

Energieeffizienz in Industrieofenbau und Wärmebehandlung – Maßnahmen und Potentiale

Energy-efficiency in industrial furnace engineering and heat treatment – provisions and potentials

Olaf Irretier

Energieeffizientes Wirtschaften hat in den letzten Jahren und Jahrzehnten in allen Bereichen unseres Handelns Einzug gehalten. Die energieintensive Thermprozess-technik bietet dabei eine Reihe von Möglichkeiten, die im folgenden Beitrag dargestellt werden. Neben dem Einsatz optimierter Isolierwerkstoffe und Beheizungssystemen, werden auch die Möglichkeiten der Energierückgewinnung angesprochen.

In recent years and decades, energy-efficient economic management has become a fixed element of all areas of our thoughts and actions. Energy-intensive thermal process-engineering in this context offers a whole series of potentials, which are examined in the following article. The methods of recovering energy are also highlighted, in addition to the use of optimized insulating materials and heating systems.

Einführung

In den letzten Jahren hat das Thema der Energieeffizienz in nahezu allen Bereichen der Produktion Einzug gehalten. Der generelle Ansatz der Ressourcenschonung und des Umweltschutzes und das mit steigendem Energiepreis verbundene Streben nach Kostenreduzierung lösen derzeit eine Reihe von Diskussionen und 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.

Energieeffizienz in Ofenbau und Wärmebehandlung – Stand und Ausblick

In den letzten 30 Jahren ist der weltweite Verbrauch an Rohstoffen zur Primärenergiegewinnung um etwa 70 % gestiegen. Bis zum Jahr 2030 wird gegenüber 2006 ein Anstieg des weltweiten Primärener-

gieverbrauchs um weitere 45 % erwartet (World Energy Outlook 2008). Demgegenüber macht sich die Bundesrepublik in dem in Kyoto verabschiedeten Protokoll für Deutschland den Rückgang der Treibhausgasemissionen für 2012 um 21 % gegenüber 1990 zum Ziel. Bis 2020 soll sogar eine Reduzierung des Treibhausgas um 40 % erzielt werden. 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 der BRD in den Bereichen Verkehr und Haushalt um etwa 10 % gestiegen ist, so konnte im Bereich Industrie ein Rückgang von etwa 15 % verzeichnet werden. Dieses nicht auch zuletzt durch ansteigende Produktivität und Energieeffizienz der Prozesse.

Die Emissionsbelastung in der Bundesrepublik hat dabei eine besondere Entwicklung durchlaufen und konnte in den

Jahren von 1990 bis 2005 drastisch reduziert werden – etwa die Gesamtbelastung durch Stäube von etwa 2,5 Mio. t (1990) auf etwa 200.000 t in 2004. Die Preise für Erdgas haben sich im gleichen Zeitraum etwa verdoppelt.

Es liegt „auf der Hand“, dass die europäische Gesetzgebung handelt und weiter 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 Klimapakete 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.

Derzeit erarbeitet die EU-Kommission für den Bereich der Industrieöfen eine entsprechende Studie und ggf. daraus folgende Richtlinie, die u. a. auch die Definition und Festlegung eines Wirkungsgrads für Industrieöfen beinhaltet.

Bei jeder Art von Verbrennungsprozess, entsteht eine mehr oder weniger große Menge an CO₂. Bei genauer Betrachtung ist daher insbesondere die Branche der Thermprozess-technik zum weiteren Handeln aufgerufen – werden doch aufgrund der vielen unterschiedlichen Anwendungsbereiche etwa 40 % der industriell genutzten Energie für Thermprozess-

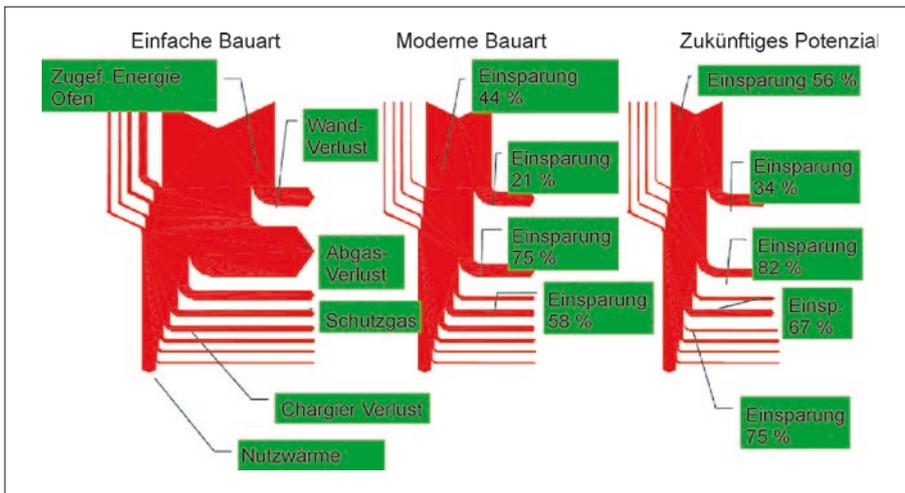


Bild 1: Möglichkeiten der energetischen Optimierung (Quelle: Aichelin)

Fig. 1: Production of crude steel

anlagen und Industrieöfen verbraucht, entsprechend einem Kostenvolumen von etwa 30 Milliarden Euro. Trotz Energieeinsparung in den letzten Jahrzehnten betrug 2005 der Verbrauch im Bereich

