

Retrofits an Kammeröfen mittels weiterentwickelter Plug & Play Rekuperatorbrenner

von **Dirk Mäder, Dirk Clever, Rolf Peekel, Reinhold Heizmann**

Retrofitmaßnahmen an Thermoprozessanlagen zur nachträglichen Effizienzsteigerung erfreuen sich immer größerer Beliebtheit und sind je nach Alter und Zustand der betroffenen Anlage auch zwingend erforderlich. Neben der Verbrauchsreduzierung an Erdgas gilt es, die gehobenen Qualitätsanforderungen zu erfüllen sowie die Sicherheitsaspekte der einschlägigen Normen und Verordnungen einzuhalten. Durch die oft sehr knapp bemessenen Kosten- und Zeitrahmen sind einer solchen Maßnahme meist enge Grenzen aufgezeigt. Der folgende Beitrag zeigt erfolgreiche Retrofitmaßnahmen am Beispiel von Schutzgas-Kammeröfen mit indirekter Beheizung, bei denen die Beheizungstechnik z. T. innerhalb kürzester Zeit komplett erneuert wurde und die Effizienz der Ofenanlagen deutlich gesteigert werden konnte.

Retrofits on chamber furnaces by means of advanced plug & play recuperator burners

Retrofit actions on thermoprocessing plants for subsequent increase of efficiency are becoming ever more popular and are also mandatory depending on the age and condition of relevant line. Further to the reduced consumption of natural gas, it is of importance to respect the ambitious requirements regarding quality assurance as well as the safety aspects of relevant standards and regulations. Due to the often very short cost and time frames such an action is mostly restricted by narrow limits. The following article describes successful retrofit actions taken by the example of inert-gas chamber furnaces with indirect heating where the heating equipment was in part completely renewed within the shortest time possible and the efficiency of furnace lines could be significantly increased.

Dafür verantwortlich, seine Anlagen auf dem aktuellen Stand der Technik zu halten, bzw. sie beispielsweise nach einer Gesetzesänderung dorthin zu bringen, ist einzig und allein der Betreiber, oftmals jedoch ohne es selbst zu wissen. Der in diesem Zusammenhang gern zitierte „Bestandsschutz“, also das Betreiben von Altmaschinen nach den zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens geltenden Rechtsvorschriften, ist rechtlich gesehen nicht existent. Das Arbeitsschutzgesetz und die Betriebssicherheitsverordnung sind zwingend einzuhalten [1].

Nicht selten allerdings werden insbesondere Thermoprozessanlagen, von denen naturgemäß ein nicht unerhebliches Gefahrenpotenzial ausgeht, ohne nennenswerte Optimierungsmaßnahmen betrieben, bis sie nicht mehr

wirtschaftlich sind und einfach verschrottet werden. Ihr Alter beträgt dann oft 20 Jahre und z. T. auch deutlich mehr. Die in der Zwischenzeit gestiegenen sicherheitstechnischen Anforderungen sind dann mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mehr erfüllt.

Retrofit

Retrofits, also die Modernisierung oder der Ausbau bestehender, meist älterer Anlagen und Betriebsmittel, verfolgen meist eine oder mehrere der folgenden Zielstellungen:

- Erhöhung der Anlagensicherheit
- Produktionssteigerung durch Senkung der Anlagenausfallzeiten
- Verbrauchsminimierung der Versorgungsmedien

- Verbesserung der Ofenklassifizierung
- Minimierung der Instandhaltungskosten
- Sicherstellung der Ersatzteilversorgung
- Erhöhung des Automatisierungsgrades
- Verbesserung des Handlings und der Chargenrückverfolgbarkeit
- Laufzeitverlängerung der Anlage.

Bezüglich der ersten sechs Punkte spielt die Brenner- bzw. Beheizungstechnik eine wichtige Rolle. Je nach Komplexität des Wärmebehandlungsprozesses kann schon der Ausfall eines einzelnen Brenners zu unzulässigen Temperaturabweichungen im Ofenraum führen und damit die Qualität der Charge entscheidend beeinträchtigen.

