

*Olaf Irretier, Marco Jost (Hrsg.)*

# Handbuch HärtereiPraxis

Verfahren | Anwendungen | Innovationen



**Wichtiger Hinweis  
für unsere Leser**

Liebe Leserinnen und Leser,

wir freuen uns, dass Sie sich zum Kauf **unseres eBooks** entschieden haben.

An dieser Stelle möchten wir Sie darauf hinweisen, dass Sie mit dem Kauf eine **Einzellizenz** erworben haben. Die Weitergabe an Dritte ist somit **nicht gestattet**.

Ebenfalls nicht zulässig sind:

- Kopien / Ausdrucke auf Papier
- Digitalisierte Kopien
- Speicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen
- Ablegen im (firmeneigenen) Intranet
- andere für mehrere Personen zugängliche Datenbanken
- Versand per eMail

Die Möglichkeit, mehrere Personen zugreifen zu lassen, bieten bei Bedarf unsere **Mehrplatzlizenz-Lösungen**. Gerne beraten die Mitarbeiter unserer Verlage Sie bei Fragen zu unserer Mehrplatzlizenz-Plattform **www.scifo.de**.

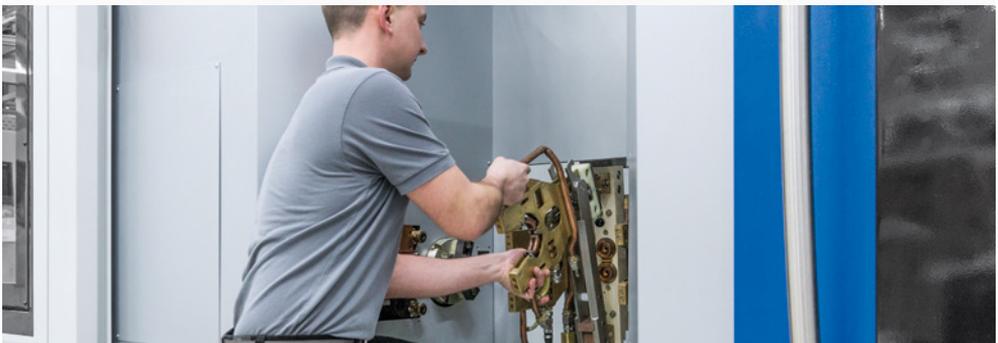
Wir danken Ihnen für Ihr Verständnis und wünschen nun viel Freude mit Ihrem eBook.



# Modulare Härtemaschine BAZ-2

Lernen Sie die Highlights des BAZ-2 unter [mafade.alfing.de/baz-2](http://mafade.alfing.de/baz-2) kennen!

Die Maschinenfabrik ALFING Kessler GmbH produziert hochwertige Kurbelwellen und Härtemaschinen – vornehmlich für den Großmotorenbau, die Automobilindustrie und den Rennsport. Wir sind Technologie- und Innovationsführer in unseren Segmenten – weltweit.



Maschinenfabrik  
ALFING Kessler GmbH  
Auguste-Kessler-Str. 20  
73433 Aalen / DE

T: + 49 (0)7361 / 501 - 44 85  
F: + 49 (0)7361 / 501 - 46 89  
[hardening@mafa.alfing.de](mailto:hardening@mafa.alfing.de)  
[mafade.alfing.de/baz-2](http://mafade.alfing.de/baz-2)



MASCHINENFABRIK  
ALFING KESSLER GMBH

---

Olaf Irretier, Marco Jost (Hrsg.)

# **Handbuch HärtereiPraxis**

Verfahren – Anwendungen – Innovationen

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über **www.dnb.de** abrufbar

*Handbuch Härtereipraxis  
Verfahren – Anwendungen – Innovationen  
Olaf Irretier, Marco Jost (Hrsg.)  
1. Ausgabe 2017*

ISBN: 978-3-8027-3087-0 (Print)

ISBN: 978-3-8027-3088-7 (eBook)

© 2017 Vulkan Verlag GmbH  
Friedrich-Ebert-Straße 55, 45127 Essen, Deutschland  
Telefon: +49 201 820 02-0, Internet: [www.vulkan-verlag.de](http://www.vulkan-verlag.de)

Projektmanagement: Stephan Schalm, Vulkan-Verlag GmbH, Essen  
Lektorat: Sabrina Finke und Lena Langenkämper, Vulkan-Verlag GmbH, Essen  
Herstellung: Nilofar Mokhtarzada, Vulkan-Verlag GmbH, Essen  
Umschlaggestaltung: Daniel Klunkert, Vulkan-Verlag GmbH, Essen  
Titelbild: © Tandler Zahnrad- und Getriebefabrik GmbH & Co. KG, Bremen  
Satz: Brigitte Schmidt, Schmidt Media Design München  
Druck: Druckerei Chmielorz GmbH, Wiesbaden

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen. Der Erwerb berechtigt nicht zur Weitergabe des eBooks an Dritte.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

## Vorwort

Mit dem Handbuch HärtereiPraxis führen wir die Reihe der beiden in den Jahren 2013 und 2015 erschienenen Praxishandbüchern „Härtereitechnik“ fort und möchten ein neues Standardwerk etablieren, das für die Wärmebehandlungs- und Härtereibranche einen besonders hohen praxisbezogenen Nutzen bietet.

Die Wärmebehandlung ist ein wesentlicher Bestandteil in der Wertschöpfungskette vieler Bauteile und weiterhin von wachsender Bedeutung – gerade im Hinblick auf höhere Leistungen bei gleichzeitiger Gewichtsreduzierung. Denn auch in Zukunft wird kein Flugzeug ohne Vergüten, kein Auto ohne Härten und keine Maschine ohne Glühen fliegen, fahren oder produzieren können. Im „Handbuch HärtereiPraxis“ beschreiben namhafte Experten der Branche anschaulich und praxisgerecht Sachverhalte, mit denen der moderne Härtereibetrieb täglich konfrontiert ist.

Entstanden ist dieses Werk auf Basis der Fachtagung „HärtereiPraxis“, die wir mit großem Erfolg erstmalig im Mai 2017 in Dortmund veranstaltet haben. Zahlreiche dort von namhaften Referenten gehaltene Vorträge sind in dieses Buchprojekt eingeflossen.