Bild 2: Rohstahlerzeugung (Quelle: IWT Bremen)

Fig. 2: Potentials for energy optimization



Bild 3: Wärmebehandlung (Quelle: IWT Bremen)

Fig. 3: Heat treatment



Thermoprozesstechnik etwa 270 Terawattstunden – ein Energiepotential um Bayern ein Jahr mit Energie zu versorgen. Hinzu kommt, dass die Lebensdauer von Thermoprozessanlagen bei 30 Jahren und mehr liegt und insofern gerade auch der langfristige „Lebenszyklusgedanke“ in die Überlegungen zur Energieeffizienzsteigerung berücksichtigt wird. Der Energieverbrauch einer modernen Ofenanlage ist gegenüber einer „alten“ Anlagen um etwa 30 % geringer. Die in Europa führenden Industrieofenbauunternehmen haben dieses erkannt und bereits vor einigen Jahren damit begonnen, die Energieeffizienz ihrer Anlagen in den Bereichen Ofenisolierung, Beheizungssysteme, Abwärmenutzung und Stromverbrauch oder auch der „integrierten“ Nutzung im thermischen Prozess zu verbessern. Gemäß **Bild 1** sparen moderne Ofenanlagen gegenüber „älteren“, einfachen Ausführungen etwa 20 % im Bereich der Wand-Isolierung, 75 % im Bereich der Abgase und etwa 60 % im Bereich der Schutzgase. Die Nutzung weiterer zukünftiger Potentiale ermöglicht Energieeinsparungen im Mittel von weiteren 10 % (**Bild 2** und **Bild 3**).

Die Durchführung energieeffizienter Maßnahmen ist dabei durch Nachrüstung an bestehenden Anlagen oder entsprechenden Maßnahmen an 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 Brenner-technik oder auch der direkten Abwär-

menutzung zu erwarten (siehe Leitfaden VDMA-Thermoprozesstechnik).

Energiebilanzierung im Ofenbau

Die Bewertung einer effizienteren Energienutzung in der Thermoprozesstechnik 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. Das Problem, welches hierbei zu lösen ist, ist dass die zur Verfügung stehende Wärmemenge diskontinuierlich anfällt und von Tages- bzw. Jahreszeiten abhängig ist, während die Abwärme oder Energie bedarfsgerecht bereitgestellt werden muss.

Investitionsentscheidung jeder Art werden nach technischen, kaufmännischen oder umweltrelevanten Gesichtspunkten gefällt. Nutzwert-Kosten-Analyse vereinfachen Auswahlentscheidung zwischen verschiedenen Alternativen, selbst dann, wenn eine Vielzahl von Kriterien, die nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand monetär quantifiziert werden können, erfasst werden müssen. Sollen Wärmebehandlungsprozesse, die ohnehin durch eine große Anzahl von Einflussfaktoren gekennzeichnet sind, hinsichtlich der energieeffizienten Möglichkeiten (prozess-, betriebsintern oder Abgabe an Dritte) bewertet werden, sind derart ganzheitliche Betrachtungsweisen der thermischen Prozesse unter Berücksichtigung aller Einflussgrößen unerlässlich. Schlussendlich entscheidet aber die Amortisationsdauer darüber, ob eine Investition getätigt werden soll oder nicht.

Die **Bilder 4 und 5** zeigen exemplarisch für einen in Wärmebehandlungsbetrieben eingesetzten Mehrzweckkammerofen die entsprechende Energiebilanz für einen Prozess bei 700 °C und ein Chargengewicht von 700 kg. 75 % der Gesamtenergie werden für Beheizung und Antriebe aufgebracht, wobei Durchführungen, Wandverlust und Ölbadkühlung etwa 70 % ausmachen.

Die relevanten Energieströme werden über Sankey-Diagramme erfasst und dargestellt:

Für eine systematische, energietechnische Bewertung von Thermoprozessen

wird die folgende Herangehensweise empfohlen:

- Erfassung Energieverbraucher (Betriebsdaten, -zeiten und Wirkungsgrad)
- Erfassung Energiekosten (Gas, Strom, Wasser)
- Lastmanagementanalyse (Netzqualität)
- Erstellung „Energiesparkonzept ESK“ (Zielsetzung, Schwerpunkte)
- Analyse und Erstellung von Energieeinsparmaßnahmen, Konzepte, Angebote
- „Energetische Anlagenoptimierung“ (Erfassung der Anlagenparameter, Überprüfung der eingesetzten Komponenten, Analyse der Produktionsprozesse, Schwachstellenanalyse)
- Nutzwert-Kosten-Analyse, Wirtschaftlichkeitsanalyse, Budgetplanung

Energieeffizienz – Optimierung durch Wärmeübertragung

Bei der 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 fast ausschließlich durch (erzwungene) Konvektion. Es ist daher nachvollziehbar, dass insbesondere in diesem Temperaturbereich einer forcierten Umwälzung ein hohes Maß an Interesse zukommt. Neben der „konventionellen“ Umwälzung durch Heißgasventilatoren hat sich in den letzten Jahren vor allem auch die Erwärmung durch „Prallstrahlung“ durchgesetzt. Durch diese Technologie sind Öfen in kompakter Bauweise mit hoher Temperaturgleichmäßigkeit und somit auch erheblich geringere Energiekosten möglich.

