

Modulare Wärmebehandlung beim Nitrieren und Niederdruckaufkohlen (Teil 1)

von **Gerald Hiller, Pierre Bertoni, Marco Jost, Olaf Irretier**

Die Vakuumwärmebehandlung und mit ihr das Vakuumhärten hat in den letzten Jahrzehnten eine immer größere Bedeutung erlangt. Ergänzend dazu stellt seit mehr als 30 Jahren die Niederdruckaufkohlung eine Alternative zu den herkömmlichen Verfahren der Aufkohlung dar. Ihre Verwendung, die lange Zeit durch technische und wirtschaftliche Probleme gebremst wurde, hat sich im Laufe der letzten 15 bis 20 Jahre auch in der Serienfertigung weiter etabliert. Neue Überlegungen und Anwendungen bringen nun die Verfahren des Nitrierens und Nitrokarburierens mit der modularen Vakuumhärte-technik zusammen. Der dreiteilige Beitrag verbindet die grundlegenden Betrachtungen zur Verfahrens- und Anlagentechnik mit den wirtschaftlichen und umweltrelevanten Faktoren. In Teil 1 wird die Anlagentechnik vorgestellt.

Modular heat treatment for nitriding and low-pressure carburising (part 1)

Vacuum heat treatment and especially vacuum hardening is getting more and more important in last decades. Additionally, low pressure carburising (lpc) is an interesting alternative to standard case hardening for 30 years. Although lpc was limited by technical and economic aspects for a long while, it was established into industrial quantity production in the last 15 to 20 years. Meanwhile new considerations and applications on nitriding and nitrocarburising implement these technologies in combination with the modular vacuum hardness technology in industry production. This report and the following will introduce the basic technical and economic aspects on this technology and show furthermore the advantages on environmentally friendly heat treatment. Part 1 handles the process technology.

Die Vakuumwärmebehandlung wie das Niederdruckaufkohlen oder das Löten aber auch das Nitrieren und Nitrokarburieren metallischer Bauteile wird durch die Parameter Zeit, Temperatur, Druck, Atmosphäre und Abschreckung bzw. Abkühlung bestimmt. Im Sinne der verbesserten Bauteilqualität, der Energieeffizienz als auch der Wirtschaftlichkeit können diese Prozessgrößen entsprechend an die Anforderungen angepasst und optimiert werden. Hier kommt der Industrieofentechnik die entscheidende Aufgabe zu, die Zielgrößen des Wärmebehandlungsprozesses zu unterstützen. Das bedeutet, die wirtschaftliche Herstellung eines auf eine bestimmte Weise behandelten Bauteils unter dem Gesichtspunkt der Eignung und Einsatzmöglichkeit sowie der maximalen Lebensdauer zu ermitteln.