Auch die Fachtagung „HärtereiPraxis“ stellt im Herzen des Ruhrgebiets die Praxisthemen der Wärmebehandlungsbranche in den Vordergrund. Der jährliche Branchentreff ist die Informations-Veranstaltung für Ingenieure und Techniker aus der betrieblichen Praxis sowie für Mitarbeiter aus der Fertigungsplanung, dem Einkauf, der Qualitätssicherung, der Konstruktion und Entwicklung. Angesprochen werden Interessenten aus allen Bereichen der Wärmebehandlung, aus dem Maschinen-, Anlagen- und Vorrichtungsbau, aus der Automobilindustrie sowie aus der Stahlerzeugung, der Gießerei- und Umformtechnik. Die Fachtagung bietet als Branchentreff für Wärmebehandlung neben einem interessanten Vortragsprogramm umfangreiche Möglichkeiten zum Austausch mit Fachkollegen und ausreichend Raum für das persönliche Networking und wird zudem von Beratungsständen begleitet. Die Teilnehmer können sich direkt und ausführlich in Fachgesprächen über neue Trends und Entwicklungen der Branche informieren.

Unser Buch trägt wie die Tagung dazu bei, das Wärmebehandlungswissen sowie die neusten Entwicklungen in Deutschland zu verbreiten. Das „Handbuch HärtereiPraxis“ leistet somit einen kleinen Beitrag, die Technologieführerschaft, die deutsche Unternehmen im globalen Umfeld im Bereich der Wärmebehandlung heute innehaben, weiter aufrechtzuerhalten.

Herausgeber und Verlag wünschen Ihnen eine angenehme Lektüre!



Dr.-Ing. Olaf Irretier



Dipl.-Ing. Marco Jost



## RÜBIG – PERFECTION IN NITRIDING

RÜBIG ist in mit den vier Geschäftsbereichen Schmiedetechnik, Härtetechnik, Aluminium und Anlagentechnik, als Metallkompetenzzentrum etabliert. Jahrzehntelanges Werkstoffwissen wird mit den neuesten Technologien und Innovationen verbunden. Die RÜBIG Anlagentechnik beschäftigt sich mit der Produktion maßgeschneiderter Wärmebehandlungsanlagen.

### PLASMANITRIERANLAGEN

#### MICROPULS® Technologie

RÜBIG Anlagentechnik steht mit ihrer MICROPULS® Technologie für erfolgreiche und innovative Wärmebehandlungslösungen im Bereich des Plasmanitrierens und Beschichtens. Leistungsstarke, im Hause RÜBIG entwickelte, modulare und präzise MICROPULS® Generatoren machen dies möglich.

### GASNITRIERANLAGEN

#### GASCON Technologie

Die GASCON Technologie der RÜBIG Anlagentechnik steht für hocheffizientes und fortschrittliches Gasnitrieren. Die modular aufgebauten und auf Kundenbedürfnisse abgestimmten Anlagen überzeugen durch ihre exzellente Lebensdauer und die Möglichkeit des Regelns mittels Nitrierkennzahl.



### RÜBIG GmbH & Co KG

Durisolstraße 12 | 4600 Wels | Österreich  
t +43 7242 29 38 30 | at.office@rubig.com  
www.rubig.com

**RÜBIG** DRIVING SUCCESS

## Geleitwort

### Die Wärmebehandlung als ein wesentlicher Bestandteil in der Fertigungskette

Hochbeanspruchte Bauteile aus Stahl werden in der Fertigungskette häufig mehrfach wärmebehandelt. Verarbeitungseigenschaften wie Zerspanbarkeit oder Kaltumformbarkeit können durch Glühen oder Vergüten gezielt beeinflusst werden. Die Gebrauchseigenschaften des einbaufertigen Bauteils werden durch die Endwärmebehandlung gemäß der Zeichnungsvorgabe eingestellt. Wesentliche Kriterien hierfür sind Härte, Festigkeit, Zähigkeit oder das zu erreichende Gefüge. Damit ermöglicht die Wärmebehandlung eine sehr vielfältige Variation von Eigenschaften für den notwendigen Fertigungsprozess und für die Belastbarkeit des fertigen Bauteils.

Neben den technologischen Anforderungen spielen Aspekte wie Prozesssicherheit und Wirtschaftlichkeit eine entscheidende Rolle. Im Gegensatz zu geometrisch messbaren Merkmalen können Werkstoff- und Wärmebehandlungseigenschaften als funktionskritische Merkmale häufig nur zerstörend geprüft werden. Ein für Zerspanungsprozesse üblicher Fähigkeitsnachweis im Sinne des Qualitätsmanagements ist für Wärmebehandlungsprozesse bei gleichzeitig sinnvollen Toleranzvorgaben nicht möglich. Aus diesem Grunde wird die Wärmebehandlung als ein „Spezialprozess“ eingestuft, für den eine regelmäßige Kontrolle der Prozessparameter und der Eigenschaften am Bauteil notwendig ist. Darüber hinaus sichern zuverlässige und geprüfte Regeleinheiten, spezielle Arbeits- und Verfahrensanweisungen sowie ein gut ausgebildetes und kompetentes Personal diesen Spezialprozess ab. Damit wird auch für die Wärmebehandlung der Nachweis einer notwendigen Prozesssicherheit erfüllt.

Eigenschaften am Bauteil, wie Maß- und Formänderungen oder die Korngröße des Gefüges, werden erst bei der Endwärmebehandlung eingestellt, sind aber eine Systemeigenschaft mit Einflüssen aus der gesamten Prozesskette. Kommt es zu einem untypischen Verzugsverhalten am Bauteil mit nicht ausreichendem Schleifaufmaß, wird zunächst der Wärmebehandler für diesen Fertigungs-ausschuss verantwortlich gemacht. Häufig jedoch liegt die Ursache in der vorher liegenden Fertigungskette. Eine veränderte Härtebarkeit der verwendeten Stahlschmelze, ein stark zeiliges Gefüge nach dem Glühen, ein veränderter Faserlauf des vorgedrehten Bauteiles oder hohe Eigenspannungen durch die mechanische Bearbeitung können die Ursache für untypische Maß- und Formänderungen von verzugskritischen Bauteilen nach der Endwärmebehandlung sein. Zur Abstellung des Problems bedarf es daher einer detaillierten Analyse der gesamten Fertigungskette und der Identifikation der Potenzialträger für den Verzug mit möglichen Wechselwirkungen untereinander. Auch hier hilft eine gute Ausbildung des Wärmebehandlers mit einem soliden Überblick zur gesamten Fertigungskette.