Durch Prallstrahlung kann ein um bis zu 4-facher Wärmeübergang (Alpha-Wert) erzielt werden, was zu einer deutlich verkürzten Erwärmungs- und Durchwärmdauer führt (**Bild 6**).

Bei konventionellen und vor allem großen Umwälzöfen nimmt die Temperatur der das Bauteil umströmenden Heißluft oder des das Bauteil umströmenden Gases während des Überströmens kontinuierlich ab. Beim Erwärmen mittels Prallströmung („Jet-Heating“) werden alle Teile einer Charge immer mit gleicher

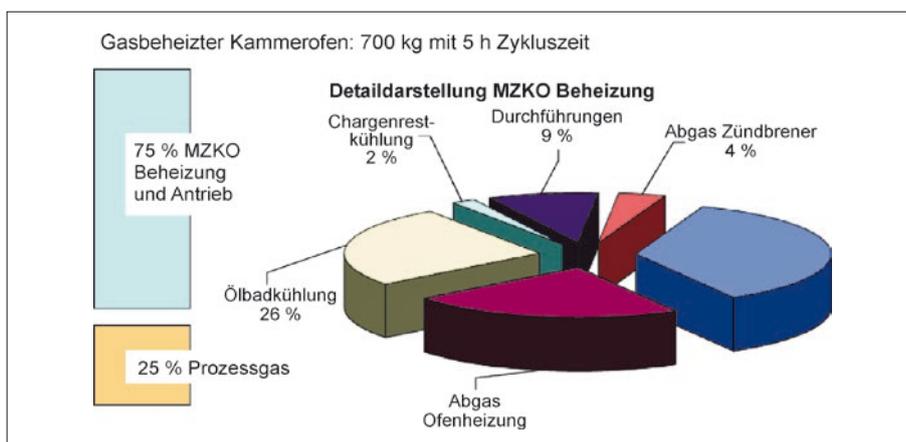


Bild 4: Energiebilanz Industrieofen (Quelle: Aichelin)

Fig. 4: The energy balance for an industrial furnace

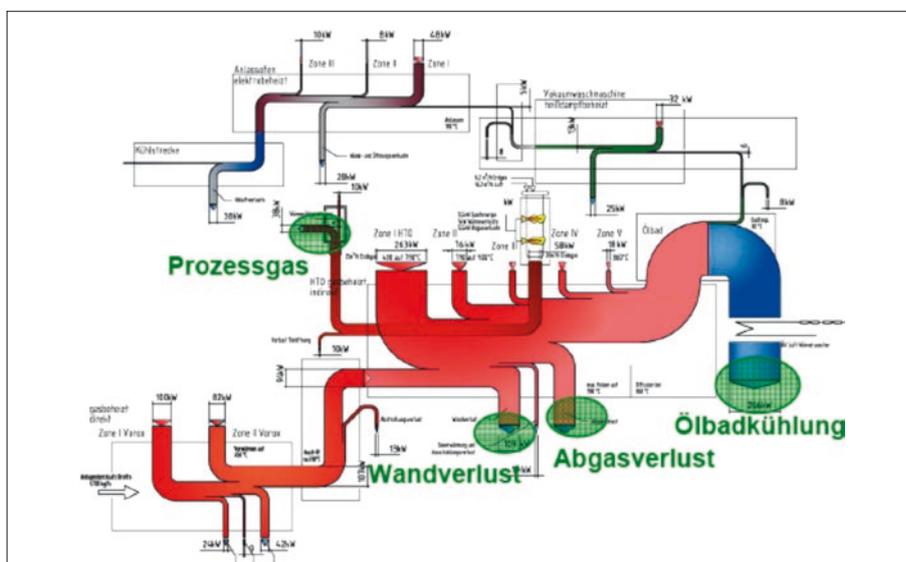


Bild 5: Energiebilanz über Sankey-Diagramm (Quelle: Aichelin)

Fig. 5: Energy balance via Sankey diagram

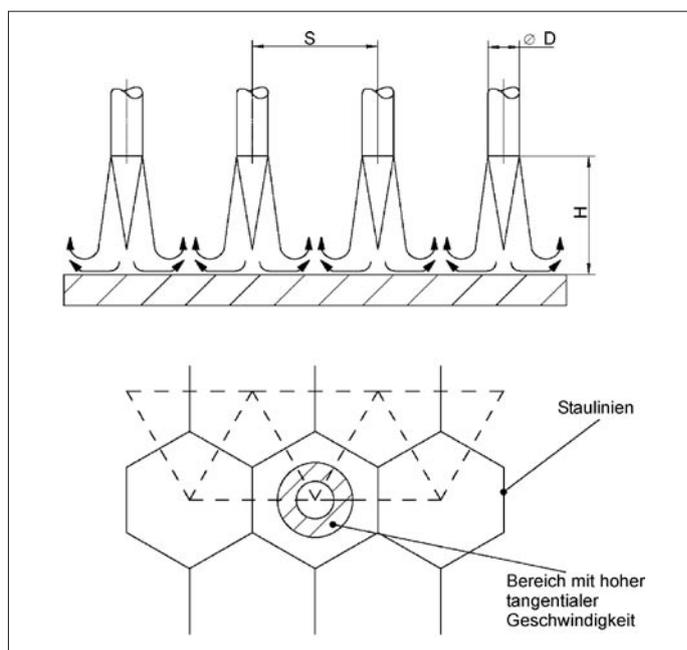




Bild 7: Düsenfeld für Prallströmung (Quelle BSN)
Fig. 7: Nozzle array for impingement flow

Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit beaufschlagt.