Bezüglich der Brennertechnik weisen Altanlagen oft folgende Probleme auf:

- Sicherheitsmängel bezüglich DIN EN 746-2
- Schlechtes Kaltstartverhalten bis hin zu Verpuffungen beim Brennerstart
- Störungsanfälligkeit
- Geringe Energieeffizienz
- Hoher Verschleiß / Teure und aufwändige Instandhaltung
- Erschwertes Handling bei Wartung und Einstellung
- Sicherstellung der Ersatzteilversorgung.

Viele Betreiber nehmen diese negativen Begleitumstände (oft aus Gewohnheit) als gegeben hin und finden sich schlichtweg damit ab.

Innovative Unternehmen dagegen, die sich mit neuen und umweltfreundlichen Technologien befassen, sind von sich aus an der Verbesserung ihrer Anlagen interessiert, sodass sie stets das Optimum an Qualität, Sicherheit und Energieeffizienz erreichen. **Bild 1** zeigt einen Einblick in



Bild 1: Moderner Härtereibetrieb mit zahlreichen branchenüblichen Kammerofenanlagen (Neuanlagen im Vordergrund)

einen modernen Härtereibetrieb in Süddeutschland mit zahlreichen branchenüblichen Kammerofenanlagen.

Bei Retrofitmaßnahmen wird in den meisten Fällen ein sehr kurzer ROI (max. 2 Jahre) erwartet, damit sie auch tatsächlich umgesetzt werden. Viele, mehr als sinnvolle Maßnahmen sind somit von vornherein chancenlos.

Allein durch die Einsparung an Brenngas durch den Einsatz moderner Brennertechnik rechnen sich die Kosten für ein solches Retrofit nur in den seltensten Fällen. Mehr oder weniger verdeckte Kosten, wie z. B. für den deutlich höheren Aufwand an Wartungstätigkeiten sowie für die erforderlichen Ersatzteile der alten Brenner, werden bei einer solchen Betrachtung oft nicht berücksichtigt, da sie schlichtweg nicht erfasst werden. Doch gerade diese können unter Umständen ausschlaggebend sein.

Keramische Brenner weisen bei Hochtemperatur-Beheizungsprozessen, wie sie in der Wärmebehandlung üblich sind, deutlich höhere Standzeiten auf als metallische. Entscheidend für die thermische Belastung ist bei der indirekten Beheizung nicht allein die Ofentemperatur, sondern auch die installierte Brennerleistung in Kombination mit der freien Abstrahlfläche der Mantelstrahlrohre. Generell reduziert sich die thermische Belastung mit geringerer Brennerleistung und größerer Mantelrohroberfläche. Ein Rekuperatorbrenner mit einer Anschlussleistung von 25 kW bewirkt beispielsweise bei einer Ofenraumtemperatur von 950 °C und einem Mantelstrahlrohr mit dem Durchmesser 130 mm und der freien Abstrahlhöhe von 1.200 mm eine Mantelrohrinnentemperatur von ca. 1.170 °C. Ein metallischer Rekuperatorbrenner wäre bei dieser Kombination bereits überlastet, sodass bei einer solchen Betriebsweise naturgemäß mit einem deutlich erhöhten Verschleiß an kostenintensiven Bauteilen wie Rekuperator, Brennröhre etc. zu rechnen ist. Ein keramischer Rekuperatorbrenner dagegen lässt sich problemlos dauerhaft bis zu einer Anwendungstemperatur von 1.300 °C einsetzen und ist für diesen Anwendungsfall deutlich besser geeignet.

Weiterentwicklung der Brennertechnik

Üblicherweise waren bei einem Umbau auf moderne Brennertechnik meist aufwändige Anpassungsarbeiten an folgenden Baugruppen erforderlich:

- Ofengehäuse (Brenner-/ Mantelrohrflansch)
- Ofendurchführung (Feuerfestisolierung)
- Anschlüsse der Versorgungsmedien (Gas- und Luftzuführung)
- Abgasanbindung
- Brennerposition zum Mantel-/ Flammrohr (Flammenaustritt des Brenners)
- Anpassung der Ofensteuerung.