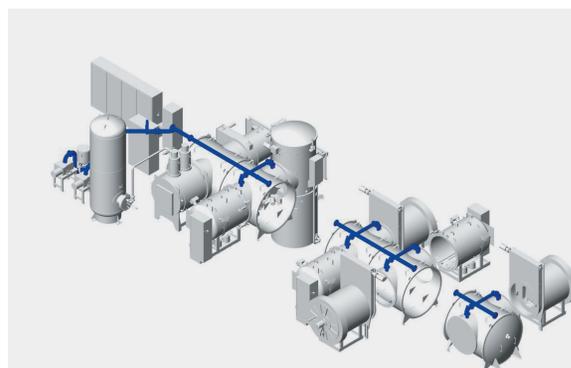


Bild 1: Multi Flex Anlage

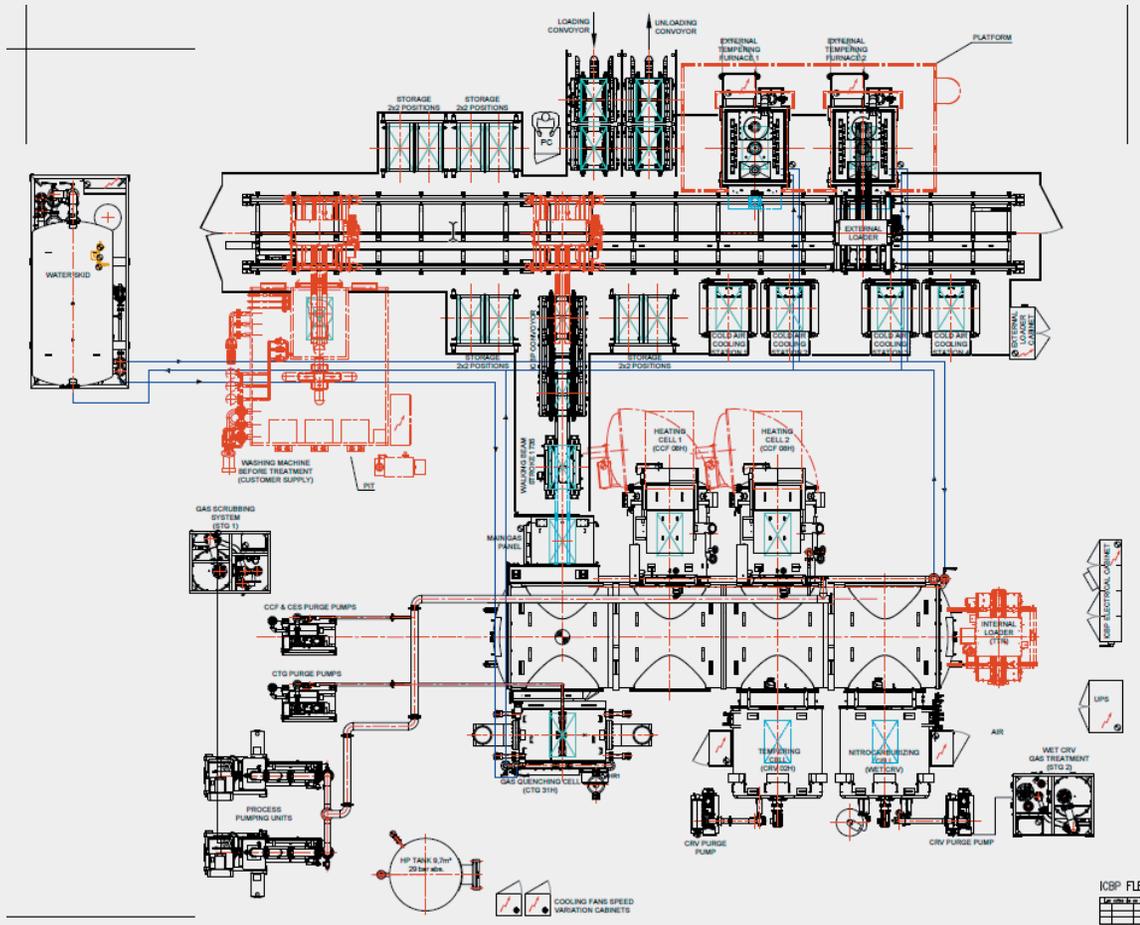


Bild 2: ICBP Flex mit Automation

Moderne Vakuumöfen sind generell flexibel im Aufbau ausgeführt und aufgrund des spezifischen Behälter- und Isolieraufbaus grundsätzlich als besonders energieeffizient einzustufen. Der vielerorts vorhandene Anspruch der Integration in die Fertigung kann aufgrund der sauberen Betriebsweise im Bereich der lean-Produktion umgesetzt werden. Branchen wie Werkzeug- und Formenbau, Luft- und Raumfahrtindustrie, Automobilindustrie und Medizinindustrie setzen vorrangig auf die Möglichkeiten dieser Technologie. Neben den klassischen Ein- oder auch Zweikammer-Vakuumöfen („Kalte-Kammer“) kommen heute vielfach bei größeren Teiledurchsätzen im Serienbetrieb vor allem modular aufgebaute und vollautomatisch betriebene modulare Mehrkammer-Vakuumofenanlagen zum Einsatz. Besondere Entwicklungen sind vor allem bei den modularen Vakuumhärteanlagen mit bis zu zehn Behandlungskammern zu verzeichnen und hier insbesondere beim Niederdruckaufkühlen mit anschließender Ölabschreckung, das in der Regel für niedrig legierte Baustähle, Einsatzstähle, Walzstähle oder auch für bestimmte Kaltarbeitsstähle verwendet wird. Diese Stähle benötigen höhere Abkühlgeschwindigkeiten als die Stahlsorten, die normalerweise

