

Modulare Wärmebehandlung beim Nitrieren und Niederdruckaufkohlen (Teil 3)

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 auch die Verfahren des Nitrierens und Nitrocarburierens mit der modularen Vakuumhärte-technik zusammen. Der dreiteilige Beitrag stellt die grundlegenden Betrachtungen zur Verfahrens- und Anlagentechnik in Verbindung mit den wirtschaftlichen und umweltrelevanten Faktoren vor. Teil 1 hat die Anlagentechnik vorgestellt (PW 5/2020) und in Teil 2 wurden die Grundlagen der betrachteten Wärmebehandlungsverfahren erläutert (PW 6/2020). Im abschließenden Teil 3 geht es um die umweltrelevanten Faktoren.

Modular heat treatment for nitriding and low-pressure carburising (part 3)

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 contribution (3 parts) introduces the basic technical and economic aspects on this technology and shows furthermore the advantages on environmentally friendly heat treatment. Part 1 presented the heat treatment plants (PW 5/2020) and part 2 dealt with the basics of the heat treatment processes (PW 6/2020). Part 3 at hand finally handles the economic aspects.

Die Vakuumwärmebehandlung wie das Niederdruckaufkohlen oder das Löten aber auch das Nitrieren und Nitrocarburieren 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 Industriefeintechnik nun die entscheidende Aufgabe zu, die Zielgrößen des Wärmebehandlungsprozesses, d. h. wirtschaftliche Herstellung eines

auf eine bestimmte Weise behandelten Bauteils unter dem Gesichtspunkt der Eignung und Einsatzmöglichkeit sowie der maximalen Lebensdauer, zu unterstützen.

Im Folgenden werden die umweltrelevanten Faktoren betrachtet, die bei der Anlagentechnik eine Rolle spielen.

Umweltschutz & Energieeffizienz

Das Klimaschutzprogramm 2030 [1]

Nicht weniger als 197 Staaten haben sich im Pariser Klimaabkommen 2015 dazu verpflichtet, die Erderwärmung auf



Bild 1: CO₂-Bepreisung

2 °C zu begrenzen sowie in der zweiten Jahrhunderthälfte eine weitgehende Treibhausgasneutralität zu erreichen. Die EU hat sich darauf geeinigt, den CO₂-Ausstoß bis 2030 um 40 % gegenüber 1990 zu reduzieren.

Damit die von der EU definierten Ziele erreicht werden, wurde bereits 2005 ein europaweites Programm für die großen Emittenten entwickelt. Für die Bereiche Industrie, Energie und EU-Flugverkehr (ETS) wurde ein EU-weites Emissionssystem eingerichtet, um den Treibhausgasausstoß um 43 % gegenüber 2005 im Jahr 2030 zu erreichen. Das Handelssystem regelt die Emissionen in den Mitgliedstaaten. Erreicht ein Staat seine Ziele nicht, muss er Zertifikate aus einem anderen Staat zuzukaufen. Die Einnahmen werden für Förderprogramme zur Reduzierung der Emissionen eingesetzt. Die fehlenden Sektoren wie Verkehr, Abfall, Gebäude, Kleinindustrie und Landwirtschaft (Non-ETS) werden in den jeweiligen Staaten geregelt. Auch hier haben sich die EU-Mitgliedsstaaten im Rahmen der EU-Klimaschutzverordnung verpflichtet, ihre definierten Jahresziele einzuhalten. 11 Mitgliedstaaten haben bereits eine CO₂-Steuer für den Non-ETS Bereich eingeführt. Aus diesem Grund wird in der Bundesrepublik ab 2021 eine entsprechende CO₂-Steuer auf diesen Sektoren eingeführt (**Bild 1**).

Die CO₂-Steuer fällt am Anfang mit 25 €/t moderat aus, steigt aber jährlich bis 2026 auf 55 €/t. Es ist davon auszugehen, dass die fünf Jahre zur Einführung von neuen Technologien und zur Eingewöhnung in der Industrie anzusehen sind, und dass nach 2026 eine massive Erhöhung der CO₂-

Steuer ein strategisches Ziel der Regierung ist, um die Emissionen weiter zu senken.

Energievergleich ICBP® Flex vs. Einkammer-Anlagentechnik am Beispiel des Nitrocarburierens

Die Gegenüberstellung der konventionellen Retorten-Einkammer-Vakuumanlagentechnik mit einer modularen ICBP® Flex wird hinsichtlich des Energieverbrauchs im Folgenden aufgezeigt. Dabei ist anzumerken, dass herkömmliche Nitrieranlagen manuell beladen und gestartet werden; bei modularen Anlagentechniken übernimmt die Automation diese Tätigkeit. Zeitunterschiede werden in **Tabelle 1** nicht berücksichtigt.

