzt bei Hochtemperaturprozessen eine besondere Aufgabe, der durch den optimierten Einsatz von Isoliermaterialien (Faser, Wolle, Steine) in den letzten Jahrzehnten mit Reduzierung der Energieverbräuche von bis zu 30 % entsprochen wurde. Durch die Wahl bzw. Kombination der Isolierstoffe wird die Eigenschaft des Ofens hinsichtlich Energieverbrauch, Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit, Energieverluste, Speicherwärme und somit Energieeffizienz wesentlich beeinflusst (**Bild 2**). Die üblicherweise eingesetzten Isoliermaterialien haben unterschiedliche Eigenschaften. Leichte Isolierstoffe weisen eine geringe mechanische Festigkeit gegenüber einem hohen Isoliervermögen und einer geringen Wärmespeicherkapazität auf. Die maximalen

Betriebstemperaturen sind (ausgenommen die keramische Faser) relativ niedrig. Schwere Isolierstoffe sind mechanisch hoch belastbar, haben eine große Wärmespeicherkapazität und eine geringere Isolierwirkung. Rein faserisolierte Öfen haben bei gleicher Isolierstärke zwar eine geringere Speicherwärme, jedoch einen höheren Abstrahlungsverlust. Es hängt demnach von der Betriebsweise ab, ob eine Faserisolierung wirtschaftlich ist oder nicht.

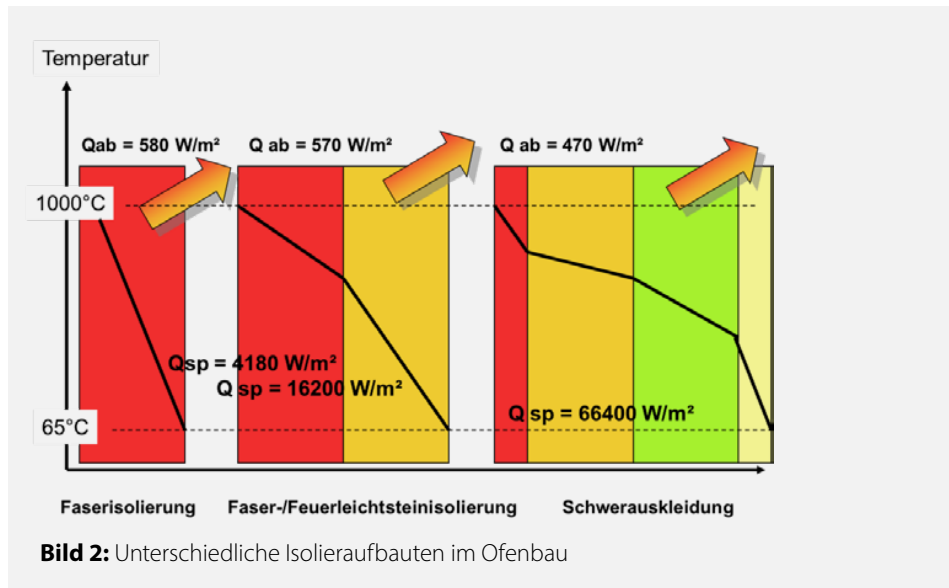
Durch eine optimale Kombination verschiedener Isolierstoffe (Ausnutzung des Isoliervermögens, der Speicherkapazität, der mechanischen Festigkeit und der maximalen Anwendungstemperatur) kann der Industrieofen auf seinen jeweiligen Einsatz optimal angepasst und hinsichtlich der Energieeffizienz optimiert werden. So können beispielsweise durch den Einsatz mikroporöser Wärmedämmplatten

(0,025 W/mK) als Hinterisolierung die Energieverluste über die Ofenwände im Vergleich zu einem herkömmlichen Isolieraufbau um etwa 20 % reduziert werden, womit in der Regel eine Herabsetzung der äußeren Ofenwandtemperatur von etwa 10 °C verbunden ist. Die Amortisationszeiten liegen je nach Betrachtungsfall bei drei bis fünf Jahren.