mit Überdruck-Gasabschreckung gekühlt werden. Das seit vielen Jahren bewährte und modulare Anlagenkonzept ICBP beispielsweise nutzt flexibel und modular einsetzbare kombinierte Aufheiz- und Niederdruckaufkühlkammern, Hochdruckgasabschreckkammern sowie Ölabschreckkammern. Diese Anlagentechnik ermöglicht im Bereich des Vakuumhärtens nahezu alle Bauteilvorgaben und Anforderungen und kann insbesondere für Lohnhärtebetriebe eine interessante Universallösung bieten. Breite Anwendung findet die modulare Vakuumofentechnik vor allem in der Getriebeindustrie beim Härten u. a. von Schalt- und Automatikgetrieben, stufenlosen Getrieben und Doppelkupplungsgetrieben. Zum anderen werden Antriebsstränge (Achsen, homokinische Gelenke), Common-Rail Einspritzsysteme (Injektoren, Pumpen), Wälzlager und Servolenkung im Niederdruckverfahren und in größeren Serien in der Automobil- und Luftfahrtindustrie gehärtet.

Modulare Vakuumwärmebehandlung

In den 1980er Jahren wurde die Niederdruckaufkühltechnik (NDA) von mehreren Unternehmen parallel entwi-

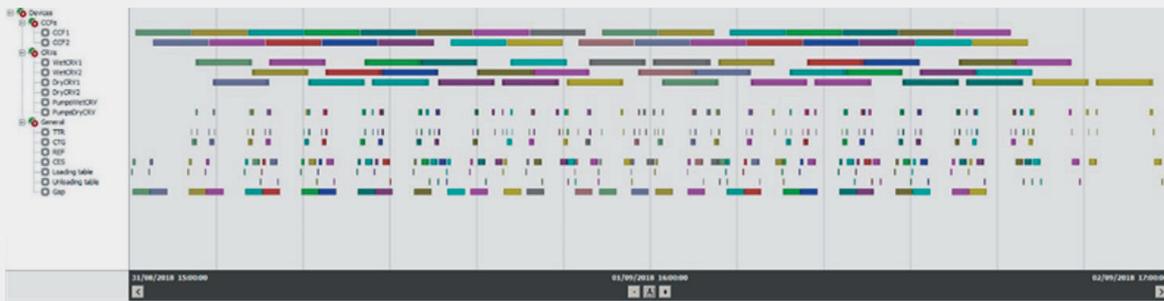


Bild 3: Grafische Darstellung der Ofenbelegung

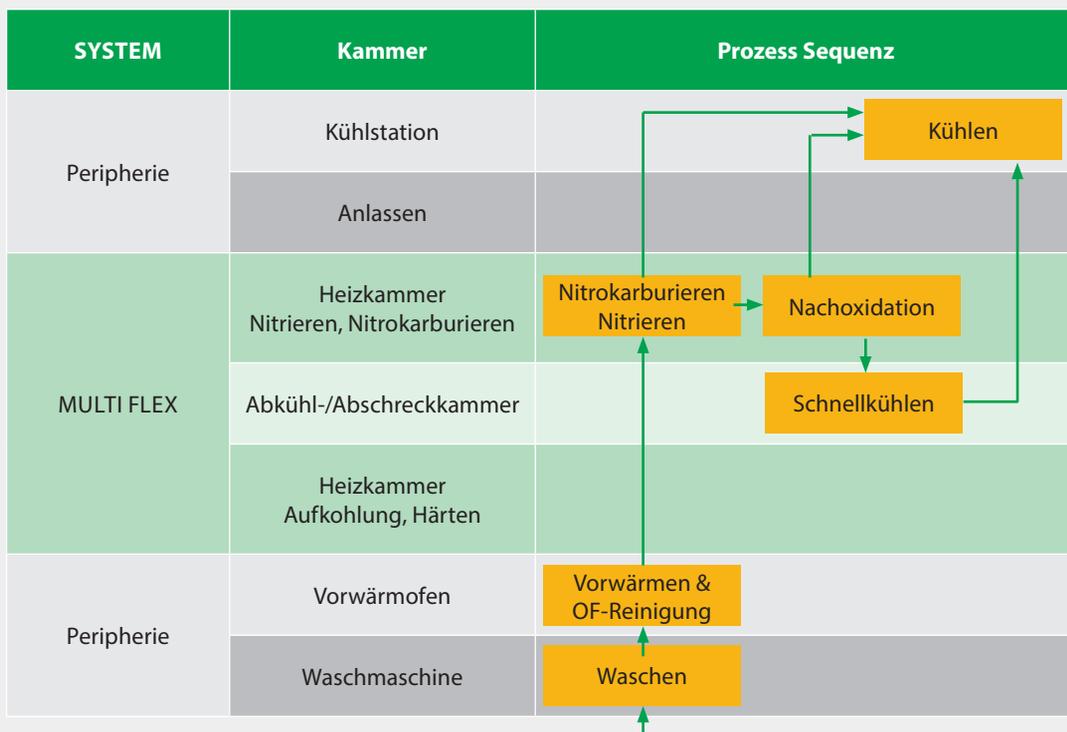


Bild 4: Sequenzielle Rezepterstellung: Nitrieren