Aufgrund der Tatsache, dass bei Einkammer-Anlagen der Ofen immer im kalten Zustand be- und

entladen werden muss, muss die Retorte bei jeder Charge mit aufgeheizt werden, was sich in der Zeit und dem Energiebedarf widerspiegelt. Wir rechnen daher bei der ICBP Flex nur ein einmaliges Aufheizen der Retorte von 60 kWh, statt 60 kWh pro Charge, wie es bei einer Einkammer-Anlage notwendig ist. Die Prozesszeit ist identisch mit 120 min. Die weiteren starken Unterschiede finden wir in der aufgebrauchten Energie zum Kühlen. Während bei der Einkammer-Anlage jedes Mal die Retorte mitgekühlt werden muss, bleibt bei der Multi-Flex die Retorte warm und kann direkt wiederbeladen werden. Noch gravierender wird der Unterschied in der Abkühlzeit. Während der Vorgang in der Einkammer-Anlage 3 h dauert, wird die Abkühlung in der modularen Anlage einer separaten Kühlkammer vorgenommen, die Charge blockiert nicht die Prozesskammer. 5-15 min Abkühlzeit ist also eine versteckte Zeit, das bedeutet, dass die Prozesskammer direkt wieder beladen werden kann. Das bringt dem modularen Anlagenkonzept auch einen erheblichen Produktivitätsvorteil. Gemessen an der gesamten Zeit vom Be- bis Entladen, weist die ICBP Flex eine doppelt so hohe (+98 %) Produktivität (kg/h) auf bei 78 % weniger Energieverbrauch (**Bild 2**).

Energievergleich ICBP Flex vs. Einkammer-Anlagentechnik am Beispiel der Niederdruckaufkohlung

Vergleichen wir den zweiten thermochemischen Prozess, das Niederdruckaufkohlen (NDA) (**Bild 3**), so ergeben sich hier vergleichbare Energieeinsparungen. Diese können aus

Tabelle 1: Vergleich Prozesszeiten

	Modulare Anlage Multi-Flex	Einkammer-Anlage
	Charge 1.000 x 610 x 660	
	Bruttogewicht = 500 kg	
Aufheizen auf 580 °C	45 min	90 min
Energie Charge	45 kWh	45 kWh
Energie Retorte	60 kWh für einmaliges Aufheizen	60 kWh
Prozesszeit	120 min	120 min
Energie zum Kühlen der Retorte	0 kWh – in Kühlkammer	40 kWh
Energie zum Kühlen	10 kWh; 6 Nm ³ N ₂	100 kWh
Abkühlzeit	5-15 min versteckte Zeit	3 h
Be- und Entladen	5-15 min versteckte Zeit	idem

den gleichen Vorteilen wie beim Nitrieren hergeleitet werden. Der Abschreckvorgang ist beim Ölabschrecken weniger energieintensiv als beim Gasabschrecken. Während beim Öl lediglich die im Öl aufgenommene thermische Energie gekühlt werden muss, ist beim Gasabschrecken die hohe Energieaufnahme der Turbinen zu berücksichtigen. Nach dem Gasabschrecken ist zudem kein Waschen mehr erforderlich. Dieser Nachwaschgang ist in der Energieaufstellung beim Ölabschrecken berücksichtigt worden, weil er unerlässlich ist. Weitere Energieaufwendungen wie erhöhter Schleifaufwand durch die Oxidationsschicht, erhöhter Verzug (Schleifaufmaß) und Entsorgung von Altöl sind nicht weiter eingerechnet. Aber auch ohne die zusätzlichen Parameter zeigt sich ein eindeutiges Bild der Energieein-

sparung – Pro NDA. Des Weiteren erkennt man auch einen klaren Trend: Desto tiefer die EHT, umso energiesparender ist der NDA-Prozess in der ICBP Flex Anlage.

Energieeffizienz und Fördermöglichkeiten

Die Bundesregierung hat sich dazu verpflichtet, die CO₂-Emission auf 43 % der im Jahr 2005 ausgestoßenen Mengen bis zum Jahr 2030 im ETS Sektor zu reduzieren. In einer Stellungnahme der Bundesregierung ist der CO₂-Ausstoß im Sektor Industrie auf 188 Mio. t im Jahr 2016 bereits gesunken.