Die Kosten für die neuen Brenner fielen bei einer solchen Maßnahme meist vergleichsweise gering aus. Der z. T.

erhebliche Umbauaufwand an den o. g. Baugruppen überstieg die Brennerkosten i. d. R. deutlich und machte die Maßnahme somit unwirtschaftlich. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben dies vielfach bestätigt, insbesondere bei Brennern an indirekt beheizten Kammerofenanlagen mit folgenden Parametern:

- Ofenraumtemperatur bis 980 °C
- Brennerleistungen zwischen 15 und 25 kW
- Mantelrohraußendurchmesser 130 mm (Schleuderguss) bzw. 127 mm (Keramik)
- Anschlussdrücke von 70 mbar (Gas) und 100 mbar (Luft)
- Rekuperatorlängen (Einstecktiefe) zwischen 377 und 557 mm.

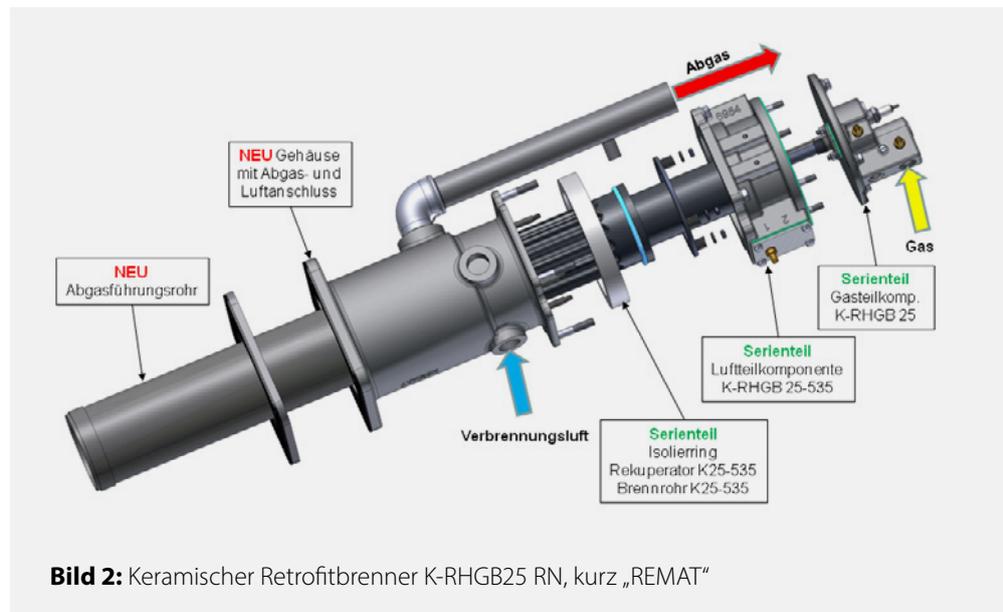


Bild 2: Keramischer Retrofitbrenner K-RHGB25 RN, kurz „REMAT“

Im Umkehrschluss musste die logische Zielsetzung daher lauten, den Brenner an den Ofen anzupassen und nicht umgekehrt, um so die Kosten für eine Retrofitmaßnahme entscheidend zu reduzieren und für den Betreiber erschwinglich zu machen. Daher wurde auf der Basis eines seit vielen Jahren bewährten und in großen Stückzahlen eingesetzten keramischen Rekuperatorhochgeschwindigkeitsbrenners mit einer Nennleistung von 25 kW durch die Anpassung zweier Bauteile eine besonders kostengünstige Retrofitvariante des Brenners entwickelt (**Bild 2**).

Dieser ermöglicht aufgrund der ähnlichen Bauart den Austausch eines einzelnen Brenners oder auch sämtlicher verbauter Brenner innerhalb kürzester Zeit. Der Umbau eines kompletten Ofens mit 12 Brennern und mehr wird somit innerhalb eines Tages ermöglicht.

Der Betreiber profitiert u. a. von einer extrem kurzen Stillstandszeit (minimaler Produktionsausfall) und einer Brennertechnik auf dem neuesten Stand. Sofern die Maßnahme im Rahmen einer ohnehin turnusmäßig anstehenden Wartung stattfindet und die kostenintensiven Ersatz- und Verschleißteile für die alten Brenner nicht mehr benötigt werden, reduzieren sich die tatsächlich anfallenden Kosten auf ein Minimum.