ckelt. Konzentriert wurde sich auf den Einsatz im Ein- oder Zweikammer-System. Nachdem die ersten Erfahrungen gesammelt wurden, fokussierte ECM sich darauf, den Prozess für die Massenproduktion von Getriebebauteilen weiter zu entwickeln. Mit PSA ist das Konzept der modularen Anlagentechnik marktreif entwickelt worden. 1996 konnte weltweit die erste modulare Vakuumanlage zum NDA von Massenproduktionsbauteilen präsentiert werden. Die ICBP® Flex vereint alle Vorteile einer modernen Anlagentechnik: hoher Automationsgrad, gute Prozesskontrolle und hervorragende metallurgische Ergebnisse. Seitdem sind über 240 Anlagen mit 1.300 Heizkammern weltweit ausgeliefert worden (**Bild 1**).

Das Konzept

Das Aufbauprinzip einer modularen Vakuumanlage ist

seit 1996 bewährt und insbesondere in der Groß-Serienproduktion wie z. B. in der Automobilindustrie im Einsatz. Die Prozesse Beladen, Wärmebehandeln und Kühlen sind auf speziell dafür konstruierte Kammern aufgeteilt. Alle Kammern sind mit einem unter Vakuum operierenden Transportsystem verbunden, der den Chargentransport zwischen den Kammern übernimmt. Das gesamte System bleibt unter Vakuum, d. h. unter Ausschluss von Luft und somit Sauerstoff. Je nach Prozesstyp wird die ICBP Flex entweder mit zentralen oder dezentralen Pumpsystemen ausgestattet, d. h. jede Heizkammer wird über eine eigene Vakuumpumpe bedient. Es ist auch hier unumgänglich, bei Ammoniak-Prozessen die Sicherheitsbestimmungen einzuhalten. Je nach Anwender ist es auch möglich, einen zentralen Vakuumpumpstand, der über ein Rohrleitungssystem mit den Heizkammern verbunden ist, auszustatten.