Damit das Ziel erreicht wird, wurden bereits Förderprogramme veröffentlicht, die Investitionen in energiesparende Produktion fördern. In der schriftlichen Fassung

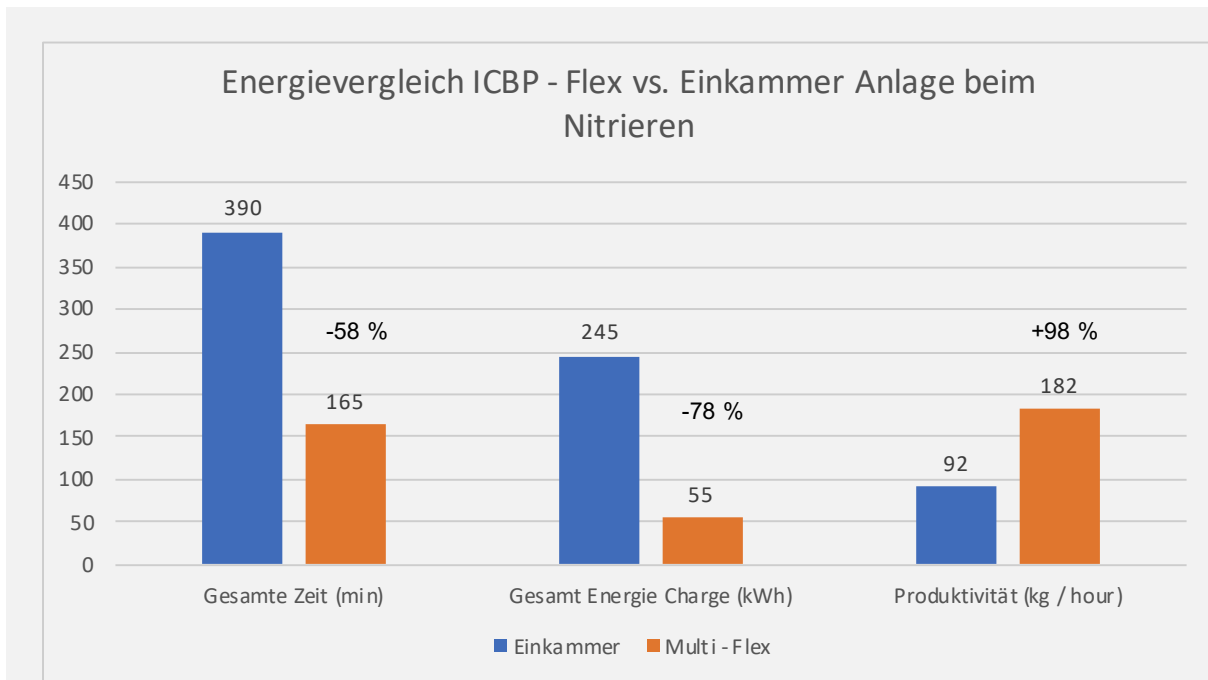


Bild 2: Energievergleich

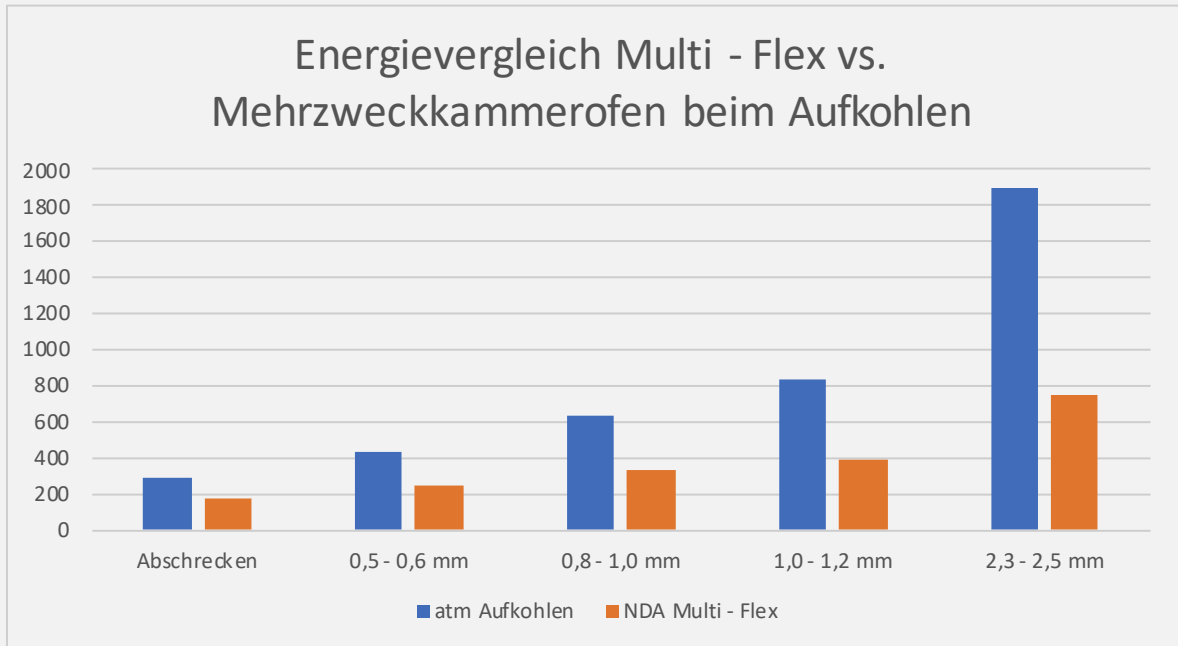


Bild 3: Energievergleich NDA

nach dem Klimakabinett heißt es in „Eckpunkte für das Klimaschutzprogramm 2030“ u. a. unter Maßnahme 40: „[...] Es werden insbesondere Investitionen in Maßnahmen gefördert, die auf komplexere und stärker auf eine systemische energiebezogene Optimierung der Produktionsprozesse ausgerichtet sind [...]“ **Bild 4** zeigt Maßnahmen, um

klimafreundliche Technologien voranzubringen.

Aus einem Strategiepapier der Bundesregierung geht hervor, dass die Elektrifizierung von Industrieanlagen vorangetrieben und das energieeffiziente Prozesse gefördert werden. Aus diesem Grund hat das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) ein Förderprogramm für die Einführung energieeffizienter Anlagen eingeführt. Im Modul 4 wird die energiebezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen beschrieben. Als Antragsteller kann man Zuschüsse für