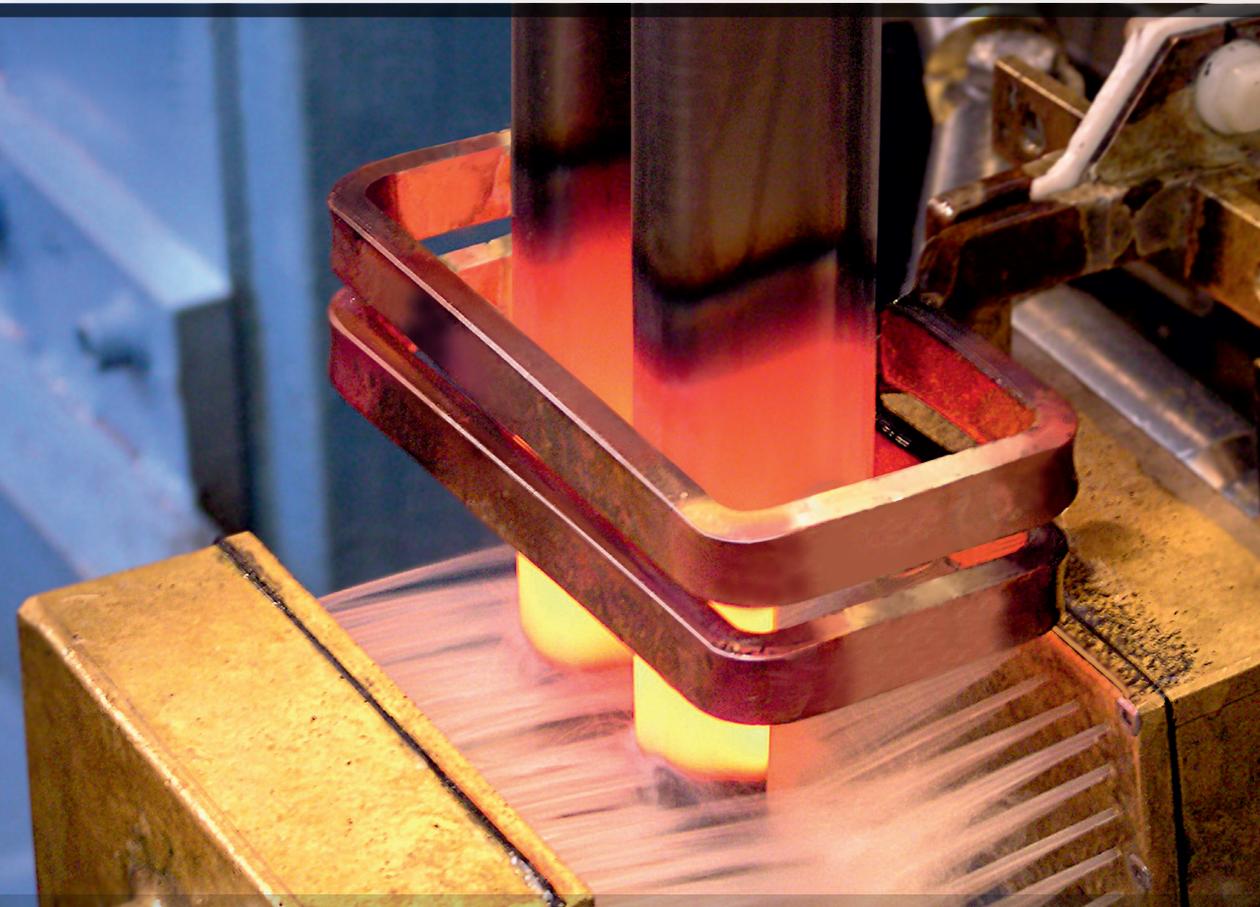


*Olaf Irretier, Marco Jost (Hrsg.)*

# Handbuch HärtereiPraxis

Verfahren | Anwendungen | Innovationen

2. Ausgabe





**INDUCTOHEAT  
EUROPE**

*An Inductotherm Group Company*

# ausgezeichnet flexibel

[www.inductoheat.eu](http://www.inductoheat.eu)



**Inducto Forge  
INDUCTOSCAN**



- Anlagenbau für induktives Härten, Erwärmen, Löten
- HF/MF/IFP-Umrichter
- Schmiedeerhitzer
- Netzfrequenz-Erwärmanlagen
- Induktivlohnhärtereien
- Prozessentwicklung
- Induktorbau/Härtezubehör



**INDUCTOTHERM  
GROUP**

Leading Manufacturers of Melting, Thermal Processing &  
Production Systems for the Metals & Materials Industry Worldwide

# www.flox.com

Entscheiden Sie sich für leistungsstarke WS Gasbrenner der neuesten Generation. – Innovative Systemlösungen von WS, die auf der einzigartigen FLOX®-Technologie\* basieren. Potenzielle NO<sub>x</sub> Probleme werden endgültig entschärft und ein energieeffizienter und funktionssicherer Systembetrieb für eine nachhaltige Produktivität etabliert.