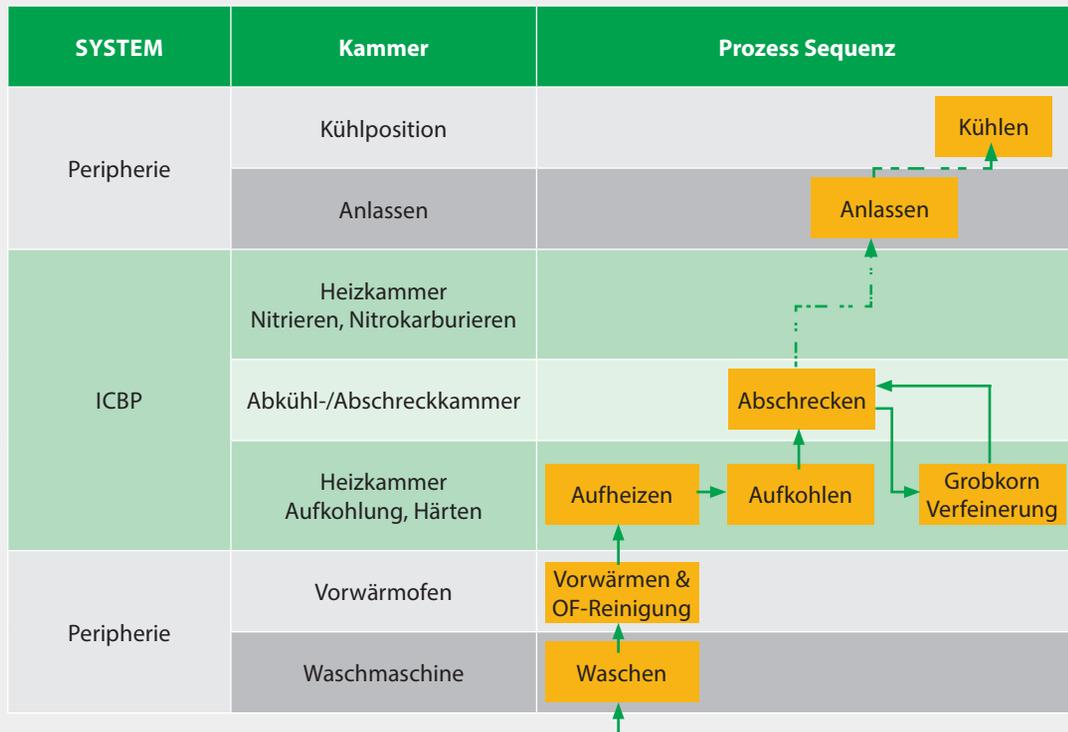


Bild 5: Sequenzielle Rezepterstellung: Aufkohlen

Vakuumpumpen übernehmen, je nach Prozess, das Zu- und Wegschalten der Heizkammer vom zentralen System. Es ist hervorzuheben, dass bei diesem modularen Anlagentyp, selbst bei sauerstoffsensiblen Prozessen wie beim Löten von Nickellöten, keine Diffusionspumpen notwendig sind.

Automation in der Peripherie

Einhergehend mit der Produktionskapazität und Kundenanforderungen kann eine Automation zum Be- und Entladen, Vorwaschen, Zwischenpuffern, Voroxidieren aber auch nachgelagerte Prozesse wie Anlassen durchgeführt werden (**Bild 2**). Der Vorteil liegt für den Anwender auf der Hand: Ist einmal die Charge aufgebaut, werden alle notwendigen vor- und nachgelagerten Prozesse automatisch durchgeführt. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Dokumentation der Prozesse, die massiv vereinfacht und chargenbezogen durchgeführt wird. Prüf-/Qualitätsberichte können mit einbezogen werden. Industrie 4.0 bietet hier noch weitere Möglichkeiten: Roboterbeladung, Bauteilerkennung, Visio-System zum Bin-Picking usw.

ECM-OTPT – Produktionsplanungs-Software

Die Auslastung eines Wärmebehandlungssystems, wie es die ICBP Flex ist, ist für jeden Anwender essenziell. Es scheint konträr, maximale Flexibilität und Produktivität zu vereinen. Gerade bei einer Multi-Prozessanlage, die viele unterschiedlichen Prozesstypen und -zeiten zu kombinie-

ren hat, wird die Produktivität leiden. Damit dieser Konflikt gelöst wird, ist der Einsatz modernster Produktionsplanungs-Software unumgänglich. Die ECM-OTPT Software analysiert alle Rezeptzeiten im Chargenlager vom Transportsystem und zerlegt die Rezepte in drei Abschnitte: Einschleusen – Wärmebehandlung – Abkühlen. Die Kammern zum Einschleusen und Abkühlen sind zentrale Kammern und bedienen mehrere Heizkammern. Aufgabe der OTPT ist es, die optimale Auslastung zu berechnen und damit Überschneidungen der zentralen Kammern zu vermeiden. In **Bild 3** ist die Ofenbelegung jeder Heizkammer (lange Balken) und die Kurzbelegung der zentralen Kammern optisch dargestellt. Durch die virtuelle Anordnung durch die OTPT Software werden alle vorhandenen Chargen im Chargenpuffer optimal angeordnet, um die höchstmögliche Produktivität des Systems zu erreichen. Der Anwender behält dennoch immer die Möglichkeit, wichtige Aufträge vorzuziehen. Das OTPT berechnet die optimale Prozessabfolge nach jedem manuellen Eingriff neu.