Mit zunehmender internationaler Fertigung und Aufbau von neuen Standorten in Wachstumsmärkten muss dieses Wissen weitergegeben werden. Eine starke Unterstützungsleistung wird erforderlich, um die notwendige Prozesssicherheit und Qualität der Bauteile auf einem weltweit hohen Niveau zu halten. Gerade schwankende Rohstoffqualitäten oder fehlende Regeleinheiten und Prüfprozesse können sich direkt nachteilig auf die Qualität der Bauteile auswirken. Hier helfen



Dr.-Ing. Jörg Kleff

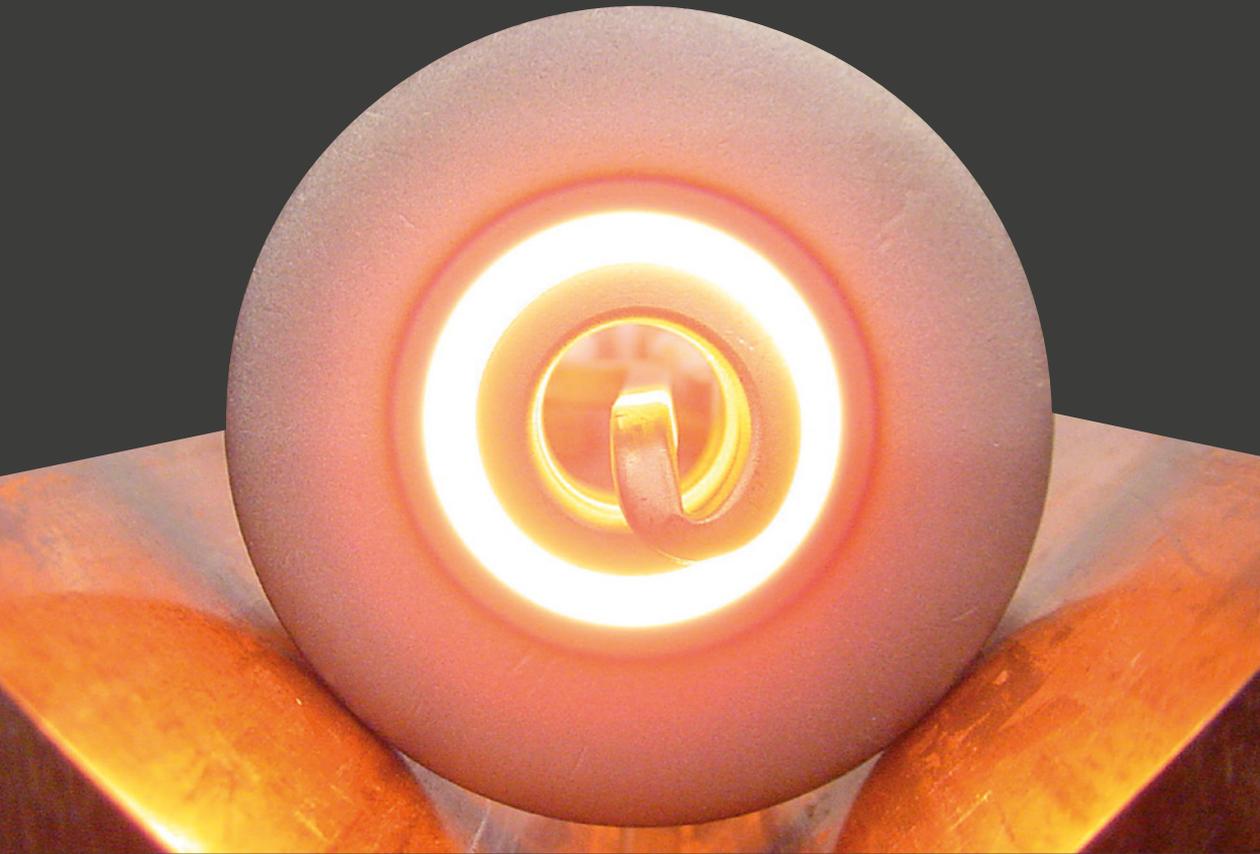
Vorgaben aus Normen und detaillierte Spezifikationen für die Wärmebehandlung, die international Anwendung finden.

Heutige Anforderungen an die Fertigung, wie die jährliche Steigerung der Produktivität, eine höhere Anlagenverfügbarkeit oder die Einsparung von Kosten bei der Bauteilfertigung und für Investitionen, machen auch für die Wärmebehandlung eine kontinuierliche Optimierung notwendig. Lösungen zur Prozessoptimierung werden in enger Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Instituten, Zulieferern für Material und Anlagen sowie mit den Beteiligten in der Fertigungskette gemeinsam erarbeitet. Das alles sind wesentliche Maßnahmen zur Sicherung einer zukünftigen Fertigung auch an Standorten mit hohem Lohnniveau.

Zahlreiche Ideen unter dem Stichwort „Industrie 4.0“ stehen bereits heute für die Wärmebehandlung zur Verfügung oder werden in Entwicklungsprojekten gerade untersucht. Ein wesentliches Ziel dabei sind intelligente Steuerungen und eine Prozessüberwachung mit der Fähigkeit zur Selbstheilung in einem fehlertoleranten Gesamtsystem. Diese intelligenten Steuerungen werden mehr und mehr in die Anlagentechnik implementiert. Über Schnittstellen zu angrenzenden Prozessen werden Daten weitergegeben bis hin zu einer zentralen Steuerung der gesamten Fertigung. Kriterien, wie hohe Flexibilität mit Beherrschung einer großen Variantenvielfalt, die „Big Data Analyse“ für komplexe Systeme oder eine sehr exakte Rückverfolgbarkeit von Informationen für das individuelle Bauteil zeichnen diese digitale Fabrik aus. Die eher starre Produktion mit heute üblichen getrennten und teilweise konkurrierenden Systemen für Produktion und Logistik wird zu einer stärker wandelbaren Produktion mit einem globalen Optimum in dem Wertschöpfungssystem.

Dr.-Ing. Jörg Kleff  
ZF Friedrichshafen AG  
Leiter Fachausschuss Einsatzhärten der AWT  
Mitglied im wissenschaftlichen Beirat der AWT

# Die Kunst der Induktion



Wärmebehandlung mit Induktion, abgestimmt auf Ihre Prozesse.  
Dafür entwickeln und bauen wir effiziente Systeme und Anlagen:  
**Frequenzumrichter, Induktoren,  
Rückkühlssysteme, Spektralpyrometer.**



## Dr.-Ing. K. Busch GmbH

Schauinslandstrasse 1  
79689 Maulburg

Telefon: +49 7622 681-0  
info@busch.de  
www.busch.de



## Dr.-Ing. K. Busch GmbH

Busch Vakuumpumpen und Systeme ist weltweit einer der größten Hersteller von Vakuumpumpen, Vakuumsystemen, Gebläsen und Kompressoren.

Das umfangreiche Produktportfolio umfasst Lösungen für Vakuum- und Überdruckenwendungen in sämtlichen Industriebereichen, wie zum Beispiel für die Chemie, Halbleiterindustrie, Medizintechnik, Kunststoffindustrie oder die Lebensmittelbranche. Dazu gehören auch die Konzeption und der Bau von individuell ausgelegten Vakuumsystemen sowie ein weltweites Servicenetz.

Die Busch Gruppe ist ein Familienunternehmen, dessen Leitung in den Händen der Familie Busch liegt. Weltweit arbeiten 3.000 Mitarbeiter in über 60 Gesellschaften in mehr als 40 Ländern für Busch Vakuumpumpen und Systeme. Hauptsitz von Busch ist Maulburg im Südwesten Deutschlands. Hier befindet sich der Sitz der Busch SE sowie das deutsche Produktionswerk und die deutsche Vertriebsgesellschaft.