Die Geometrie und Anordnung der Düsenfelder wird durch Form und Größe des Bauteils bestimmt – auch beidseitig der Transportebene können Düsenfelder entsprechend angeordnet werden, um ein durchlaufendes Wärmegut beidseitig und damit effektiver mit Heißluft oder -gas zu beaufschlagen. Die Energiezuführung an eine Temperaturregelzone bzw. ein einzelnes Düsenfeld erfolgt beispielsweise durch Hochgeschwindigkeitsbrenner (ggf. mit integriertem Rekuperator) oder elektrischer Beheizung. Die gleichmäßige Verteilung der zugeführten Heißgase im Umwälzstrom wird durch ein spezielles Verteil- und Mischsystem gewährleistet.

Neben der hohen Erwärmungseffizienz zeichnet sich das Erwärmungsprinzip durch Prallströmung durch eine äußerst hohe Temperaturgleichmäßigkeit am Bauteil von nur ± 1 K aus. Diese Genauigkeit erreichen „klassische“ Umwälzöfen in der Regel nicht.

Das Prinzip der „Prallströmung“ kann in der Regel in allen Ofenanlagen (Kammeröfen, Rollenherdöfen, Förderbandöfen, Drehherdöfen etc.) eingesetzt werden. In **Bild 7** ist das Düsenfeld einer Ofenanlage dargestellt. Aufgrund der großen Ofenbreite sind hier 2 Düsenfelder nebeneinander angeordnet. Beide Düsenfelder sind jeweils mit Umwälzaggregate und eigenem Gasbrenner 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) ist analog natürlich auch ein sehr gleichmäßiges Abschrecken (Jet-Cooling) durch Abkühlen im Strahlungskanal möglich.

Die Intensität der Wärmestrahlung erfolgt in 4ter Potenz der absoluten Temperatur. Damit tritt eine intensive Wärmeübertragung durch Strahlung erst bei Temperaturen ab ca. 700 °C auf. Ein weiterer Aspekt bei der Betrachtung der Wärmeübertragung und damit auch der Energieeffizienz ist die Tatsache, dass bei konvektiver Erwärmung eine über den gesamten Temperaturbereich vorliegende geringe Leistungsdichte vorhanden ist. Der Wärmeübertragungswert α fällt mit steigender Temperatur, da mit steigender Temperatur auch die Dichte des Heißgases/der Heißluft abnimmt.

Bei der Prallströmung (Jet-Heating) unterliegt der Verlauf des Wärmeübergangs natürlich den gleichen physikalischen Gesetzen – das Niveau ist aber um den Faktor 3 bis 4 höher.

Der „Nutzen“ der Prallströmung ist dann besonders hoch, wenn das Aufnahmevermögen des Bauteils an Wärmestrahlung

(ϵ etwa 0,4 bis 0,5 bei z. B. 600 °C) gering ist. Mit Prallströmung ergibt sich in diesem Fall ein Wärmetransfer von ca. 140 W/m² und K sowie zuzüglich des Strahlungsanteils des Ofeninnenraumes von ca. 50 W/m² K. Die Wärmeübertragungswerte der reinen Strahlungserwärmung von 50 W/m² K und der von Konvektion von 40 W/m² K sind somit etwa um die Hälfte geringer.

Die Optimierung und die Steigerung der Umwälzung und der Strömung im Industrieofen sind daher wesentliche Aspekte der Energieeffizienzsteigerung. Ofenanlagen können somit in ihren Dimensionen deutlich kleiner ausgeführt werden; thermische Prozesse laufen entsprechend schneller ab.

Damit beträgt die Baulänge des Ofens mit Jet-Heating (bei den hier vorgegebenen kurzen Temperaturhaltezeiten von 5 Minuten) für dickwandige Tafeln nur ca. 30 % von dem eines reinen Strahlungsofens bzw. nur ca. 50 % eines klassischen Konvektionsofens (**Bild 8**).

Die Unterteilung der Ofennutzlänge in entsprechende Regelzonen und damit Düsenfelder ermöglicht eine sehr feine Einstellung des Temperaturprofils über die beheizte Ofenlänge. Über stufenlos in der Drehzahl einstellbare Ventilatoren kann zusätzlich die Erwärmungsintensität stetig gesteuert werden. Umwälzaggregate können in Phasen geringerer Durchsatzleistung auf geringere Drehzahl und damit energiesparend eingestellt werden. Sämtliche Heizzonen sollten mit Gasbrennern ausgestattet werden, die entsprechend der Anforderungen in den ersten Zonen durch höhere



Bild 8: „Jet-Heating“-Kammerofenanlage für Aluminiumbauteile (Quelle BSN)

Fig. 8: „Jet Heating“ chamber-furnace installation for aluminium components

Anzahl der Brenner eine höhere Heizleistung abgeben. Außerdem ist der Einsatz von Brennern mit integriertem Rekuperator in den ersten 5 Zonen des Ofens energieeffizient und damit wirtschaftlich. In der zweiten Ofenhälfte werden nur ca. 10 % der Gesamtwärmeleistung gefordert, so dass dort „einfache“ Kaltluftbrenner eingesetzt werden können.