Erstellen von Rezept-Sequenzen

Damit eine modulare Prozessanlage ihre volle Flexibilität ausspielen kann, muss die Rezepterstellung genauso flexibel und für den Anwender transparent erstellbar sein. Die Rezepterstellung der ICBP Flex Anlage ist in einzelne Sequenzen untergliedert, die aneinandergereiht werden können. **Bild 4** zeigt die grafische Darstellung (Ableitung

vom Rezeptmanager). In der linken Spalte ist das System in Peripherie (Transportsystem, Waschmaschine, Anlassofen etc.) und die ICBP Flex mit ihren unterschiedlichen Heizkammern für die Prozesse (siehe Aufbau Heizkammer) und die Schnellkühlkammer unterteilt. Der Anwender erstellt ein Rezept, indem die einzelnen Sequenzen, wie in Bild 4 dargestellt, aneinandergereiht werden. In jedem Rezeptschritt werden Details wie Temperaturen, Zeiten und Rampen programmiert. Bild 4 und **Bild 5** heben die Flexibilität der ICBP Flex hervor. Selbst nach einem Hochtemperatur-Aufkohlungsprozess kann die Charge nach dem Abschrecken zurück in eine Heizkammer zur Grobkornverfeinerung gefahren werden. Hervorzuheben ist hier auch die Abschreckkammer. Durch den programmierbaren Abschreckdruck wird diese zum Abkühlen mit kleinen Drücken (1 bar) und bis zu 20 bar zum Härten eingesetzt. Die mitgelieferten Frequenzrichter für beide Turbinen lassen sich im Rezept mit Strömungsgeschwindigkeiten programmieren (0-100 %), damit die Bauteilverformung optimal beeinflusst werden kann.

Aufbau ICBP Flex Heizkammer

Aufgrund der unterschiedlichen Prozessanforderungen sind Heizkammern (**Bild 6**) entsprechend unterschiedlich aufgebaut. Während Heizkammern für höhere (> 800 °C) Temperaturen mit Graphitfilzplatten und Graphitwiderstandsheizung ausgestattet sind, sind für die niedrigen Temperaturen Edelstahlretorten im Ofen vorgesehen. Die hier eingesetzten NiCr Heizelemente sind außerhalb des Heizraums angebracht, um einen Kontakt mit den Prozessgasen zu vermeiden. Jede Heizkammer hat seine eigene Prozessgasführung mittels Massflow Controllern und Temperaturregelstrecken.

Ablauf ICBP Flex Chargentransport

Einschleusen

Das Be- und Entladen erfolgt durch die Einschleusekammer (EK) (**Bild 7**), die mit einem separaten Vakuumpumpstand ausgestattet ist. Zwei automatische, vakuumdichte Türen schließen die EK hermetisch ab. Das Chargiergut wird in die EK gesetzt und evakuiert, eine Unterbrechung der laufenden Prozesse in den Heizkammern bleibt ausgeschlossen. Ist der Ausgleich des Vakuums zwischen EK und Transportsystem hergestellt, öffnet die interne Tür automatisch.

Transport und Beladen der Heizkammer

Nachdem die interne Tür geöffnet wurde, übernimmt der Chargierwagen (**Bild 8**) mit seiner Hub-/Teleskopgabel die Charge zum Transport (**Bild 9**) in einer Heizkammer. Jede Heizkammer kann mit einer vakuumdichten Tür ausgestattet werden, sodass alle Heizkammern individuelle Prozesse (NDA, Härten, Nitrokarburieren etc.) mit unterschiedlichen Drücken, Temperaturen und Gasen durchführen können.