Investitions- oder auch Investitionsmehrkosten beantragen. Die Förderung wird anhand der eingesparten Tonne CO₂ pro Jahr, gegenüber einer anderen Anlagentechnik errechnet, wobei der Förderhöchstbetrag maximal 30 % von der Investition oder 500 € pro eingesparte Tonne CO₂ im Jahr beträgt. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) erhalten bis zu 700 € pro eingesparte Tonne CO₂ pro Jahr. Wichtig für den Antragsteller ist, dass das BAFA während der Projektphase eingebunden wird. Ein zertifizierter Energieberater errechnet die CO₂-Einsparung und legt damit die Förderquote fest.

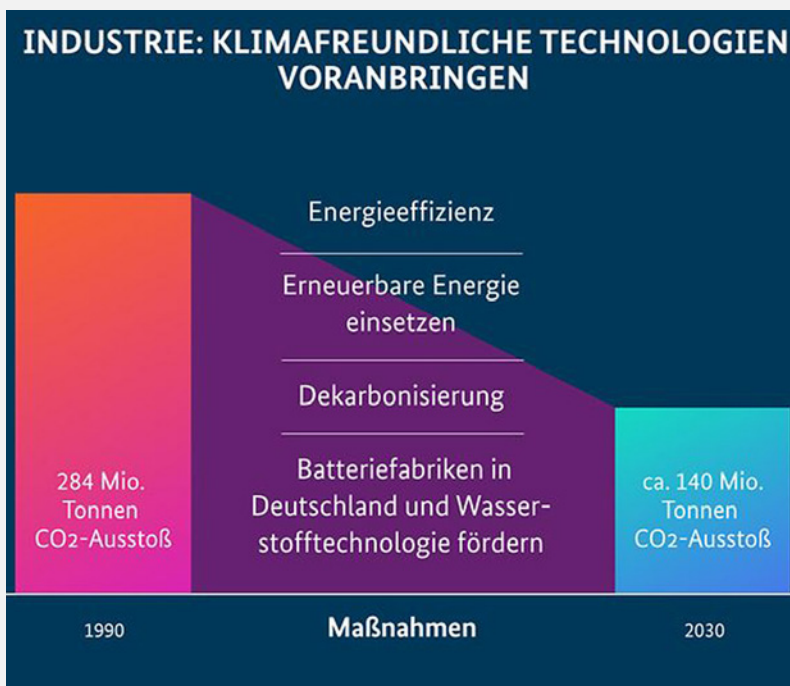


Bild 4: Klimafreundliche Technologien voranbringen (Quelle: Bundesregierung)

Tabelle 2: Vergleich Löten

Ofentyp	Vakuum Einkammer-Anlage	ICBP Flex
Chargengröße L x B x H in [mm]	1.000 x 2.000 x 1.200	1.000 x 600 x 750
Max. Bruttogewicht Charge [kg]	2.000	750
Prozess	Nickel Löten von Wärmetauschern	
Produktionsvolumen	6.000.000 WT/a	
WT pro Charge	700	192
Prozesszeit Charge [min]	480	265

Anhand eines Projektbeispiels legen wir die Energieeffizienz der modularen Anlagentechnik ICBP Flex gegenüber einer Einkammer-Anlage dar.