\*»FLOX« ► »FLameless OXidation«: Das eingetragene Warenzeichen und die patentierte Technologie der WS Wärmeprozess-technik GmbH.

Deutscher **2011**  
Umweltpreis

## Maximale Energie-Effizienz

# FLOX®

INNOVATIVE BRENNER TECHNOLOGIE



WS Wärmeprozess-technik GmbH · Dornierstrasse 14 · D-71272 Renningen / Germany  
Fon: +49 (71 59) 16 32-0 · Fax: +49 (71 59) 27 38 · E-Mail: ws@flox.com

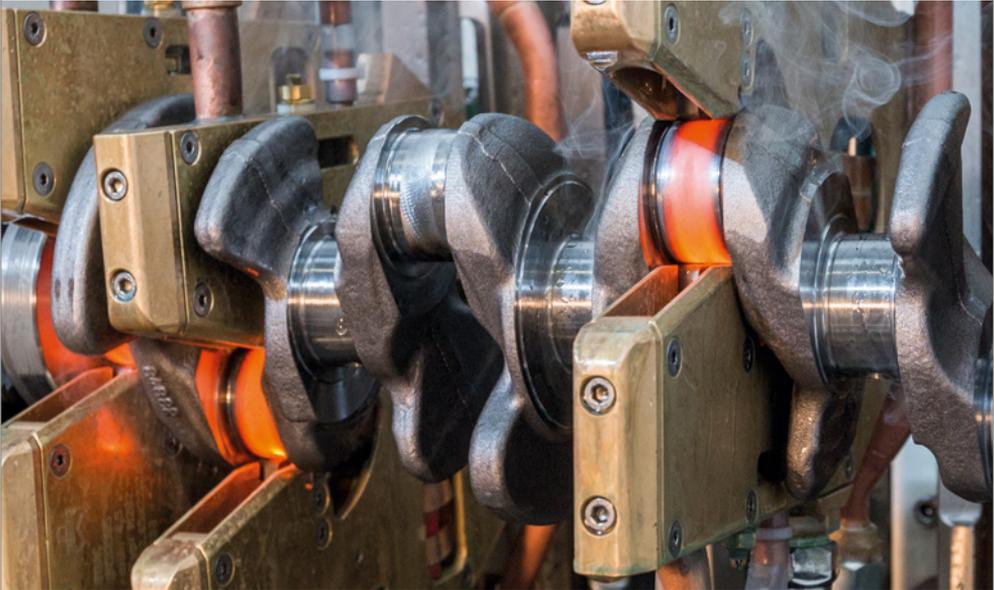
WS Inc. · 8301 West Erie Avenue · Lorain, OH 44053 / USA  
Phone +1 (440) 385 6829 · Fax +1 (440) 960 5454 · E-Mail: wsinc@flox.com

---

# **Handbuch Härtereipraxis**

Verfahren – Anwendungen – Innovationen

# PERFORMANCE IN HARDENING



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.



Kontaktieren Sie uns und besuchen Sie unsere Webseite für weitere Informationen!

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  
www.mafa-alfing.de



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](http://www.dnb.de) abrufbar

*Handbuch Härtereipraxis  
Verfahren – Anwendungen – Innovationen  
Olaf Irretier, Marco Jost (Hrsg.)  
2. Ausgabe 2019*

ISBN: 978-3-8027-3124-2 (Print)

ISBN: 978-3-8027-3125-9 (eBook)

© 2019 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: Marie-Therese Hanschmann, Vulkan-Verlag GmbH, Essen  
Lektorat: Marie-Therese Hanschmann, Vulkan-Verlag GmbH, Essen  
Herstellung: Nilofar Mokhtarzada, Vulkan-Verlag GmbH, Essen  
Umschlaggestaltung: Melanie Zöllner, Vulkan-Verlag GmbH, Essen  
Titelbild: © Inductoheat Europe GmbH  
Satz: Brigitte Schmidt, Schmidt Media Design München  
Druck: AC medienhaus 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

Nach dem erfolgreichen Start des Handbuchs „Härtereipraxis“ im Jahr 2017 halten Sie mit diesem Buch nun die Fortsetzung in Ihren Händen.

Wir möchten mit unserer „Härtereipraxis“ ein Standardwerk der Wärmebehandlungs- und Härtereibranche etablieren. Wir sind sehr zuversichtlich, dass uns dies gelingen wird. Auch dieses Buch zeichnet sich wieder durch viele qualitativ hochwertige Beiträge aus der industriellen Praxis von renommierten Autoren aus und informiert über aktuelle Entwicklungen und Trends.

Dieses Werk basiert auf der Fachtagung „Härtereipraxis“, die wir mit großem Erfolg im Mai 2019 in Dortmund zum dritten Mal veranstalten durften. Viele der auf den beiden letzten Tagungen gehaltenen Vorträge dienten als Grundlage für die Beiträge in diesem Buch. Wir möchten uns an dieser Stelle herzlich bei den Referenten und Autoren bedanken. Ohne Ihre Unterstützung wäre dieses Buchprojekt nicht möglich gewesen!