Die bei Temperaturen von bis zu 1000 °C stattfindenden thermischen Prozesse des Einsatzhärtens oder Vergütens werden hinsichtlich der Wärmeübertragung im Wesentlichen durch die im Ofen von den Brennern oder auch elektrischen Beheizungen (ggf. Strahl- oder Mantelrohre) ausgehenden Strahlung beeinflusst.

Energieeffizienz – Optimierung des Isolieraufbaus

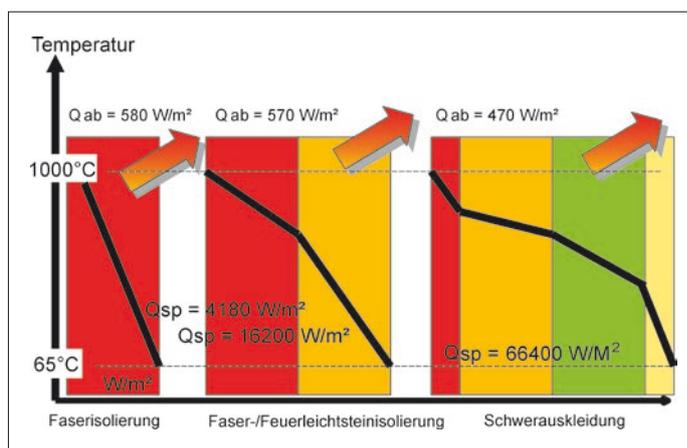
Bei Hochtemperaturprozessen kommt der Ofenisolierung eine ganz besondere Rolle zu, der durch den optimierten Einsatz von Isoliermaterialien (Faser, Wolle, Steine) in den letzten Jahrzehnten mit Reduzierung der Energieverbräuche von bis zu 30 % entsprochen wurde.

Durch die Wahl bzw. Kombination der Isolierstoffe wird die Eigenschaft des Ofens hinsichtlich Energieverbrauch, Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit, Energieverluste, Speicherwärme und somit Energieeffizienz wesentlich beeinflusst. Es gilt: leichte Isolierstoffe weisen eine geringe mechanische Festigkeit hingegen ein hohes Isoliervermögen und eine geringe 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.

Die Lebensdauer (Wartungsfreiheit) der Faseröfen ist gegenüber anderen Isolierungen geringer, da faserisolierte Öfen regelmäßig nachgearbeitet bzw. gestopft werden müssen, um das Isoliervermögen zu erhalten. Durch eine optimale Kombination verschiedener Isolierstoffe (Ausnutzung des Isoliervermögens, der Speicherkapazität, der mechanischen Festigkeit und der max. Anwen-

Bild 9: Unterschiedliche Isolierrückbauten im Ofenbau

Fig. 9: Various insulation structures in furnace engineering



dungstemperatur) kann man somit den Ofen auf seinen jeweiligen Einsatz optimal anpassen und hinsichtlich der Energieeffizienz optimieren.

So können beispielsweise durch den Einsatz mikroporöser Wärmedämmplatten (0,025 W/m K) als Hinterisolierung die Ofenwandverluste 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 3 bis 5 Jahren. In **Bild 9** sind exemplarisch für unterschiedliche Isolierrückbauten die Verlustwärmemengen bzw. Speicherwärmemengen dargestellt.

Energieeffizienz – Optimierung der Brennertechnik

Die Wirtschaftlichkeit und Effizienz eines Wärmebehandlungsprozesses hängt insbesondere vom Energieverbrauch pro Bauteile oder Gewicht ab. Moderne Industrieöfen erfüllen diese Anforderungen, und sie sind 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 haben sogar Wirkungsgrade von 85 % und mehr (**Bild 10**).

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 CO₂-Ausstoßreduktion bei gleichzeitiger Minimierung der NO_x-Emission.

Neben der generellen Verwendung von Hochleistungsbrennern ist in diesem Zusammenhang auch eine dem Prozess angepasste optimale Brennereinstellung notwendig. Ein (darüber hinausgehendes) sogenanntes „integratives Instandhaltungsmanagement“ hilft neben der Vermeidung von Maschinenschäden und ungeplanten Anlagenstillständen auch die in der Regel immer optimale Einstellung der Brenner unter Umwelt- und Energiegesichtspunkten zu gewährleisten.

Energieeffizienz – Optimierung der elektrischen Beheizung

Elektrische Widerstandsheizelemente 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

Bild 10: Rekuperatorbrenner (Quelle Noxmat)

Fig. 10: Recuperator burner



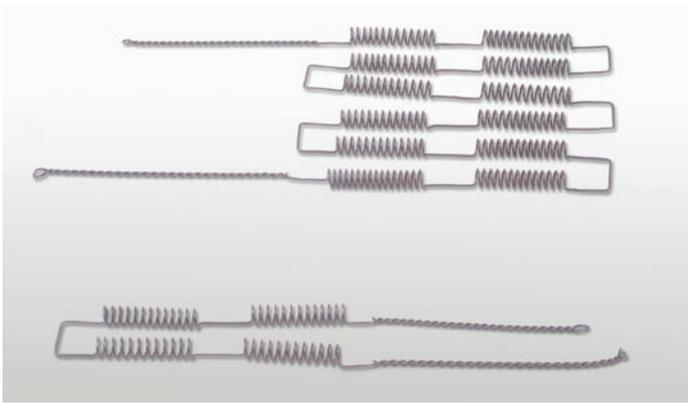


Bild 11: Heizelemente (Quelle Wendel-Tec)

Fig. 11: Heating elements

al. Letzteres bestimmt die maximale Anwendungstemperatur. Heizleitermaterialien lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen: metallische und keramische (**Bild 11**).