Die Devise lautet also Abwärmevermeidung durch optimale Dämmung der Ofenausmauerung, die eine Einsparung von Heizgas, geringere Abwärme in die Werkshalle sowie einen erhöhten Wirkungsgrad der Ofenanlagen mit sich bringt. Auch hier kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die Investition sich in der Regel nur bei Neuausmauerung rechnet und eine Verringerung der Effizienz der Abgaswärmenutzung zur Folge hat.

### Energieeffizienz durch Optimierung der Brennertechnik

Die Wirtschaftlichkeit und Effizienz eines Wärmebehandlungsprozesses hängt insbesondere vom Energieverbrauch pro Bauteil oder Gewicht ab. Moderne Industrieöfen weisen daher entsprechenden Isolieraufbau auf und sind insbesondere bei hohen Einsatztemperaturen in der Regel mit rekuperativen oder regenerativen Gasbrennern ausgestattet. Die derzeit im Markt eingesetzten Gasbrenner mit in den Brennern integrierten Rekuperatoren erreichen Wirkungsgrade von etwa 75 %. Die im Bereich der Wärmebehandlung bislang erst selten verwendeten Brenner mit integrierten Regeneratoren weisen sogar Wirkungsgrade von 85 % und mehr auf. Rekuperative und regenerative Brennersysteme stellen bei der Beheizung diskontinuierlicher und kontinuierlicher Ofenanlagen den Stand der Technik dar. Neben hohem Wirkungsgrad ermöglichen diese Brennerarten vor allem auch den Ofenbetrieb mit sehr niedriger CO<sub>2</sub>-Ausstoßreduktion bei gleichzeitiger



Minimierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen. Neben der generellen Verwendung von Hochleistungsbrennern ist in diesem Zusammenhang auch eine dem Prozess angepasste optimale Brennereinstellung notwendig. Ein integratives Instandhaltungsmanagement hilft neben der Vermeidung von Maschinenschäden und ungeplanten Anlagenstillständen auch, die optimale Einstellung der Brenner unter Umwelt- und Energiegesichtspunkten zu gewährleisten.

### Energieeffizienz durch Optimierung der elektrischen Beheizung

Elektrische Beheizungssysteme werden je nach Anwendungsfall und -temperatur in einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien realisiert. Dabei unterliegt die geometrische Gestalt der Werkstücke kaum Einschränkungen. In wirtschaftlicher Hinsicht zeichnen sich die elektrisch widerstandsbeheizten Öfen durch geringe Investitionskosten aus. Die Betriebskosten sind in Deutschland in der Regel höher als bei gasbeheizten Öfen. Der Einsatz der Öfen ist sehr flexibel und die Zuverlässigkeit sehr hoch. Elektrisch widerstandsbeheizte Öfen benötigen keine spezielle Genehmigung, wie sie für die Aufstellung brennstoffbeheizter Öfen erforderlich ist. Im Hinblick auf den Umwelt- und Arbeitsschutz sind insbesondere die geringe Lärm- und Wärmebelastung am Betriebsort zu nennen. Zudem treten hier keine Emissionen von Brennstoffabgasen auf.

Heizelemente sind elektrische Leiter, die so konstruiert sind, dass von ihnen ein Maximum an Wärme freigesetzt wird. Diese wird durch Wärmeübertragung dem zu erwärmenden Gut zugeführt. Die Erwärmung erfolgt mittelbar, d. h. die Wärme wird außerhalb des Gutes erzeugt und gelangt über dessen Oberfläche in das Werkstückinnere. Die in Industrieöfen eingesetzten Heizelemente unterscheiden sich vor allem in Form und Material. Letzteres bestimmt

die maximale Anwendungstemperatur. Heizleitermaterialien lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen: metallische und keramische Heizleiterwerkstoffe.