Projektbeispiel und Energievergleiche

Auf dem ersten Blick scheint die Einkammer-Anlage mit dem großen Ladevolumen im Vorteil zu sein (**Tabelle 2**). Wenn man aber die Produktionsdaten analysiert, fällt auf, dass sich mit größeren Chargenvolumen die Aufheizzeiten verlängern und der Wärmeverlust, mit verlängerter Zeit, die Energieeffizienz nach unten treibt.

Bei den aufsummierten Prozesszeiten (**Bild 5**) kann man drei Segmente herauslösen, die wesentliche Zeitunterschiede aufweisen:

- Grün: die Einkammer-Anlage muss bei jeder Charge neu evakuiert und aufgeheizt werden, während die

ICBP Flex unter Vakuum und Temperatur beladen wird.

- Orange: Aufheizen auf 1.130 °C aufgrund der besseren Isolierung der ICBP Flex und der kleineren Chargenmasse ist diese Zeit geringer.
- Blau: Die Abkühlzeit findet in der Einkammer-Anlage statt und blockiert diese für einen neuen Prozess. In der ICBP Flex findet die Abkühlung in einer separaten Kühlkammer (dunkelrot) statt und ist eine versteckte Prozesszeit.

Gehen wir einen Schritt weiter und sehen uns die Energieverteilung (**Bild 6**) während des Prozesses an, sind hier wesentliche Unterschiede in der Energieverteilung ersichtlich:

- Orange: Während die Einkammer-Anlage eine Diffusionspumpe erfordert, läuft die ICBP Flex ohne.
- Grau: Der Wärmeverlust ist in der Einkammer-Anlage