Zu den metallischen Heizleiterwerkstoffen gehören die seit langem genutzten Chrom-Nickel-Legierungen (CrNi), die bis etwa 1200 °C verwendbar sind, ferritische Chrom-Eisen-Aluminium-Legierungen (CrFeAl) für Temperaturen bis 1400 °C und die reinen Metalle Molybdän (Mo) und Wolfram (Wo), die bis über 1400 °C unter Schutzgas betrieben werden (**Bild 12**). Metallische Heizelemente (CrNi und CrFeAl) sind in einer Vielzahl von Ausführungsformen in Industrieöfen einzusetzen. Die wohl bekannteste und hinsichtlich maximaler Anwendungstemperatur, Lebensdauer und Energieeffizienz zu favorisierende Form ist die Platzierung auf keramischen Trägerrohren. Das Einlegen der Heizelemente in Rillen im Isoliermaterial ist fertigungstechnisch gesehen die oft kostengünstigere Variante, aber eben auch mit einer um etwa 50 °C reduzierten Ofentemperatur und dem Verzicht auf freie Wärmeabstrahlung verbunden.

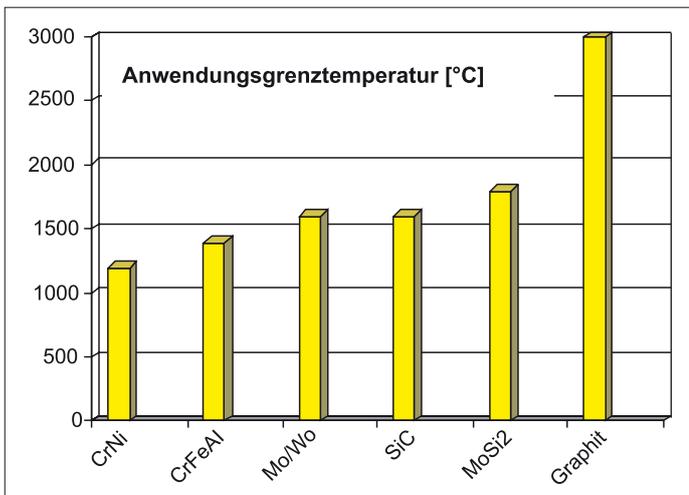


Bild 12: Anwendungsgrenzttemperaturen von Heizelementen

Fig. 12: Limiting temperatures for the use of heating elements

Bild 13: Energieeffizienzsteigerung, freie Abstrahlung der Heizelemente (Quelle Wendel-Tec)

Fig. 13: Enhancement of energy-efficiency, unobstructed radiation from heating elements



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 bedürfen keiner speziellen 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.

Bei den Heizelementen handelt es sich um 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 Materi-

Neben dem Material unterscheiden sich Heizelemente durch ihre Form. Metallische Elemente werden aus Drähten oder Bändern in verschiedenen Durchmesser 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 (**Bild 13**).

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. Die Elementbelastung ist die Leistungsdichte auf der Elementoberfläche. Grundsätzlich wächst die maximale Leistungsdichte an der Elementoberfläche nach dem Gesetz von Stefan-Boltzmann mit der vierten Potenz der Temperatur. Praktisch wird sie durch Rückstrahlung von den Ofenwänden und vom Erwärmungsgut stark begrenzt. Die Wandbelastung ist die auf die Wandfläche des Ofens konzentrierte Leistungsdichte. Für eine richtige und gleichmäßige Temperaturverteilung im Ofen müs-

sen 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 – Optimierung durch Wärmerückgewinnung

Die im Bereich der Thermoprozesstechnik vorliegenden großen Abwärmemengen gilt es besonders hinsichtlich der Energieeffizienz zu nutzen. Entsprechend einer ausgeglichenen Energiebilanz oder auch einer „Pinch“-Analyse, die eine Überlagerung aller wärmeaufnehmenden- und wärmeabgebenden Stoffströme im System erfasst, muss der Abwärmeleistung an Thermoprozessanlagen eine erforderlich äquivalente Kühlleistung entgegengestellt werden. Dieses geschieht in der Regel durch zwei unterschiedlich voneinander unabhängigen geschlossenen Kühlkreisen, um die für die Kühlung des Ofens (Dichtungen, Flansche etc.), der Ofensteuerung und Elektrik und der Kühl- bzw. Abschreckeinrichtungen erforderliche Kühlleistung bereitzustellen. Für die Auslegung und Bewertung dieser Rückkühleinrichtungen sind sowohl der Wasserbedarf der zu kühlenden Verbraucher, die erforderliche Kühltemperatur am Verbraucher und die zulässige Temperaturerhöhung zu berücksichtigen. In **Bild 14** ist z. B. eine Kühlwasser-einrichtung mit Wasseraufbereitung für eine Vakuumofenanlage dargestellt.