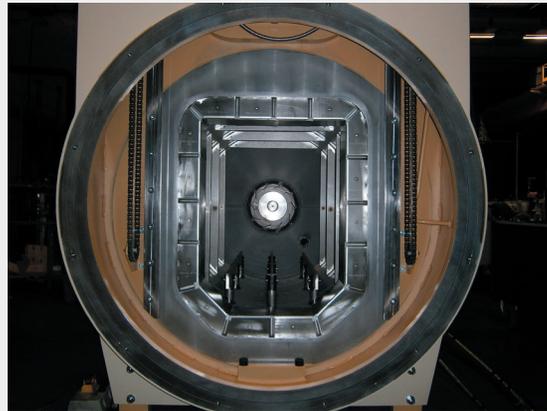


Bild 6: Nitrier-/Karburierkammer



Bild 7: Einschleusen

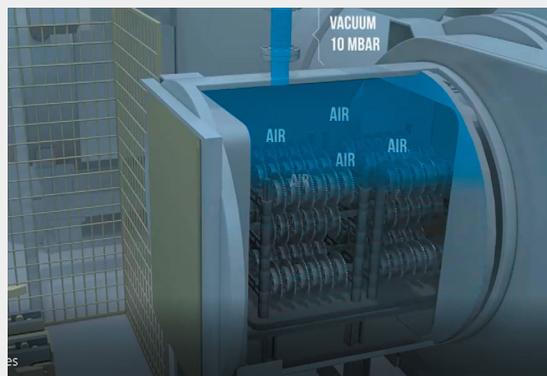


Bild 8: Evakuieren der Einschleusekammer

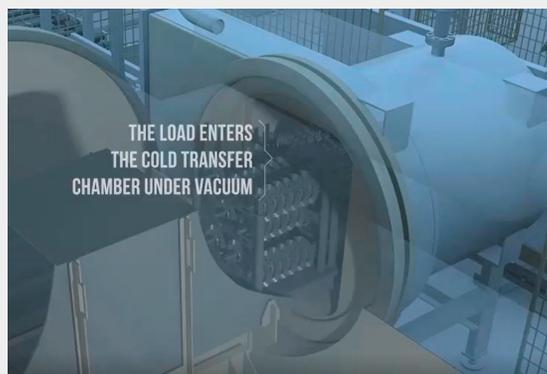


Bild 9: Übernahme in das interne Transportsystem

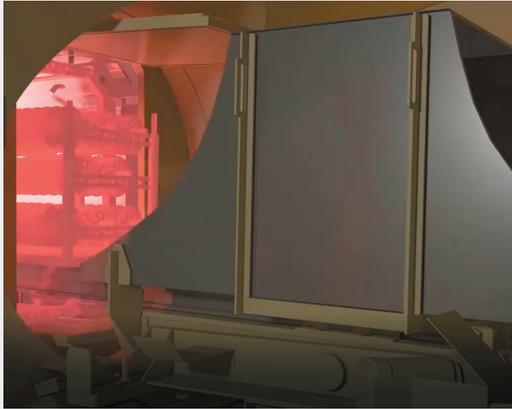


Bild 10: Beladen der Abschreckkammer

Bild 10 zeigt das Entladen in der Heizkammer.

Prozessstart

Sobald die Charge in der Heizkammer eingeschleust und die Tür geschlossen wurde, startet der Prozessablauf vollautomatisch. Prozessgase sind über die serienmäßigen

Massflow Controller überwacht und dokumentieren die Medienzugabe. Nach Prozessende erfolgt die gleiche Transportprozedur wie beim Beladen in umgekehrter Richtung. Unter Vakuumbedingungen wird die Charge in die Abschreckkammer transportiert und je nach programmiertem Druck abgeschreckt oder abgekühlt.

Industrie 4.0-Anbindung

Industrie 4.0 hat bereits in vielen Bereichen Einzug erhalten. Die Wärmebehandlungsindustrie, sei es als Anwender oder Anlagenbauer, wird sich auf erhöhte Kundenanforderungen einstellen müssen. Die ICBP Flex bringt bereits die notwendigen Voraussetzungen für eine optimale Anbindung und Betriebsweise mit.

In **Bild 11** ist eine Roboter-Beladezelle dargestellt, die mit neuester Bilderkennung ausgestattet ist. Mithilfe von modernen Kameras können heutige Systeme Bauteile anhand von Merkmalen, z. B. Anzahl der Zähne, Kerben etc., identifizieren und auf Chargenträger sortenrein beladen. Das sogenannte Teachen eines neuen Bauteils dauert ca. 2 h, damit sind alle Parameter abgespeichert. Das Visio System erkennt bei Wiederholung das Bauteil selbständig.