Außer in Maulburg produziert Busch in eigenen Fertigungswerken in der Schweiz, in Großbritannien, Tschechien, Korea und den USA.

Der Einsatz von Vakuum in Wärmebehandlungsanlagen ist die wirtschaftlichste Art, zuverlässig und nachvollziehbar Produkteigenschaften und Oberflächen von Werkstoffen zu beeinflussen. Gegenüber dem Aufbau einer Schutzatmosphäre im Ofen hat das Vakuum den Vorteil, dass es weit weniger Verunreinigungen aufweist als selbst ein Gas reiner Qualität. Somit ist die Vakuumversorgung jeder Wärmebehandlungsanlage eine wichtige Komponente und der Garant dafür, qualitativ hochwertige Produkte herzustellen.

Was für Ansprüche Sie auch immer an Ihre Vakuumversorgung haben – Busch wird Ihnen immer die technisch sinnvollste und wirtschaftlichste Lösung anbieten und Ihnen attraktive Servicemodelle vorstellen.

**Busch Vakuumservice –  
Für alle Fabrikate, blitzschnell,  
in Ihrer Nähe**

Dr.-Ing. K. Busch GmbH  
+49 (0)7622 681-0 | info@busch.de  
www.busch.de



## Autorenverzeichnis

**Dr.-Ing. Herwig Altena**

Aichelin Holding G.m.b.H  
Fabriksgasse 3  
2340 Mödling (Österreich)

**Kapitel 4.2****Dr. rer. nat. Mischa Bachmann**

Volkswagen AG  
Brieffach 014/4109  
34219 Baunatal

**Kapitel 3.4****Martin Barthelmie**

GTD Graphit Technologie GmbH  
Raiffeisenstraße 1  
35428 Langgöns

**Kapitel 8.1****Dipl.-Ing. Pierre Bertoni**

ECM Technologies  
46 rue Jean Vaujany - Technisud  
38029 Grenoble (Frankreich)

**Kapitel 4.3****Dr.-Ing. Stefan Dappen**

SMS Elotherm GmbH  
In der Fleute  
Remscheid

**Kapitel 5.1****Dr. Thomas Dopler**

Aichelin Holding G.m.b.H  
Fabriksgasse 3  
2340 Mödling (Österreich)

**Kapitel 4.2, 6.3****Dirk Gieselmann**

Adam Opel AG  
Bahnhofsplatz 1  
65423 Rüsselsheim

**Kapitel 1.3****Alexander Götz**

EMO Oberflächentechnik GmbH  
Gewerbestraße 38  
75015 Bretten-Gölshausen

**Kapitel 9.4****Dipl.-Ing. Wilfried Goy**

EMA Indutec GmbH  
Petersbergstraße 9  
74909 Meckesheim

**Kapitel 5.2****Dr. Frank Grote**

Frank Walz- und Schmiedetechnik GmbH  
Frankstraße 1 / Reddighäuser Hammer  
35116 Hatzfeld (Eder)

**Kapitel 6.2****Dipl.-Ing. (TH) Peter Haß**

HKL Anlagentechnik GmbH  
Haßlinghauser Straße 156  
58285 Gevelsberg

**Kapitel 3.3****Dipl.-Ing. Stefan Heineck**

Stange Elektronik GmbH  
Wandersleber Str. 1b  
99192 Apfelstädt

**Kapitel 3.2****Arnold Horsch**

Arnold Horsch e.K.  
Berghauser Str. 62  
42859 Remscheid

**Kapitel 1.5****Dr.-Ing. Olaf Irretier**

IBW Dr. Irretier GmbH  
Mühsol 44  
47533 Kleve

**Kapitel 1.1**

**Marc Jordan**

Wickert Maschinenbau GmbH  
Wollmesheimer Höhe 2  
76829 Landau

**Kapitel 6.1****Dipl.-Ing. Marco Jost**

IBW Dr. Irretier GmbH  
Büro Düsseldorf  
Marie-Curie-Str. 7  
40625 Düsseldorf

**Kapitel 1.1****Dr. rer. nat. Jürgen Kern**

EMA Indutec GmbH  
Petersbergstraße 9  
74909 Meckesheim

**Kapitel 5.2****Dr.-Ing. Jörg Kleff**

ZF Friedrichshafen AG  
88038 Friedrichshafen

**Geleitwort****Norbert Koralath**

Aichelin Holding G.m.b.H  
Fabriksgasse 3  
2340 Mödling (Österreich)

**Kapitel 4.2****Dr. Mathias Kunz**

WPX Faserkeramik GmbH  
Belgische Allee 59 d  
53842 Troisdorf

**Kapitel 8.2****Dr.-Ing. Dieter Liedtke**

ehem. Robert Bosch GmbH  
Ludwigsburg

**Kapitel 3.1****Dipl.-Ing. (FH) Dirk Mäder**

Noxmat GmbH  
Ringstr. 7  
09569 Oederan

**Kapitel 9.3****Jürgen Mautsch**

Schwäbische Härtetechnik Ulm GmbH &  
Co.KG  
Dieselstraße 7-11  
89079 Ulm

**Kapitel 2.2****Dr. Dieter Müller**

Eifeler Werkzeuge GmbH  
Kirschenleite 10-12  
91220 Schnaittach

**Kapitel 7.2****Prof. Dr.-Ing. Bernard Nacke**

Institut für Elektroprozessertechnik  
Leibniz Universität Hannover  
Wilhelm-Busch-Str. 4  
30167 Hannover

**Kapitel 9.2****Birgit Neumann**

EJOT GmbH  
Im Grund 4  
99897 Tambach-Dietharz

**Kapitel 9.3****Manuel Opfer, M. Sc.**

Volkswagen AG  
Brieffach 014/4109  
34219 Baunatal

**Kapitel 3.4****Emmanuel Pauty**

ECM Technologies  
46 rue Jean Vaujany – Technisud  
38029 Grenoble (Frankreich)

**Kapitel 4.3**

**Stefan Quaas**

Neapco Europe GmbH  
Henry-Ford-Straße 1  
52351 Düren

**Kapitel 1.2****Dipl.-Ing. Gerhard Reese**

Härterei Reese Bochum GmbH  
Oberscheidstraße 25  
44807 Bochum

**Kapitel 4.1****Günter Rennhofer**

Aichelin Holding G.m.b.H  
Fabriksgasse 3  
2340 Mödling (Österreich)