Die Kühlung erfolgt in diesem Fall über einen außen aufgestellten zentralen Kühlturm (**Bild 15** und **Bild 16**), der einen entsprechenden Tank speist und über einen Wasser-Wasser-Plattenwärmetauscher die Ofenanlage versorgt. Im Falle

Bild 15: Zentrale Kühlturmeinrichtung (Quelle Annen)

Fig. 15: Central cooling-tower installation

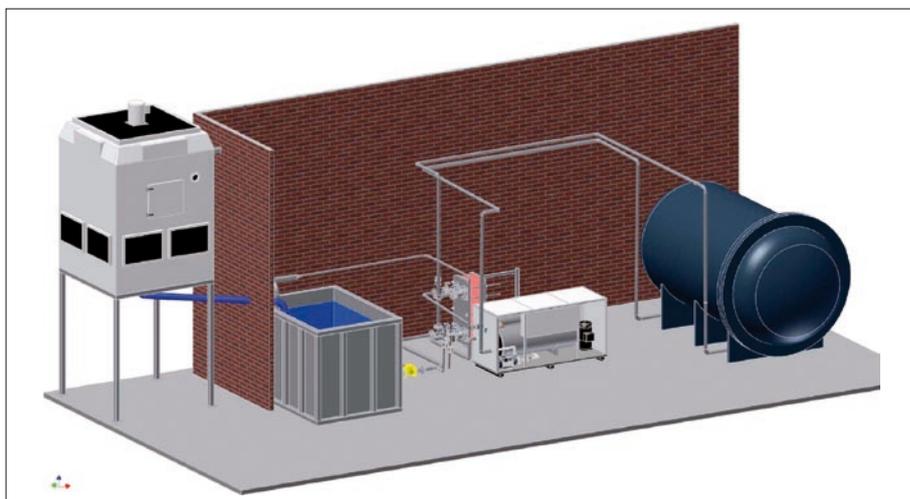


Bild 14: Kühlwassereinrichtung im Ofenbau (Quelle Annen)

Fig. 14: Cooling-water system in furnace engineering

besonders hoher Umgebungstemperaturen bietet sich der Einsatz sogenannter geschlossener Verdunstungskühltürme an, die mit „Feuchtkugeltemperaturen bei etwa 25 °C betrieben werden. Luft-Wasser-Kühler, die nach dem Autokühlerprinzip betrieben werden, werden bei Umgebungsbedingungen bis etwa 35 °C wirtschaftlich eingesetzt.

Abwärmemengen und entsprechende Kühlleistungen an Industrieöfen betragen nicht selten bis zu einigen Megawatt. Damit Wärme übertragen werden kann, muss eine thermodynamische Triebkraft vorliegen – das bedeutet die „warme“ Temperatur muss immer über der kalten Temperatur liegen. Gegebenenfalls ist mit einer Niedertemperatur-Wärmepum-

pe die Abwärme auf ein höheres Niveau zu transferieren, um die Wärmeenergie für Folgeprozesse auf niedrigerem thermischen Niveau überhaupt erst nutzbar zu machen.

Die „Wärmeenergie“ im Kühlwasser kann durch entsprechende Maßnahmen direkt genutzt werden. Die Nutzung hinsichtlich Hallenbeheizung hat sich bei Neuinstallationen bereits durchgesetzt (**Bild 17**). 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

Bild 16: Fließbild zur Abwärmenutzung an Industrieöfen (Quelle Annen)

Fig. 16: Flowsheet showing waste-heat utilization in industrial furnaces

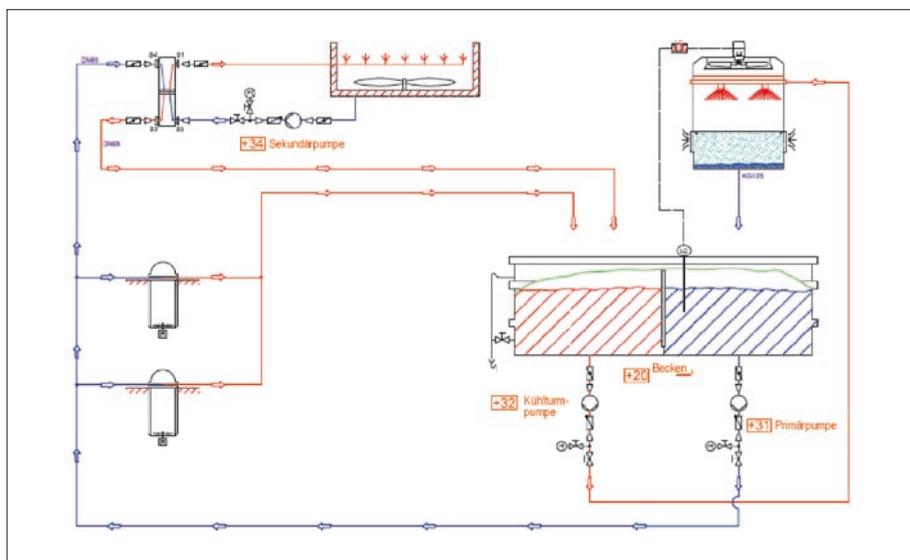




Bild 17: Hallenheizung mit Rückkühlleistung von 350 kW (Quelle Aichelin)

Fig. 17: Industrial-building heating system with recooling rating of 350 kW

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/Wärmetau-

scher betriebenen Maßnahmen durch Erhöhung der zulässigen Kühlwassertemperatur an den Verbrauchern verbessern.