Dabei werden, sofern noch brauchbar, Mantel- und Flammrohr des bestehenden Brenners übernommen. Ein neu entwickeltes Gehäuse mit Abgas- und Luftanschluss sowie ein Abgasführungsrohr ermöglichen ein schnelles „Umstecken“ auf die vorhandene Befestigung. Die Brenneranschlüsse sowie die Gas- und Luftzuführungen können ebenfalls beibehalten werden – dies spart zusätzlich Installationszeit.

Variable Retrofitmaßnahmen sind möglich

Die folgenden Retrofitmaßnahmen wurden bei einem nam-

haften Betreiber in Süddeutschland an indirekt beheizten Schutzgas-Kammeröfen mit Rekuperatorbrennern verschiedener Baustände, wie sie in Wärmebehandlungsbetrieben häufig anzutreffen sind, durchgeführt. Sie zeigen, wie sehr sich der Umbauaufwand durch den weiterentwickelten keramischen Rekuperatorbrenner reduzieren lässt, und dass eine Retrofitmaßnahme somit im Handumdrehen wirtschaftlich wird.

Der Betreiber ist als Hersteller in den Industriezweigen Zahnrad- und Getriebetechnik tätig und besitzt ein eigenes Zentrum für Forschung und Entwicklung. Besondere Herausforderungen sind die hohen und z. T. sehr individuellen Anforderungen seiner Kunden. Die Wärmebehandlungsprozesse sind sehr variabel und genau auf die Produkte abgestimmt. Entgegen der meist üblichen Erwartungshaltung, dass insbesondere beim Aufheizvorgang eine möglichst große Brennerleistung erwünscht ist, war es in diesem Fall Wunsch des Betreibers, mit einer reduzierten Brennerleistung ein sehr nuanciertes Aufheizen zu realisieren, um eine maximale Qualität der sensiblen Werkstücke zu erzielen.

Sämtliche Ofenanlagen und Chargen können von einer hochmodernen Messwarte aus gesteuert und auf einen Blick überwacht werden (**Bild 3**).

Eine überaus umfangreiche Datenerfassung ermöglicht u. a. eine chargenbezogene Verbrauchsmessung, die zuverlässige Kennzahlen über den Zustand der jeweiligen Ofenanlage und auch über die aus den durchgeführten Maßnahmen erzielte Energieeinsparung liefert.

In **Bild 4** sind links die neuen Brenner auf einem Kammerofen zu sehen, an dem lediglich die Basisbrenner gewechselt wurden. Weitere Maßnahmen waren an dieser Anlage nicht erforderlich, sodass der Umbau entsprechend schnell erfolgen konnte.



Bild 3: Moderne Messwarte mit Visualisierung des gesamten Härterei-betriebes

Je nach Baustand der alten Brenner sind ggf. weitere Umbaumaßnahmen erforderlich. Besitzen sie beispielsweise noch einen integrierten Zündbrenner, ist es ratsam, das sichere Zünden und die stabile Betriebsweise der modernen Brenner zu nutzen, sodass die Zündbrenner als zusätzliche Störungsquelle entfallen können. Weiterhin empfiehlt es sich, die neuen Brenner mit einer Rundum-Taktsteuerung zu betreiben. Dies hat insbesondere Vorteile bezüglich der Brennereinstellung und der Emissionswerte. Sofern die verwendeten Komponenten der Gas- und Luftzuführung ein gewisses Alter erreicht haben, empfiehlt es sich ohnehin sie im Rahmen einer Retrofitmaßnahme auszuwechseln, um zusätzliche Störungsquellen bzw. Sicherheitsrisiken von vornherein auszuschließen. Bei Gasmagnetventilen beispielsweise, denen ohnehin eine hohe sicherheitstechnische Bedeutung zukommt, ist je nach Hersteller eine maximale Lebensdauer von 10 Jahren bzw. eine maximale

Schaltspielzahl von knapp 10.000.000 angegeben. Ist diese abgelaufen, besteht laut Herstellerangaben bei weiterem Betreiben ein Sicherheitsrisiko. Bild 4 zeigt rechts einen rundum erneuerten Kammerofen, bei dem zusätzlich zu den Brennern auch die Zuleitungen und Komponenten der Versorgungsmedien erneuert wurden.