**Kapitel 6.3****Dipl.-Ing. Jörg Scheyhing**

Energie Consulting GmbH  
Wilhelm-Leonhard-Straße 10  
77694 Kehl-Goldscheuer

**Kapitel 1.3****Franziska Thume, B.Eng.**

Fachhochschule Südwestfalen Iserlohn  
Frauenstuhlweg 31  
58644 Iserlohn

**Kapitel 7.1****Prof. Dr.-Ing. Franz Wendl**

ehemals Fachhochschule Südwestfalen  
Iserlohn

**Kapitel 7.1****Dipl.-Ing. Hans-Joachim Wickert**

Wickert Maschinenbau GmbH  
Wollmesheimer Höhe 2  
76829 Landau

**Kapitel 6.1****Karl-Michael Winter**

Process-Electronic GmbH  
Dürnauer Weg 30  
73092 Heiningen

**Kapitel 2.1****Dr.-Ing. Joachim G. Wünnig**

WS Wärmeprozessstechnik GmbH  
Dornierstraße 14  
71272 Renningen

**Kapitel 9.1****Daniel Zimmermann**

Aichelin Holding G.m.b.H  
Fabriksgasse 3  
2340 Mödling (Österreich)

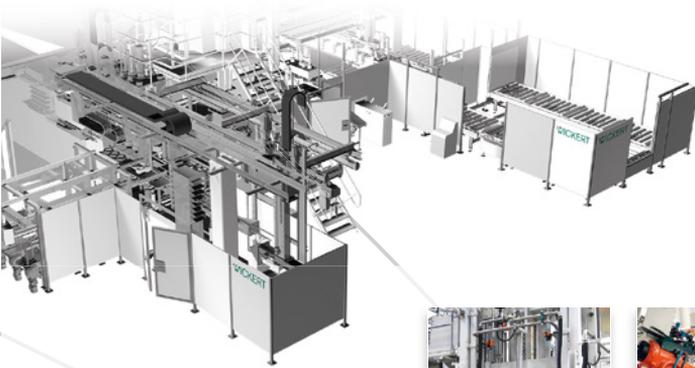
**Kapitel 6.3**

# WICKERT

hydraulic presses

## FIXTUR- UND PRESSHÄRTEANLAGEN

 *Fixturhärten, Presshärten,  
Heißumformen und Abhärten*



*Überwachung aller qualitätsbestimmender Prozessgrößen  
Hydraulische Bauteilanheber in der Presse  
Homogene Anströmung der Bauteile  
Schneller Werkzeugwechsel*

[www.wickert-presstech.de](http://www.wickert-presstech.de)

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
Geleitwort .....	VII
Autorenverzeichnis .....	XI
Inhaltsverzeichnis .....	XV
<b>1. Härtereipraxis .....</b>	<b>1</b>
1.1 Planung und Beschaffung von Wärmebehandlungsanlagen .....	2
Einleitung .....	2
1.1.1 Anforderungen an Wärmebehandlungsanlagen .....	2
1.1.2 Planungs- und Beschaffungsprozess .....	3
1.1.3 Zusammenfassung .....	10
1.2 Wirtschaftliche Nutzung großer Härteofenanlagen im Materialfluss einer modernen Fertigung mit reduzierten Beständen .....	12
Einleitung .....	12
1.2.1 Verluste bei dem Wechsel der Ofenatmosphäre .....	12
1.2.2 Experimentelle Datenermittlung .....	14
1.2.3 Aktueller Stand – Einsatzhärten .....	16
1.2.4 Effizienzsteigerung .....	17
1.2.5 Zusammenfassung .....	21
1.3 Abstimmung von Wärmebehandlungsverfahren mit der Vor- und Nachbearbeitung von Bauteilen in der Automobilindustrie .....	22
Einleitung .....	22
1.3.1 Fertigungsablauf einer Getriebefertigung .....	22
1.3.2 Verzahnungsweichbearbeitung .....	23
1.3.3 Verzugsreduzierung durch die Wärmebehandlung .....	25
1.3.4 Designänderung am Beispiel Wellen .....	26
1.3.5 Zusammenfassung .....	27
1.4 Optimierung von Energiekosten in der Wärmebehandlung .....	28
Einleitung .....	28
1.4.1 Energiebeschaffung .....	28
1.4.2 EEG-Umlage .....	29
1.4.3 KWKG-Umlage .....	31
1.4.4 Förderprogramme zur Steigerung der Energieeffizienz .....	33

1.5	Reproduzierbarkeit der Härtetiefenbestimmung CHD – NHD – SHD	36
	Einleitung	36
1.5.1	Normung	36
1.5.2	Einflüsse auf das Prüfergebnis	37
1.5.3	Ringversuch	40
1.5.4	Auswertung	43
1.5.5	Zusammenfassung	44
<b>2.</b>	<b>Industrie 4.0</b>	<b>47</b>
2.1	Entwicklungen im Bereich MSR-Konzepte für Industrieofenanlagen	48
	Einleitung	48
2.1.1	Die Vision	49
2.1.2	Das Industrial Internet of Things (IIoT)	49
2.1.3	Industrie 4.0	50
2.1.4	Cyber-Physical Systems (CPS)	51
2.1.5	Künstliche Intelligenz?	53
2.1.6	Schaffen wir uns damit ab?	54
2.1.7	Willkommen in der Welt der Quantencomputer	56
2.1.8	Ausblick für die Wärmebehandlung	57
2.1.9	Zusammenfassung	58
2.2	Lohnhärterei im Umfeld von Industrie 4.0	61
	Einleitung	61
2.2.1	Was bedeutet der Begriff „Industrie 4.0“?	61
2.2.2	Vernetzung der Lohnhärterei zum Umfeld	62
2.2.3	Beispiel Auftragsabwicklung	63
2.2.4	Aufgabenstellung Standardisierung von Schnittstellen	64
2.2.5	Zusammenfassung	64
<b>3.</b>	<b>Aufkohlen, Nitrieren und Nitrocarburieren</b>	<b>65</b>
3.1	Nitrieren und Nitrocarburieren in der industriellen Praxis	66
	Einleitung	66
3.1.1	Zweck des Nitrierens und Nitrocarburierens	66
3.1.2	Aufbau und Struktur der Nitrierschicht	67
3.1.3	Die Härte der Nitrierschicht	72
3.1.4	Einfluss des Nitrierens/Nitrocarburierens auf die Werkstückgeometrie	74
3.1.5	Eigenspannungen	76
3.1.6	Formänderungsvermögen – Zähigkeit	76
3.1.7	Festigkeitsverhalten	77
3.1.8	Verschleißverhalten	78
3.1.9	Korrosionsverhalten	80