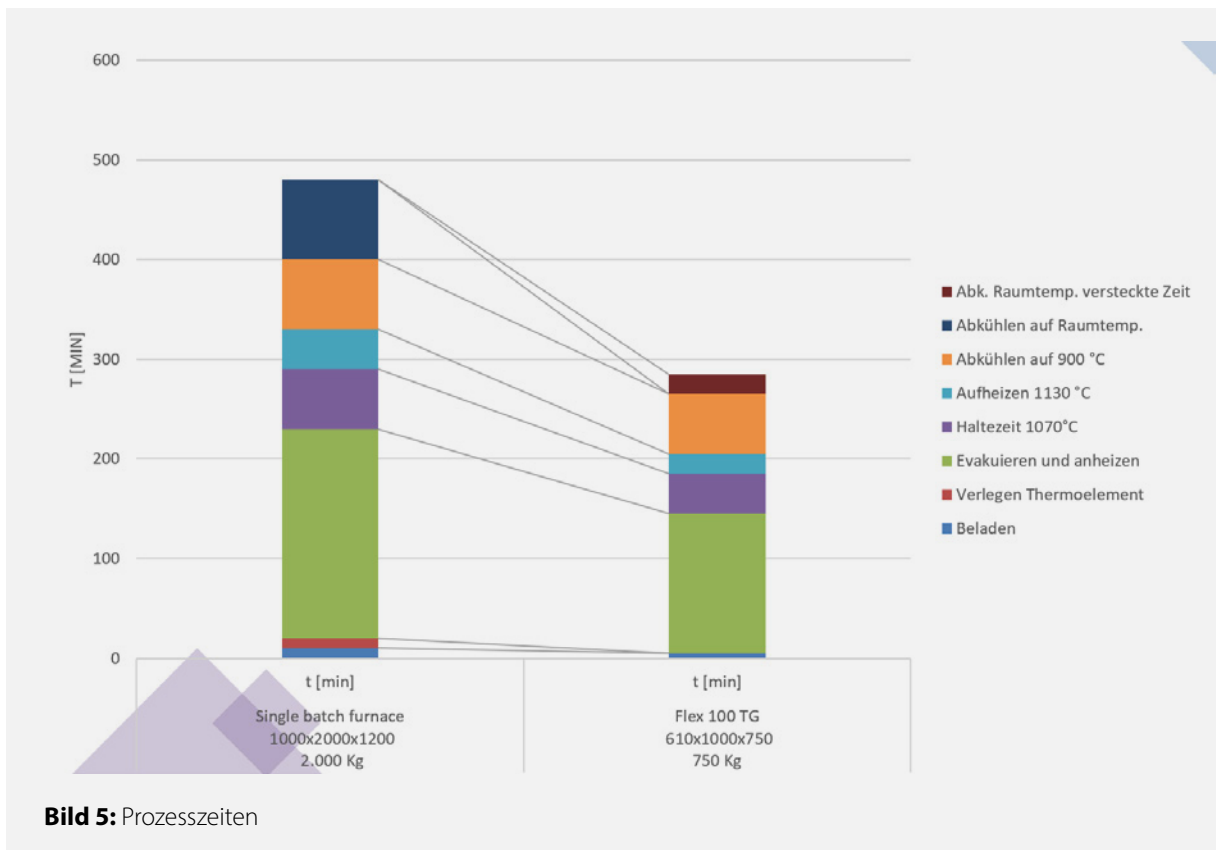


Bild 5: Prozesszeiten

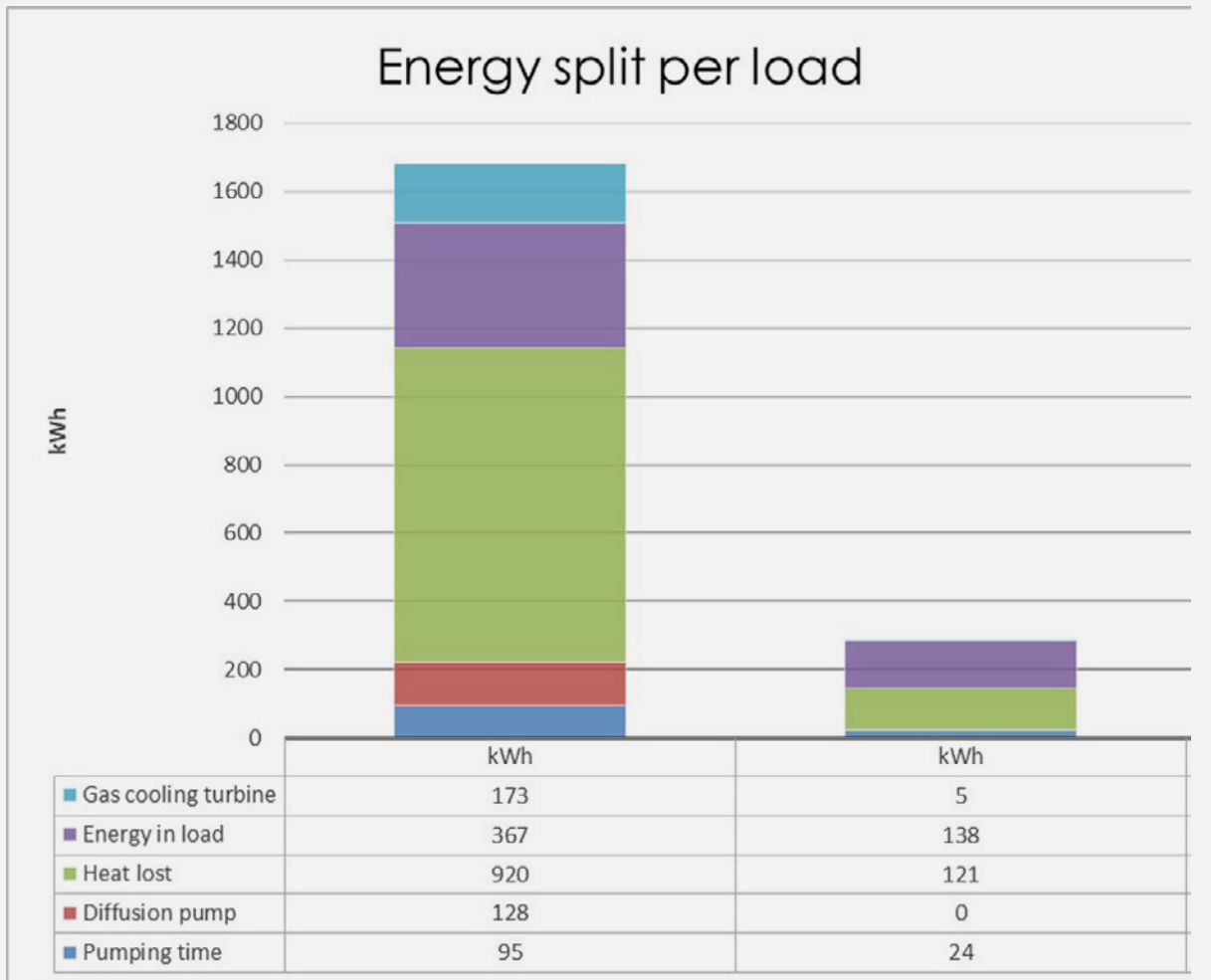


Bild 6: Energieverteilung

durch zwei Faktoren wesentlich höher: 1. Durch die verlängerte Prozesszeit und 2. Bauart bestimmt. Eine Einkammer-Anlage ist konstruiert zum Heizen und Kühlen. Damit beides (halbwegs) funktioniert, ist die Isolationsdicke nicht optimal ausgelegt. Die Heizkammern der ICBP Flex sind nur zum Heizen ausgelegt und haben eine entsprechende Isolationsdicke.

- Hellblau: Die Energie zum Abkühlen ist auch hier, in der Einkammer-Anlage, wesentlich höher. Die gesamte Anlage muss auf Raumtemperatur runtergekühlt werden, was enorme Energiemengen (Strom und Gas) verschlingt.

Die Energieaufnahme der Charge ist nur aufgrund der höheren Chargiermaße größer. Durch die längere Pro-

zesszeit ist die Energieaufnahme des Pumpstandes höher. In **Tabelle 3** sind noch einmal die wichtigen Parameter zusammengefasst. Der gesamte Energiebedarf pro Wärmetauscher beim Lötten ist in der ICBP Flex nur 1,5 kWh, d. h. 47,5 % weniger als in der Einkammer-Anlagentechnik.

Obwohl die ICBP Flex nur 192 Wärmetauscher pro Charge laden kann (- 73 %!), ist die Produktivität mit 43 WT/h Kammer nur um 51 % geringer. Es zeigt sich hier eindeutig, dass das Vergrößern des Chargenvolumens sich kontraproduktiv auf die Prozesszeit und Energie auswirkt.

Im Umkehrschluss sind 1,4 Vakuum-Einkammer-Anlagen für die Produktion von 6 Mio. Wärmetauschern im Jahr nötig. Die ICBP Flex benötigt 2,9 Löt-kammern und die Energiemenge ist mit 1.014.261 kWh um 38 % niedriger