Anhand eines häufig verwendeten Rezeptes mit jeweils exakt der gleichen Beladung wurden an dieser Anlage je 18 Messreihen vor dem Umbau mit den alten Brennern und nach dem Umbau mit den neuen Brennern durchgeführt und dokumentiert. Somit konnte eine Energieeinsparung von 20 % und eine Verkürzung des Wärmebehandlungsprozesses von 4 % nachgewiesen werden.

Bild 5 zeigt den Gasgesamtverbrauch je Charge. Die durchschnittliche Energieeinsparung beträgt 20 %. **Bild 6** zeigt die erzielte Gesamtdauer des Wärmebehandlungsprozesses vor und nach der Maßnahme. Die Durchschnittsdauer reduziert sich um ca. 12 min.

Step-by-Step-Retrofit

Generell gibt es vielfältige Kombinationsmöglichkeiten zwischen Brennern und Mantelrohren in Keramik- und / oder Stahlausführung, die bei der Auslegung von Neuanlagen besonders berücksichtigt werden sollten. Beim Umbau einer bestehenden Anlage ist es meist Wunsch des Betreibers, möglichst wenig zu verändern, sodass die denkbar einfachste Variante darin besteht, Mantel- und Flammrohre nicht durch neue zu ersetzen, sondern die vorhandenen Baugruppen unverändert weiter zu verwenden. Gleiches gilt für die in der Gas- und Luftzuführung verwendeten Komponenten.

Insbesondere aufgrund der geringeren Mindestanschlussdrücke der Versorgungsmedien des Remat-Brenners wird ein Austausch einzelner Brenner an einer Ofenanlage ermöglicht, sodass beispielsweise auch ein Step-by-Step-Retrofit realisiert werden kann. Der neue Brenner muss lediglich an die bestehenden Druckverhältnisse der Ver-



Bild 4: Blick auf zwei Kammeröfen nach dem Retrofit – links lediglich Austausch der Basisbrenner; rechts Austausch der Brenner inkl. Gas- und Luftzuführung sowie Brennersteuerung

sorgungsmedien angepasst werden, um den gleichen Wärmeeintrag in den Ofen zu gewährleisten, sodass es nicht zu Ungleichmäßigkeiten im Bereich der empfindlichen Ofencharge kommt. Da i. d. R. genügend mechanisch zu betätigende Stellglieder in den Leitungen der Versorgungsmedien des einzelnen Brenners vorhanden sind, ist dies meist überaus unproblematisch. Sollte dies nicht der Fall sein, so besitzt der neue Brenner eine integrierte Gasdüse, die entsprechend angepasst werden kann, um die gewünschte Brennerleistung exakt zu dosieren. **Bild 7** zeigt einen solchen neuen Brenner mit Übernahme der Anschlussleitungen inmitten der ursprünglich verbauten Brenner. Die Einsparung der neuen Brenner konnte bei paralleler Messung der Brenner direkt nachgewiesen werden. In diesem Falle betrug sie 8 %, bei einer Ofenraumtemperatur von 940 °C. Die Optimierung der Gas- und Luftversorgung der Brenner bietet Spielraum für weitere Einsparungen.

Aktuelle Sicherheitsaspekte müssen beachtet werden

In der Regel fehlt an den Brennern von Altanlagen, die vor Februar 2011 in Verkehr gebracht wurden, das zweite Gasmagnetventil je Brenner (Pkt. 5.2.2.3.3 DIN EN 746-2) sowie die Überwachung des ausreichenden Luftvolumenstroms in allen Betriebszuständen (Pkt. 5.2.2.5.1 DIN EN 746-2).

Fälschlicherweise wird noch immer häufig davon ausgegangen, dass das Hauptgasventil der Gasdruckregel-, Mess- und Sicherheitsstrecke, kurz GDRMS, der Thermoprozessanlage die erstgenannte Forderung der Norm erfüllt. Für eine Einbrenner-Anlage ist dies korrekt, sofern auch beide Ventile tatsächlich zeitgleich schließen, bei einer Mehrbrenneranlage jedoch nicht, es sei denn alle Brenner werden gleichzeitig ein- und ausgeschaltet. Bei einer Störschaltung eines Brenners müssen dann aber

auch tatsächlich beide Ventile augenblicklich schließen. Für eine Mehrbrenneranlage mit Taktsteuerung bedeutet dies, dass bei der Störung eines einzelnen Brenners neben dem einzelnen Brennerventil auch das Hauptgasventil schließen muss und somit die Beheizung der gesamten Anlage zwangsläufig abgeschaltet wird.