# WERKSTÜCK- UND WERKSTOFF- GERECHT WÄRMEBEHANDELN MIT BURGDORF, OSMIROL UND NÜSSLE

## ABSCHRECKÖLE

**DURIXOL** Hochleistungs-Abschrecköle

**DURIXOL** Vakuum-Abschrecköle

**MULTIQUENCH** Mehrbereichs-Abschrecköle

**SYNABOL** Synthetische Abschrecköle

**SYNANOL** Synthetische Anlassöle

## POLYMER-ABSCHRECKKONZENTRATE

für das Induktiv- und Flammhärten sowie das  
Abschrecken in Tauchbädern

**SERVISCOL / POLYQUENCH / OSMANIL**

**GLYKOQUENCH**

## KORROSIONSSCHUTZMITTEL

Brünier- und Korrosionsschutzmittel sowie

Abschreck-Emulsionen

**SERVITOL / ISOQUENCH**

## SPEZIALREINIGER

Neutrale und alkalische Spezialreiniger für das  
Waschen in Tauch- und Spritzverfahren

**SERVIDUR / SERVICLEAN**

## HÄRTESCHUTZMITTEL

Aufkohlungs-, Nitrier- und Zunderschutzmittel

**CONDURSAL / CONDURON / VACUOCOAT**

3.1.10	Hinweise für das praktische Durchführen des Nitrierens und Nitrocarburierens . . . . .	80
3.1.11	Hinweise zu den Verfahren. . . . .	82
3.1.12	Anwendung des Nitrierens und Nitrocarburierens. . . . .	84
3.2	Möglichkeiten und Grenzen von Sensoren und Sonden zum Messen und Regeln der Ofenatmosphäre . . . . .	86
	Einleitung . . . . .	86
3.2.1	Thermoelemente . . . . .	87
3.2.2	C-Pegel Sonde (Q-Sonde). . . . .	88
3.2.3	H <sub>2</sub> -Sensor. . . . .	91
3.2.4	Gas-Analysatoren . . . . .	94
3.2.5	Zusammenfassung . . . . .	95
3.3	Kompakte Ammoniakversorgungsanlagen für Härtereien. . . . .	97
	Einleitung . . . . .	97
3.3.1	Stoffeigenschaften Ammoniak. . . . .	97
3.3.2	Verfahrens- und Anlagenbeschreibung . . . . .	100
3.3.3	Sicherheitseinrichtungen . . . . .	111
3.4	Plasmanitrocarburieren in der Serienfertigung von Pressteilen für den Einsatz in Doppelkupplungen. . . . .	113
	Einleitung . . . . .	113
3.4.1	Herstellung der Kupplungsblechteile. . . . .	114
3.4.2	Plasmanitrieren in der Serienfertigung von Kupplungsblechteilen . . . . .	115
3.4.3	Zusammenfassung . . . . .	120
<b>4.</b>	<b>Einsatzhärten und Niederdruckaufkohlen. . . . .</b>	<b>121</b>
4.1	Wärmebehandlung von Großzahnradern – Minimierung von Härteverzügen . . . . .	122
	Einleitung . . . . .	122
4.1.1	Drei Methoden im Vergleich . . . . .	123
4.1.2	Die Wahl des Härteverfahrens . . . . .	124
4.1.3	Betriebserfahrungen . . . . .	131
4.1.4	Zusammenfassung . . . . .	133
4.2	Einsatzhärtung von Großserien-Getriebebauteilen für die Automobilindustrie . . . . .	134
	Einleitung . . . . .	134
4.2.1	Niederdruckaufkohlung . . . . .	134
4.2.2	Prozessgasaufkohlung. . . . .	135
4.2.3	Abschreckung . . . . .	137
4.2.4	Vergleich unterschiedlicher Prozesse . . . . .	138
4.2.5	Weiterentwicklung der Prozessgasanlagen . . . . .	140
4.2.6	Zusammenfassung . . . . .	141
4.3	In die Produktionslinie integrierte Vakuum- oder Niederdruck-Wärmebehandlung . . . . .	143
	Einleitung . . . . .	143



Ofenanlage für Werkstücke  
bis 5.000 mm Durchmesser.

 **REESE**

## EXPERTEN FÜR WÄRMEBEHANDLUNG.

- » Härten und Vergüten
- » Einsatzhärten
- » Randschichthärten
- » Vakuumhärten
- » Nitrieren
- » Plasmanitrieren
- » Glühen
- » Oberflächenbehandlung

Unsere Standorte:  
Bochum / Brackenheim /  
Chemnitz / Weimar

[www.haertere.com](http://www.haertere.com)

---

4.3.1	Beschreibung des Aufbaus .....	144
4.3.2	Vorteile .....	145
4.3.3	Anwendungsbeispiele .....	150
4.3.4	Zusammenfassung .....	152
<b>5.</b>	<b>Induktive Wärmebehandlung .....</b>	<b>155</b>
5.1	Induktive Wärmebehandlung von Kurbelwellen .....	156
	Einleitung .....	156
5.1.1	Das induktive Härteverfahren .....	156
5.1.2	Maschinenteknik für das Härten von Kurbelwellen .....	157
5.1.3	Zusammenfassung .....	159
5.2	Induktive Wärmebehandlung unter Schutzgas .....	160
	Einleitung .....	160
5.2.1	Versuche zur Verzunderung beim induktiven Härten .....	160
5.2.2	Härteprozess unter Schutzgasatmosphäre .....	161
5.2.3	Prüfung der Wärmebehandlung .....	165
5.2.4	Ergebnisse .....	166
<b>6.</b>	<b>Press- und Fixturhärten .....</b>	<b>167</b>
6.1	Prozessrelevante Ausprägungen an Fixturhärtepressen zur Verzugsminimierung .....	168
	Einleitung .....	168
6.1.1	Aspekte der Auswahl von Fixturhärtepressen .....	168
6.1.2	Zusammenfassung .....	176
6.2	Presshärten von Verschleiß- und Konstruktionsteilen .....	177
	Einleitung .....	177
6.2.1	Borlegierte Vergütungsstähle .....	177
6.2.2	Presshärten .....	179
6.2.3	Mechanische Eigenschaften pressgehärteter Borstähle .....	181
6.2.4	Schweiß Eigenschaften pressgehärteter Borstähle .....	183
6.2.5	Anwendungen pressgehärteter Borstähle .....	184
6.2.6	Zusammenfassung .....	186
6.3	Neueste Veränderungen in der Wärmebehandlung von warmumgeformten Bauteilen .....	188
	Einleitung .....	188
6.3.1	Ofentechnologie .....	188
6.3.2	Anwendungen und Ergebnisse .....	190
6.3.3	Rückverfolgbarkeit der Ofenparameter .....	193
6.3.4	Zusammenfassung .....	194