Zu den metallischen Heizleiterwerkstoffen gehören die seit Langem genutzten Chrom-Nickel-Legierungen (CrNi), die bis etwa 1.200 °C verwendbar sind, ferritische Chrom-Eisen-Aluminium-Legierungen (CrFeAl) für Temperaturen bis 1.400 °C und die reinen Metalle Molybdän (Mo) und Wolfram (Wo), die bis über 1.400 °C unter Schutzgas betrieben werden. Metallische Heizelemente (CrNi und CrFeAl) werden in einer Vielzahl von Ausführungsformen in Industrieöfen eingesetzt. Die wohl bekannteste und hinsichtlich maximaler Anwendungstemperatur, Lebensdauer und Energieeffizienz zu favorisierende Form ist die Platzierung auf keramischen Tragrohren. Das Einlegen der Heizelemente in Rillen im Isoliermaterial ist fertigungstechnisch die oft kostengünstigere Variante, aber eben auch mit einer um etwa 50 °C reduzierten Ofentemperatur und dem Verzicht auf freie Wärmeabstrahlung verbunden. Metallische Elemente werden aus Drähten oder Bändern in verschiedenen Durchmessern und Breiten hergestellt. Metallelemente zeichnen sich durch ihre mechanische Robustheit aus, sind einfach zu regeln und preiswert. Sie

können frei aufgehängt werden, auf Unterstützungsstrukturen gelagert oder aber in Träger eingebettet werden.

Um eine möglichst hohe Energieeffizienz der elektrischen Beheizung zu erreichen, ohne die Oberflächenbelastung zu überschreiten, muss deren maximal zulässige Elementtemperatur eingehalten werden. Die Elementhersteller geben hierfür einzuhaltende Richtwerte für zwei Kenngrößen, die Elementbelastung und die Wandbelastung, vor. Für eine richtige und gleichmäßige Temperaturverteilung im Ofen müssen ausreichende Wandflächen zur Verfügung stehen. Die zulässigen Werte für die Element- und Wandbelastung sinken mit zunehmender Ofentemperatur. Zudem hängen sie von der Art und Anordnung der Heizelemente ab.

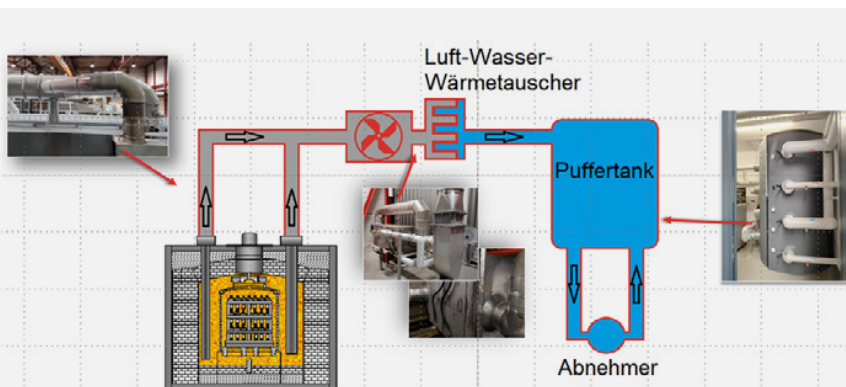
### Energieeffizienz durch Wärmerückgewinnung

Abwärmemengen gilt es hinsichtlich der Energieeffizienz zu nutzen. Entsprechend einer ausgeglichenen Energiebilanz muss der Abwärmeleistung an Industrieöfen und Thermoanlagen sonst eine erforderliche äquivalente Kühlleistung entgegengestellt werden. Für die Auslegung und Bewertung dieser Rückkühleinrichtungen sind sowohl der Wasserbedarf der zu kühlenden Verbraucher als auch

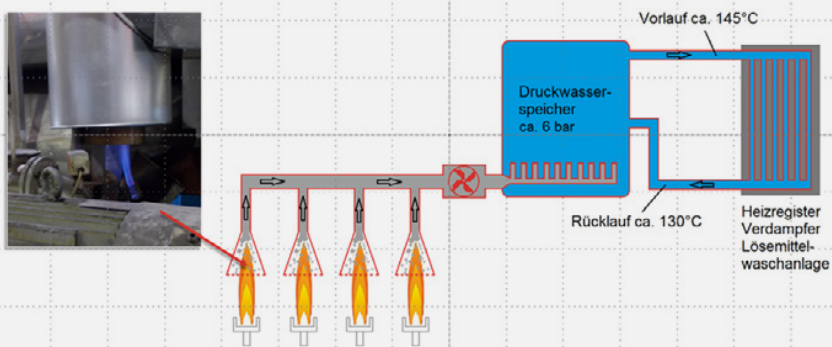
die erforderliche Kühltemperatur am Verbraucher und die zulässige Temperaturerhöhung zu berücksichtigen. Besser als diese Form der Energievernichtung ist die Energienutzung durch Wärmerückgewinnung. Ein besonderer Fokus wird heute auf die Abwärmenutzung von Brennerabgasen gelegt (**Bild 3**).