Um diesen unerwünschten Zustand zu verhindern, wird derzeit üblicherweise jeder einzelne Brenner mit einem Doppelgasmagnetventil ausgerüstet.

Ofensteuerung

Einen weiteren Schwerpunkt beim Retrofit beinhaltet die Modernisierung der Ofensteuerung durch Erneuerung der Schalt- und Regelanlage. Die Verwendung von modernen Industrie-PCs in Kombination mit speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) neuester Generation bildet die Grundlage innovativer Prozess- und Dokumentationsvari-

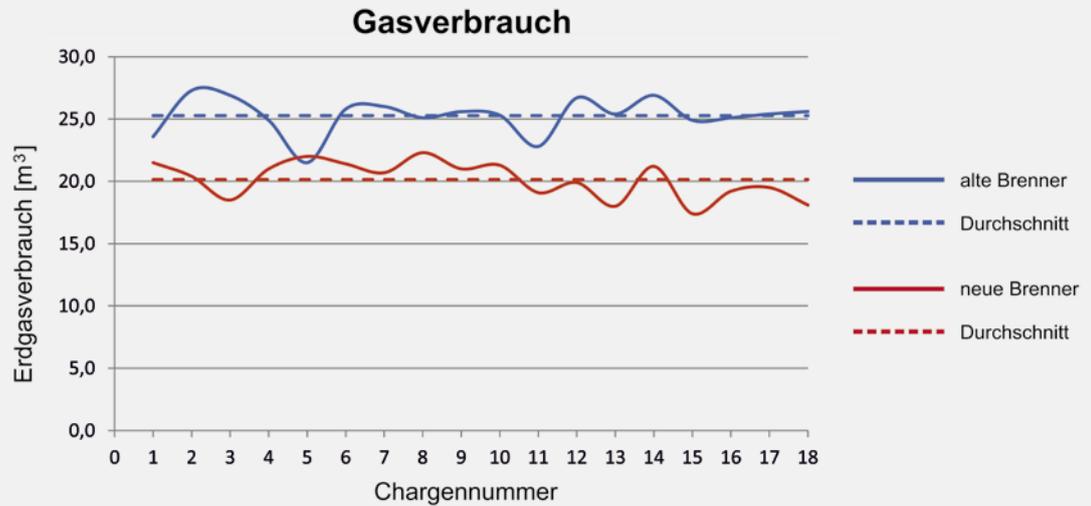


Bild 5: Gasgesamtverbrauch je Charge vor und nach dem Retrofit

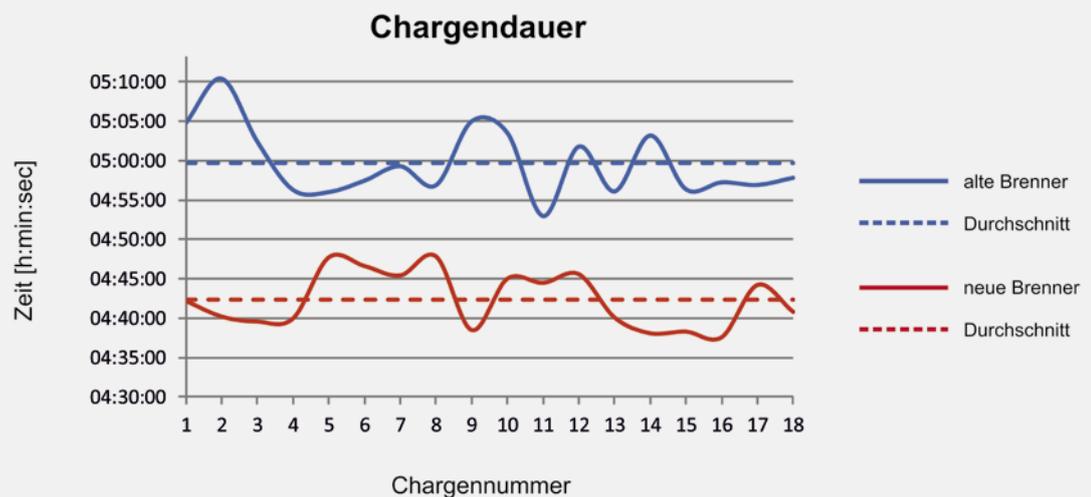


Bild 6: Gesamtzeit des Wärmebehandlungsprozesses vor und nach dem Retrofit



Bild 7: Austausch eines einzelnen Brenners, z. B. zum Probetrieb

anten. Der Dokumentation von Wärmebehandlungsprozessen, wesentlicher Bestandteil heutiger Kundenforderungen durch Vorgaben der CQI 9 (Automobilindustrie), oder AMS 2750 D (Luftfahrtindustrie), wird an dieser Stelle besonderes Augenmerk gewidmet.

Damit einher geht die komplette Erneuerung der Elektroinstallation, die durch negative äußere Einflüsse wie z. B. Wärme oder einen hohen Verschmutzungsgrad der Umgebung notwendig wird.

Die Ergebnisse dieser Maßnahme sind u. a. Produktonsicherheit, Ersatzteilverfügbarkeit, die deutlich komfortablere Bedienung und Programmierung, die Umsetzung der „Realtime-Diagnose“, d. h. Fernwartung durch externes Einloggen und Eingreifen des Serviceunternehmens in die Anlagensteuerung. Hier kann die gesamte Fehleranalyse und heute sogar eine Veränderung der Programmierung vorgenommen werden. Eine kurze Ausfallzeit bei Anlagenstörungen wird durch diese Option sichergestellt.

Der Automatisierungsgrad einer Altanlage lässt sich im Rahmen des Retrofit nahezu beliebig erhöhen, bis hin zu einer vollautomatischen Anlage mit der Integration von Fremd- oder Neuanlagen, Magazinen und Beschickungssystemen. Entscheidend sind dabei die Anforderungen des Betreibers [2].