<b>7. Wärmebehandlungs- und Beschichtungsverfahren</b> .....	195
7.1 Maßänderungen bei der Wärmebehandlung von ledeburitischen Kaltarbeitsstählen .....	196
Einleitung .....	196
7.1.1 Wärmebehandlung .....	196
7.1.2 Zusammenfassung .....	200
7.2 CVD- und PVD-Hartstoffschichten .....	202
Einleitung .....	202
7.2.1 CVD (Chemical Vapour Deposition) .....	202
7.2.2 PVD (Physical Vapour Deposition) .....	204
7.2.3 Beschichtungsgerechte Oberflächen .....	209
7.2.4 Anwendungen .....	210
7.2.5 Zusammenfassung .....	214
<b>8. Chargiersysteme aus CFC, Oxidkeramiken</b> .....	215
8.1 CFC-Gestelle in der Wärmebehandlung – Praxisanwendungen in Vakuum- und Atmosphärenprozessen .....	216
Einleitung .....	216
8.1.1 Die spezielle Eigenschaften von CFC .....	217
8.1.2 Das Herstellungsverfahren von CFC .....	218
8.1.3 Die Risiken bei der Anwendung von CFC in der Wärmebehandlung .....	220
8.1.4 Konstruktionsmerkmale .....	221
8.1.5 Beispiele für die gängigsten Konstruktionen für CFC-Chargiersysteme ..	222
8.1.6 Zusammenfassung .....	225
8.2 Effizienz- und Qualitätsverbesserung in der Wärmebehandlung durch Werkstückträger aus Oxid-Faserkeramik .....	226
Einleitung .....	226
8.2.1 Problemstellung und Lösungsansätze .....	226
8.2.2 Material und Eigenschaften .....	226
8.2.3 Anwendungsbeispiele .....	228
<b>9. Energieeffizienz</b> .....	233
9.1 Moderne Gasbeheizungssysteme in Wärmebehandlungsöfen .....	234
Einleitung .....	234
9.1.1 Vergleich von Brennstoff- und elektrischer Beheizung .....	234
9.1.2 Wärmeübertragung im brennstoffbeheizten Ofen .....	235
9.1.3 Verbrennungsluftvorwärmung .....	237
9.1.4 Sekundärnutzung der Abgaswärme .....	239
9.1.5 Zusammenfassung .....	239

---

9.2	Energieeffizienz induktiver Härteanlagen . . . . .	240
	Einleitung . . . . .	240
9.2.1	Leistungsbilanz und Wirkungsgrad von induktiven Härteanlagen . . . . .	241
9.2.2	Gesamtwirkungsgrad und Energiebedarf am Beispiel Schneckenwelle . . . . .	246
9.2.3	Zusammenfassung . . . . .	247
9.3	Rippenrohr-Rekuperatorbrenner mit höchster Energieeffizienz an Härtereiofen . . . . .	249
	Einleitung . . . . .	249
9.3.1	Vorteile des Einsatzes von Metallschaum . . . . .	249
9.3.2	Rippenrohr-Rekuperatorbrenner mit verbesserter Energieeffizienz . . . . .	249
9.3.3	Praxiseinsatz . . . . .	252
9.3.4	Zusammenfassung . . . . .	254
9.4	Nutzung von Abwärme zur Beheizung von industriellen Reinigungsanlagen . . . . .	255
	Einleitung . . . . .	255
9.4.1	Bestimmung des Energiegehalts . . . . .	255
9.4.2	Energierückgewinnung . . . . .	256
9.4.3	Wasser als Wärmeüberträger . . . . .	256
9.4.4	Die industrielle Reinigungsanlage als Verbraucher . . . . .	256
9.4.5	Anwendungsbeispiel . . . . .	258
9.4.6	Zusammenfassung . . . . .	258
	Inserentenverzeichnis . . . . .	259



# Härtereipraxis 2018

Wärmebehandlung - Prozess- und Anlagentechnik - Qualitätssicherung

Mercure Hotel Messe & Kongress, Dortmund

[www.haertereipraxis.net](http://www.haertereipraxis.net)

Save the date:

11.-13. Juni 2018

*„Härtereipraxis – diese Veranstaltung trifft es auf den Punkt. Ein rundum gelungenes Event.“*



Dipl.-Ing. Karl-Michael Winter

Process-Electronic GmbH

Teilnehmer „Härtereipraxis 2017“



# Härtereipraxis 2018

Wärmebehandlung - Prozess- und Anlagentechnik - Qualitätssicherung

Mercure Hotel Messe & Kongress, Dortmund

[www.haertereipraxis.net](http://www.haertereipraxis.net)

Save the date:

11.-13. Juni 2018

*„Eine wichtige Veranstaltung,  
weil sie viele Menschen aus der  
Branche zusammenbringt.“*

**Jürgen Werner**

Schwäbische Härtetechnik  
Ulm GmbH & Co. KG  
Teilnehmer „Härtereipraxis 2017“



# 1. HärtereiPraxis

## 1.1 Planung und Beschaffung von Wärmebehandlungsanlagen

von Olaf Irretier und Marco Jost

### Einleitung

In der industriellen Fertigung von metallischen Bauteilen ist die Wärmebehandlung nach wie vor ein wesentlicher Bestandteil der Wertschöpfungskette. Mit der Wärmebehandlung – unabhängig davon, ob diese Inhouse oder extern durchgeführt wird – sind erhebliche Kosten verbunden. Auf der anderen Seite ist die Wärmebehandlung entscheidend für die Produktqualität.

Härtereien sowie Unternehmen mit eigener Wärmebehandlung aus dem Maschinen-, Anlagen- und Werkzeugbau, aus dem Fahrzeugbau, der Luft- und Raumfahrt und vielen Zulieferindustrien benötigen für die oft komplexen Wärmebehandlungsprozesse eine optimale Anlagentechnik.

Bei der Planung und Beschaffung von Wärmebehandlungsanlagen ist eine Vielfalt von spezifischen Anforderungen zu beachten, die im vorliegenden Beitrag ausführlich dargelegt werden.

#### 1.1.1 Anforderungen an Wärmebehandlungsanlagen

In **Tabelle 1** wird – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – zwischen allgemeinen, prozessrelevanten und anlagenspezifischen Anforderungen unterschieden.

Bei Wärmebehandlungsanlagen können grundsätzlich zwei Gruppen von Industrieofenanlagen unterschieden werden – diskontinuierliche Chargen- und kontinuierliche Durchlaufanlagen. Chargenanlagen bieten eine hohe Flexibilität hinsichtlich der durchführbaren Prozessparameter, sind i. d. R. relativ einfach erweiterbar und gut an Auslastungsschwankungen anpassbar. Sie sind jedoch bei großen Stückzahlen in der Serienfertigung oftmals nicht wirtschaftlich. Hier haben Durchlaufanlagen mit hohen Durchsatzleistungen ihre Stärken, sofern diese mit einer kontinuierlich hohen Auslastung betrieben werden können. Weitere Aspekte zu den Vor- und Nachteilen von Chargen- und Durchlaufanlagen sind in **Tabelle 2** dargestellt.