Die Wärmenutzung sonst ungenutzter Abgase war vor allem immer dann anzuraten, wenn Neubauten von Produktionshallen anstehen und die Wärmenutzung im Rahmen der Energieeinsparverordnung (EnEV) geltend gemacht werden konnten, da die Investition sich in der Regel nur bei Neubau oder kompletter Erneuerung und Nutzung der Wärme in der Heizperiode rechnet (**Bild 4**). Die Energieeinsparverordnung (EnEV) war ein Teil des deutschen Wirtschaftsrechts. Sie wurde zum 1. November 2020 durch das Gebäudeenergiegesetz abgelöst.

Abwärmemengen können nur bei Vorliegen einer thermodynamischen Triebkraft genutzt werden, d. h. die warme Temperatur muss immer mit einem ausreichenden Delta über der kalten Temperatur liegen. Gegebenenfalls ist mit einer Niedertemperatur-Wärmepumpe die Abwärme auf ein höheres



**Bild 3:** Nutzung von Brennerabgasen am Mehrzweckkammerofen [3]



**Bild 4:** Abwärmenutzung (Beispiel Ofenabgase) Druckwasserspeicher und Wärmetauscher [3]

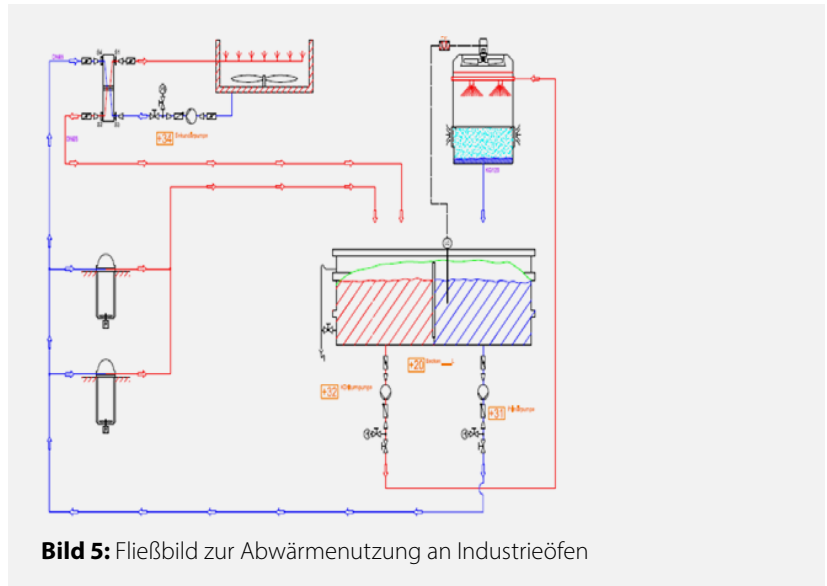


Niveau zu transferieren, um die Wärmeenergie für Folgeprozesse auf niedrigerem thermischem Niveau überhaupt erst nutzbar zu machen. Die Wärmeenergie im Kühlwasser beispielsweise kann durch entsprechende Maßnahmen direkt genutzt werden. Die Nutzung hinsichtlich Hallenbeheizung hat sich bei Neuinstallationen bereits durchgesetzt. Zu berücksichtigen ist in diesem Fall, dass für eine Raumbeheizung verhältnismäßig große Luftmengen bewegt werden müssen, die wiederum die Bereitstellung von Förderenergie erforderlich machen. Einfacher und energieeffizienter ist die Beheizung über Fußbodenbeheizung, die darüber hinaus auch im Außenbereich (Parkplatz, Auffahrten) interessante Perspektiven bietet. Auch die Nutzung des warmen Wassers für den Sanitärbereich ist hinsichtlich Abwärmenutzung eine vor allem auch betriebswirtschaftlich sehr interessante Variante. In diesem Fall wird über einen zusätzlichen Wasser-Wasser-Wärmetauscher Dusch- und Heizwasser mit verhältnismäßig hoher Temperatur an einen Heißwasserspeicher für den genannten Bedarf abgegeben. Bei größeren Wärmemengen ist auch die Einspeisung in öffentliche Fernwärmenetze sinnvoll. Energetisch betrachtet lassen sich grundsätzlich alle über Kühlwasser/Wärmetauscher betriebenen Maßnahmen durch Erhöhung der zulässigen Kühlwassertemperatur an den Verbrauchern verbessern. **Bild 5** zeigt ein Fließbild zur Abwärmenutzung an Industrieöfen.