Weitere Retrofitmaßnahmen

Neben der Erneuerung der Beheizungseinrichtung gibt es natürlich weitere Retrofitmaßnahmen, wie z. B. die Optimierung der Ofenisolierung und der Ofenabdichtung, die den Gasverbrauch spürbar senken. Die Verwendung frequenz geregelter elektrischer Antriebe z. B. für Pumpenmotoren, Heizkammer-Gasumwälzer, Ölumwälzer mit Strömungsführung und druckabhängige Verbrennungsluftversorgungen senken den Strombedarf im abgeregelten Zustand. Die

Wärmerückgewinnung für Trocknungsprozesse ist hier ebenfalls beispielhaft zu nennen [2].

Fazit

Das Retrofit einer Ofenanlage stellt eine preiswerte Alternative zur Anschaffung einer Neuanlage mit nahezu gleichem Ergebnis dar. Der Umbau auf moderne Brennertechnik wird dabei durch Plug & Play-Lösungen extrem vereinfacht, sodass sich derartige Maßnahmen mittlerweile innerhalb eines einzigen Tages durchführen lassen.

Die Ergebnisse sind höchste Anlagenverfügbarkeit und -sicherheit sowie geringere Betriebskosten, die sich nicht ausschließlich, aber natürlich auch deutlich in den Gasverbräuchen zeigen.

LITERATUR

- [1] Steck-Winter, H.; Treptow, F.: Rechtssicheres Retrofit von Thermoprozessanlagen. gwi – gaswärme international 5 (2013)
- [2] Peekel, R.; Rönnecke, H.-J.; Mäder, D.; Schmidthaus, J.: Retrofit an Wärmebehandlungsanlagen – eine Alternative zur Neuinvestition. gwi – gaswärme international 4 (2010)

AUTOREN



Dipl.-Ing. (FH) **Dirk Mäder**
NOXMAT GmbH
Hagen
02334 / 442358
maeder@noxmat.de



Dirk Clever
NOXMAT GmbH
Hagen
02334 / 441328
clever@noxmat.de



Rolf Peekel
HSH Härtetechnik GmbH
Kranenburg
02826 / 904011
r.peekel@hsh-gmbh.com



Reinhold Heizmann
IMS Gear SE & Co. KGaA
Donaueschingen
0771 / 8507538
reinhold.heizmann@imgear.com