**Tabelle 1:** Anforderungen an Wärmebehandlungsanlagen

Allgemein	Prozessrelevant	Anlagenspezifisch
Preis	Prozesssicherheit	Beheizungsart
Lebensdauer	Reproduzierbarkeit	Kapazität
Verfügbarkeit	Ofenatmosphäre	Durchsatz
Wartungskosten	Temperaturgleichmäßigkeit	Flexibilität
Energieeffizienz	Gasverteilung	Zykluszeit
Handhabung	Abschreckbedingungen	Heizleistung
Umweltverträglichkeit		Bauweise
Sicherheitstechnik		Automatisierungsgrad

**Tabelle 2:** Vor- und Nachteile von Wärmebehandlungsanlagen

Chargenanlagen	Durchlaufanlagen
Kammer- und Herdwagenöfen	Durchstoßanlagen
Haubenöfen	Ringherdöfen
Truhenöfen	Drehherdöfen
Schachtöfen	Banddurchlauföfen
Mehrzweckkammeröfen	Rollenherdöfen
Vor- und Nachteile	Vor- und Nachteile
hohe Flexibilität	hohe Kapazität (große Stückzahlen)
leicht an die Auslastung anpassbar	benötigen eine hohe Auslastung
einfach erweiterbar	geringe Flexibilität
bei Großserien oft nicht wirtschaftlich	hohe Investition
kurze Wartezeiten	längere Stillstandzeit bei Wartungen

### 1.1.2 Planungs- und Beschaffungsprozess

Für den Planungs- und Beschaffungsprozess spielen verschiedene Einflussfaktoren eine bedeutende Rolle, die in Einklang gebracht werden müssen. Nicht immer ist die aus technischer Sicht favorisierte Lösung auch die günstigste. Genauso wenig erfüllt die aus kaufmännischer Sicht wirtschaftlichste Anlage in allen Fällen hinreichend genug die erforderlichen technischen Rahmenbedingungen. Somit sollte ein Planungs- und Beschaffungsprozess möglichst strukturiert und objektiv ablaufen. Oberstes Ziel muss sein, eine Anlagentechnik zu projektieren, die die wesentlichen Anforderungen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfüllt und dabei den Blick auf mögliche Entwicklungen in der Zukunft nicht außer Acht lässt. Die einzelnen Schritte eines Beschaffungsprozesses sind im Fließschema in **Bild 1** aufgeführt.

Die im Weiteren beschriebenen Schritte sind als Empfehlung für ein strukturiertes Vorgehen unter Berücksichtigung der wesentlichen Einflussgrößen zu verstehen.

**Bild 1:** Planungs- und Beschaffungsprozesse

### **1.1.2.1 Qualitätsanforderungen**

Die Qualitätsanforderungen an den Wärmebehandlungsprozess müssen nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich realisierbar sein. Dabei ist zu gewährleisten, dass die Bauteileigenschaften über die Lebenszeit des Aggregates oder der Maschine erhalten bleiben. Neben den Zeichnungsvorgaben des Bauteils, der Werkstoffauswahl und den Anforderungen der Normung müssen individuelle Einflüsse der Prozesskette sowie die abgestimmte Vor- und Nachbehandlung der Bauteile Berücksichtigung finden. Die Festlegung der bauteilspezifischen Qualitätsanforderungen, die das Know-how des Unternehmens widerspiegeln, ist die Grundlage für alle weiteren Schritte im Planungs- und Beschaffungsprozess.

Idealerweise werden die Qualitätsanforderungen bereits während der Planungsphase eines Bauteils auf den entsprechenden Bauteilzeichnungen im Rahmen der Zeichnungsangaben, der Anweisungen und auch der Normen festgelegt. Wesentlich ist zu diesem Planungszeitpunkt bereits der intensive Austausch der einzelnen Fachabteilungen, da – wie der Härter ja bestens weiß – das Ergebnis und somit die Bauteilqualität neben der Wärmebehandlung selbst noch von weiteren Faktoren, wie Werkstoff und Analyse, Gefüge und Eigenspannungen, Einflüssen aus der Prozesskette oder auch der Vorbehandlung abhängen.

### **1.1.2.2 Festlegung des Wärmebehandlungsprozesses**

Auf der Basis der Qualitätsanforderungen wird der dazu erforderliche Wärmebehandlungsprozess festgelegt. In erster Linie müssen durch die Wärmebehandlung die festgelegten mechanischen Eigenschaften sicher erzielt werden, z. B. durch Vergüten, Nitrieren, Einsatzhärten, Randschichten oder auch Beschichten. Im Einzelfall können die Anforderungen an die mechanischen Kennwerte durch unterschiedliche Verfahren eingestellt werden. Oftmals müssen aber weitere Qualitätsvorgaben wie Entkohlung, Oberflächen- und Randoxidation, Verzug, Korrosionsbeständigkeit berücksichtigt werden, die die Festlegung des Wärmebehandlungsprozesses beeinflussen und einschränken können. Auch die Anforderungen an die Vor- und Nachbehandlung der Bauteile müssen bei der Auswahl des Wärmebehandlungsprozesses bewertet werden.

Vorversuche sind ein probates Mittel, den Wärmebehandlungsprozess mit den wesentlichen Behandlungsparametern festzulegen. Neben dem Verfahren können auf diese Weise die erforderliche Behandlungstemperatur und Haltezeit, die Atmosphärenbedingungen, die Überführungszeit zum Abschrecken sowie die notwendigen Abschreckbedingungen nachgewiesen und abgesichert werden. Auch Simulationsmodelle können hierbei hilfreich sein. Diese werden entweder unterstützend eingesetzt oder auch wenn Vorversuche, z. B. aufgrund der Abmessung der Bauteile, nicht durchführbar sind. Je nach Anwendung werden ferner vor der Festlegung des endgültigen Wärmebehandlungsprozesses zum Nachweis der erzielten Eigenschaften unterschiedliche Verfahren der Werkstoffprüfung eingesetzt.

### **1.1.2.3 Auswahl Wärmebehandlungsanlage**

Ist der Wärmebehandlungsprozess einmal festgelegt, stehen meist unterschiedliche Bauarten von Anlagen zur Auswahl. Für die optimale Anlagenauswahl sind neben dem technischen Aufwand der Durchsatz und die Behandlungsvielfalt der Bauteile sowie die Auslastungsschwankungen, die sich in der Praxis über das Jahr einstellen können, entscheidend. Je nach Anforderung ist ein Chargenprozess oder eine Durchlaufanlage zu favorisieren. Eine Automatisierung des Prozesses von der Beschickung bis zur Bereitstellung der Bauteile für den folgenden Prozess kann u. U. einen manuellen Betrieb über 24 h/7 Tage ermöglichen. Die Technologieauswahl beeinflusst im Wesentlichen die Wirtschaftlichkeit (**Bild 2**).