Rückkühlung von Ölabschreckbädern erfolgt in der Regel über Öl-Wasser- oder Öl-Luft-Plattenwärmetauschern, die entsprechend der Kühlung von Wasser in die Kreisläufe zu integrieren sind. Der weitere Abwärmenutzen kann entsprechend dem oben Genannten erfolgen. Die Beheizung von Reinigungsanlagen (40–80 °C) oder die Bauteiltrocknung nach der Reinigung kann durch Abwärmenutzung aus Ölabschreckbädern in gleicher Art über Wärmetauscher erfolgen. Dabei sollten Temperaturdifferenzen zwischen Öl- und Reinigungsbad von größer 20 °C vorliegen, was bei der Wahl geeigneter Systeme in der Regel kein Problem darstellt und zu Amortisationszeiten von drei bis fünf Jahren führt. Bei Abwärmenutzung von Ölbadern zur Trocknung (mit oder ohne Schwadenkondensator) an Durchlaufanlagen, die einen jährlichen Kühlwasserbedarf von etwa 20.000 m<sup>3</sup> erfordern, ist eine Energieeinsparung von etwa 15 bis 20 kW möglich, sodass bei diesen Anlagen mit Amortisationszeiten für diese Maßnahmen von drei Jahren zu rechnen ist.

Die Autoren des Beitrags beschäftigen sich seit Jahren mit diesen Themen und beraten, schulen und liefern entsprechende Lösungen zur energieeffizienten Gestaltung von Wärmebehandlungsprozessen und Industrieöfen. Weitere Informationen und Kontakt: [www.ibw-irretier.de](http://www.ibw-irretier.de)

Lesen Sie im folgenden Teil 2 des Beitrags, welche Fördermöglichkeiten sich bieten und wie ein Leitfadenergieeffizienz sinnvoll aufgebaut werden kann.



**Bild 5:** Fließbild zur Abwärmenutzung an Industrieöfen

## LITERATUR

- [1] Beneke, F. et al.: Energieeffizienz für Thermoprozessanlagen, Seminar, 2009
- [2] Irretier, O.: Resource savings and energy efficiency in heat treatment shops. heat processing 12 (2014), No. 1
- [3] Matthäus, R.: Energieeffizienz und Wärmerückgewinnung im Härtereibetrieb – Einsparpotenziale und Fördertöpfe. Vortrag auf der Fachtagung Härtereipraxis, 15.-17. September 2020
- [4] Hiller, G.; Bertoni, P.; Jost, M.; Irretier, O.: Modular heat treatment using nitriding and low-pressure carburising. heat processing 18 (2020), No. 4

## AUTOREN



Dr.-Ing. **Olaf Irretier**  
IBW Dr. Irretier GmbH  
Kleve  
02821 / 71539-48  
[olaf.irretier@ibw-irretier.de](mailto:olaf.irretier@ibw-irretier.de)



Dipl.-Ing. **Marco Jost**  
IBW Dr. Irretier GmbH  
Düsseldorf  
0177 / 23595-36  
[marco.jost@ibw-irretier.de](mailto:marco.jost@ibw-irretier.de)



**Julian Irretier**  
IBW Dr. Irretier GmbH  
Kleve