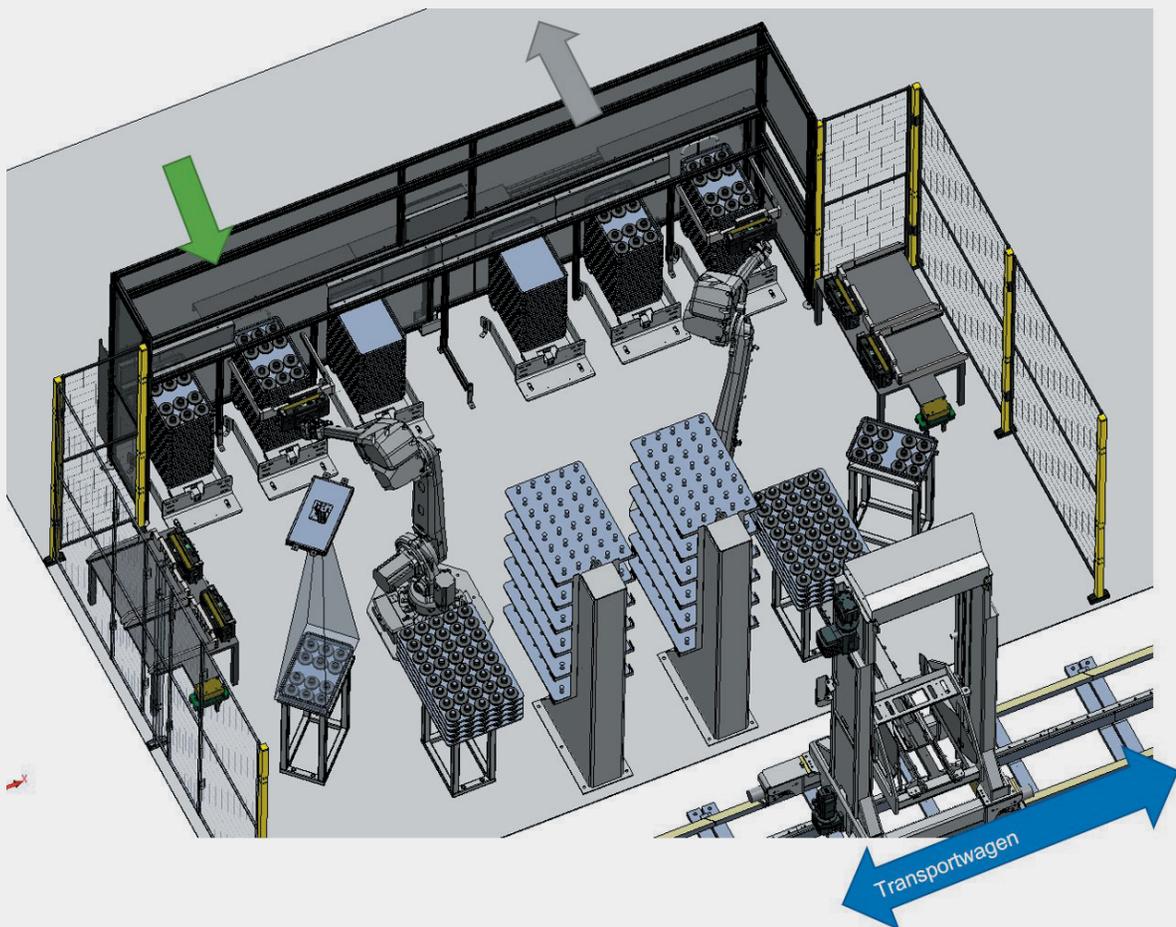


Bild 11: Roboter-Beladezelle

Das Bedienpersonal belädt die Zelle mit Grünmaterial und entlädt mit wärmebehandelten Bauteilen.

Die fertig aufgebauten Chargen können dann vom Transportwagen übernommen und zur ICBP Flex transportiert werden.

Im folgenden Teil 2 werden die Grundlagen der betrachteten Wärmebehandlungsverfahren thematisiert.

AUTOREN



Gerald Hiller
ECM GmbH
Offenbach-Waldhof
069 / 667788-065
g.hiller@ecmtech-gmbh.de



Pierre Bertoni
ECM Technologies
Grenoble, Frankreich
+33 (0)476 / 4965-60
p.bertoni@ecmtech.fr



Dipl.-Ing. **Marco Jost**
IBW Dr. Irretier GmbH
Düsseldorf
0177 / 23595-36
marco.jost@ibw-irretier.de



Dr.-Ing. **Olaf Irretier**
IBW Dr. Irretier GmbH
Kleve
02821 / 71539-48
olaf.irretier@ibw-irretier.de