Die Rückkühlung von Ölabschreckbädern erfolgt über Öl-Wasser oder Öl-Luft Plattenwärmetauscher, die entsprechend der Kühlung von Wasser in die Kreisläufe zu integrieren sind. Der weitere Abwärmenutzen kann analog oben Genanntem 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, welches bei Wahl geeigneter Systeme in der Regel kein Problem darstellt und zu Amortisationszeiten von 3 bis 5 Jahren führt (**Bild 18**).

Bei Abwärmenutzung von Ölbädern zur Trocknung (mit oder ohne Schwadenkondensator) an Durchstoßanlagen, die einen jährlichen Kühlwasserbedarf von etwa 20.000 m³ ist eine Energieeinsparung von etwa 15 bis 20 kW möglich, so dass mit Amortisationszeiten für diese Maßnahmen von 3 Jahren zu rechnen ist (**Bild 19**).

Konzepte zur energetischen Nutzung von Brennerabgasen (Abgastemperatur vor dem Wärmetauscher > 300 °C / nach

dem Wärmetauscher < 150 °C), die über Bypass und Luft-Wasser-Wärmetauscher zur Beheizung von beispielsweise Reinigungsanlagen eingesetzt werden können, amortisieren sich üblicherweise derzeit nach 4 bis 6 Jahren.

Fazit

Die umweltrelevante und vor allem effiziente Nutzung von Energie hat in den industriellen Prozessen zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Möglichkeiten der Effizienzsteigerungen ergeben sich zum einen aus der Optimierung von Einzelprozessen, zum anderen aus dem weitaus größeren Potential der „ganzheitlichen“ Betrachtung und Verbesserung von verketteten Prozess- und Fertigungsabläufen.

Die „anspruchsvolle“ Aufgabe besteht darin, prozessübergreifende Stoff- und Energieflüsse zu erfassen, zu bilanzieren und die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Energieeinsparung durch z. B. Verkürzung von Prozesszeiten, Energiespeicherung, Abwärmenutzung oder Energierückgewinnung zu nutzen. Dabei gilt es nicht nur die Wärme- sondern auch die Kühlprozesse zu verstehen und entsprechende Strategien unter Berücksichtigung des technisch Machbaren und der Einhaltung der Regelwerke und umweltrelevanten Anforderungen umzusetzen. Ganzheitliche Betrachtungsweisen der thermischen Prozesse unter Berücksichtigung aller Einflussgrößen sind dabei unerlässlich und ermöglichen schlussendlich technisch machbare und kaufmännisch interessante Lösungen zum Thema „Energieeffizienz“. Hier gilt es die Potentiale aus Wärmebehandlung, Ofenbau, Beheizungs- und Kühltechnik systemgrenzenübergreifend zu erkennen und zu nutzen. Möglichkeiten gibt es genug!

Literatur

- [1] Beneke et al.: VDMA/TPT: Seminar Energieeffizienz für Thermoprozessanlagen, 2009

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

Tel.: 02821 7153948
olaf.irretier@t-online.de
www.ibw-irretier.de

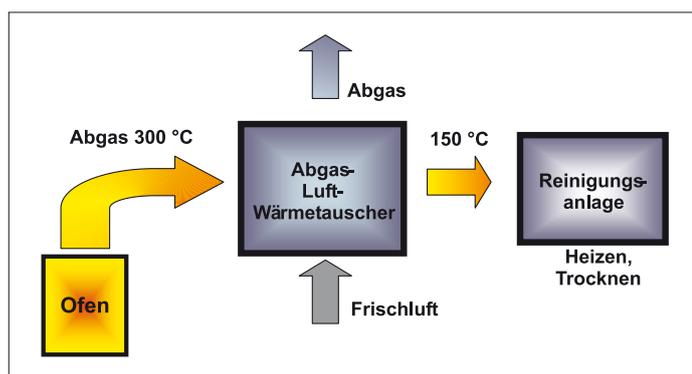


Bild 18: Abgaswärmenutzung zum Heizen und Trocknen einer Reinigungsanlage

Fig. 18: Utilization of heat recovered from waste-gas for heating and drying of a cleaning system

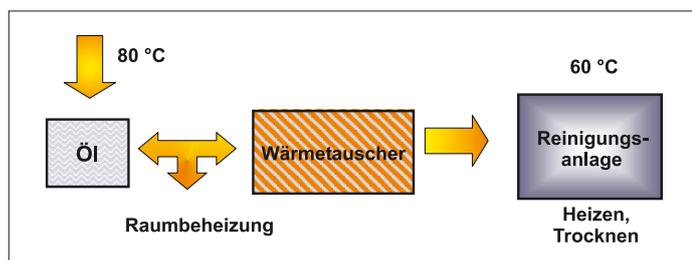


Bild 19: Ölbadrückkühlung zum Heizen von Räumen bzw. einer Reinigungsanlage

Fig. 19: Oil-bath recooling for heating of rooms and/or a cleaning system