Tabelle 3: Gesamter Energiebedarf

Total Energie/Charge	1.683 kWh	288 kWh
WT pro Charge	700	192
Gesamt Energie/ WT	2,4 kWh	1,5 kWh

Tabelle 4: Produktivität

	Einkammer-Anlage	ICBP Flex 300 TG
WT pro Charge	700	192
Prozesszeit Charge [min]	480	265
Produktivität: WT/h/Kammer	87,5	43
Anlagenverfügbarkeit @90%, 5.400 h	472.500	234.747
Anzahl benötigter Kammern bei 6 Mio. WT	1,4	2,9
Anzahl Chargen/a	966	3.522
Gesamt Energiebedarf [kWh]	1.625.715	1.014.261

als in der Einkammer-Anlage. Auf dem ersten Blick mag die doppelte Anzahl an Löt-kammern ein Nachteil sein. **Tabelle 4** zeigt die Produktivität auf: Bei einer Prozesszeit von 265 min und drei Löt-kammern erreicht die modulare Anlage einen Produktionsfluss von 88,3 min/Charge gegenüber von 240 min bei der Einkammer-Anlage. Das bedeutet, dass wesentlich öfter und regelmäßiger die Produktionsverkettung läuft. Kleinere Chargen sind schneller und leichter auf- und abgebaut von den Mitarbeitern und als letztes ist der Platzbedarf einer ICBP Flex 300 identisch mit zwei Vakuum-Einkammer-Anlagen. Hinzu kommen die vielfältigen Automationsmöglichkeiten einer modularen Vakuumanlage, die bis hin zur automatischen Leckprüfung und Dokumentation der Wärmetauscher reicht.

Nach der energetischen- und Produktionsbetrachtung sind jetzt auch die Berechnung für die Fördermöglichkeiten zu führen. Wir müssen darauf hinweisen, dass das BAFA die individuelle Förderquote projektbezogen berechnet.

Das BAFA legt in den Maßnahmen zur Förderung der Energieeffizienz eine maximale Förderung der Investition von 30 % fest oder 500 € pro eingesparter Tonne CO₂ im Jahr. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bekommen einen Zuschuss von 10 % oder 700 €/t CO₂, je nachdem was günstiger ist für das BAFA. Zu den einmaligen Förderungen (**Tabelle 5**) kommen jährliche Energieeinsparungen von 611.454 kWh x 0,14 €/kWh = 85.603 € hinzu.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Vakuumwärmebehandlung als auch die Verfahren des Nitrierens und Nitrocarburierens haben in den letzten Jahren eine besondere Weiterentwicklung und Akzeptanz erfahren. Waren vor etwa 20 Jahren nur spezielle und beispielsweise nur besonders anspruchsvolle Bauteilanforderungen bei kleineren Serien ein Beweggrund für die Auswahl des Vakuumhärtens mit verbundener Niederdruckaufkohlung, so kann heute mithilfe modularer Vakuumhärteanlagen in Großserie und unter wirtschaftlich interessanten Bedingungen gedacht werden. Zudem wird bei der Auswahl eines geeigneten Wärmebehandlungsverfahrens der Gedanke der Umweltfreundlichkeit und der Energieeffizienz immer größer, welches durch verfahrensbedingte geringe Gasverbräuche mit der Vakuumhärte-technik und der Förderbarkeit durch Kommunen, Länder und der EU ebenfalls bestens entsprochen wird. Ein weiterer guter Grund für die Auswahl dieser Technik ist der vielerorts vorhandene Anspruch der Integration in die Fertigung, der aufgrund der sauberen Betriebsweise im Bereich der lean-Produktion umgesetzt werden kann.

Die genannten Verfahrensvorteile haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass auch die Ofen- und Anlagentechnik den gesteigerten Anforderungen der Industrie insbesondere hinsichtlich Bauteilqualität, Teiledurchsatz und Kapazität, aber auch Anlagenverfügbarkeit und Wartungsfreundlichkeit nachgekommen wird. Neue Systeme, insbesondere das modulare ICBP Vakuumhärtesystem von

Tabelle 5: Fördermöglichkeit (*Vorgaben Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA))

	Einkammer-Anlage	ICBP Flex 300 TG
Gesamt Energiebedarf [kWh]	1.625.715	1.014.261
CO ₂ Umrechnungsfaktor*	0,537	
CO ₂ [t/a]	873	545
Differenz [t/a]		328
Förderung 500 €/t		164.176 €
KMU Förderung 700 €/t		229.846 €

ECM, liefert hier höchste Standards und bietet einen weiteren Schritt in eine moderne, umweltfreundliche und damit zukunftsgerichtete Wärmebehandlung.

LITERATUR

- [1] <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/co2-reduktion-industrie-1672904>
- [2] <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/997532/1673502/768b67ba939c098c994b71c0b7d6e636/2019-09-20-klimaschutzprogramm-data.pdf?download=1>
- [3] https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_modul_4_oap_merkblatt_tma.html
- [4] Merkblatt 447 Wärmebehandlung von Stahl – Nitrieren und Nitrocarburieren, Ausgabe 2005, ISSN 0175-2006, Herausgeber: Stahl-Informations-Zentrum, Dr.-Ing. D. Liedtke
- [5] Gräfen, W.; Hoffmann, F.; Liedtke, D.; Weissohn, K.-H.; Winter, K.-M.: AWT-Fachausschuss 4: Thermochemische Behandlung von Eisenwerkstoffen im Gas. Expert Verlag 2014

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

PRAKTISCHE TIPPS FÜR DEN BERUFLICHEN ALLTAG



STANDARDWERK MIT PRAXISNUTZEN

Dieses Handbuch beschreibt anschaulich und praxisgerecht folgende Aspekte:

- Themen und Sachverhalte, mit denen kleine und große Härtereien und Wärmebehandlungsbetriebe täglich zu tun haben
- Praktiker aus der Härtereibranche berichten von ihren Erfahrungen
- Experten erläutern moderne Verfahren und Anwendungen in der Härtereipraxis

Jetzt im
Shop bestellen
und Wissen sichern!

Olaf Irretier, Marco Jost
2. Auflage 2019
Artikelnummer: 31242
Auch als eBook erhältlich.
Preis: € 80,- €

15% Ermäßigung auf dieses Buch
EXKLUSIV FÜR PROZESSWÄRME ABONNENTEN

www.vulkan-shop.de

VULKAN VERLAG. FÜR ALLE, DIE MEHR WISSEN WOLLEN.

www.vulkan-verlag.de

Lizenziert für: Marco Jost
© Vulkan-Verlag GmbH - 02/2021

 Vulkan Verlag