Die „Härtereipraxis“ fungiert mittlerweile als jährlicher Branchentreff mit einem interessanten Rahmenprogramm. Neben dem Vortragsprogramm werden die Möglichkeiten zur Teilnahme an einer Exkursion in ein branchennahes Unternehmen und weitere umfangreiche Möglichkeiten zum Austausch mit mehr als 100 Fachkollegen mit ausreichend Raum für das persönliche Networking geboten. Neben den Vorträgen können sich die Teilnehmer in Fachgesprächen an etwa 25 Beratungsständen über neue Trends und Entwicklungen in der Branche informieren.

Wir sind der Überzeugung, dass es in unserer Branche eine Fachtagung mit einem besonders hohen praxisbezogenen Nutzen geben muss. Die Fachtagung „Härtereipraxis“ stellt sich dieser Aufgabe.

Das Vortragsprogramm wird in seiner Vielfalt und Qualität von den Teilnehmern sehr geschätzt. Auch in diesem Jahr gaben 100 % der Befragten in den Bewertungsbögen an, dass Sie die Tagung in 2020 wieder besuchen und/oder weiterempfehlen würden. Wir dürfen uns also auch auf die Härtereipraxis 2020 freuen!

Wir möchten dazu beitragen, das Wärmebehandlungswissen in unserer Branche hochzuhalten. Das „Handbuch Härtereipraxis“ leistet wie unsere Tagung einen kleinen Beitrag hierzu!

Herausgeber und Verlag wünschen Ihnen eine angenehme Lektüre!



Dr.-Ing. Olaf Irretier,  
IBW Dr. Irretier GmbH



Dipl.-Ing. Marco Jost,  
IBW Dr. Irretier GmbH



# TOP OF NITRIDING

**PLASMANITRIERANLAGEN**  
MICROPULS® TECHNOLOGIE

**GASNITRIERANLAGEN**  
GASCON TECHNOLOGIE

**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.



**RÜBIG GmbH & Co KG**  
4614 Marchtrenk | Griesmühlstraße 10 | Österreich  
t +43 (0) 7242 / 660 60 | [ht.office@rubig.com](mailto:ht.office@rubig.com)  
[www.rubig.com](http://www.rubig.com)

**RÜBIG** DRIVING  
SUCCESS

## Geleitwort

In den letzten Jahren hat sich eine Veranstaltung in der Wärmebehandlungsfamilie etabliert, die mich sehr an die alten Kolloquiums-Zeiten erinnert, wie es mir schon mein Vater erzählte. Eine gut ausgewogene Mischung aus praxisnahen Vorträgen, die den Teilnehmern einen Mehrwert für ihre eigenen Betriebe bieten, und einem Netzwerken an den Abenden und in den Pausen, das einfach Freude bereitet.

Damit auch all diejenigen, die nicht an den Veranstaltungen teilnehmen konnten, zumindest von den Praxisberichten profitieren können, wurde dieses Buchprojekt ins Leben gerufen. Hier finden Sie alle Informationen, was gerade heute unsere Branche bewegt.

In einer Zeit großer Herausforderungen auf dem Gebiet der Mobilität ist es umso wichtiger, eine „Community“ zu haben, in der Entwicklungen diskutiert werden, zumal die Wärmebehandlungsprozesse und die dazugehörige Anlagentechnik immer ausgefeilter werden, um den jetzigen und zukünftigen Anforderungen zu genügen.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine spannende Lektüre dieses breit aufgestellten Praxiswerkes.



Harald Berger,  
Head of Market Communication,  
Aichelin Holding GmbH

## Dr.-Ing. K. Busch GmbH



Schauinslandstrasse 1  
79689 Maulburg

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

### Über Busch:

Busch Vakuumpumpen und Systeme ist weltweit einer der größten Hersteller von Vakuumpumpen, Vakuumsystemen, Gebläsen und Kompressoren. Das umfangreiche Produktportfolio umfasst Lösungen für Vakuum- und Überdrückenwendungen 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 3.500 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.

### Geschichte:

Busch Vakuumpumpen und Systeme wurde 1963 von Dr.-Ing. Karl Busch und seiner Frau Ayhan Busch gegründet und gemeinsam aufgebaut. Mit der „Huckepack“ entwickelte Dr.-Ing. Karl Busch die erste Vakuumpumpe zur Verpackung von Lebensmitteln. Das Folgeprodukt „R 5“, eine kompakte Drehschieber-Vakuumpumpe, revolutionierte die Lebensmittelverpackung. Einen weiteren Meilenstein stellte die Entwicklung der Schrauben-Vakuumpumpe „COBRA“ dar. Die internationale Expansion der Busch Gruppe begann bereits im Jahre 1971 mit der Gründung einer Vertriebsgesellschaft in Großbritannien. Das erste Fertigungswerk im Ausland entstand 1979 in den USA.

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

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



## Autorenverzeichnis

**Dr.-Ing. Herwig Altena**

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

**Kapitel 1.3****Dipl.-Ing. Frank Andrä**

Inductoheat Europe GmbH  
Ostweg 5  
73262 Reichenbach

**Kapitel 2.2****Dr.-Ing. Hermann Autenrieth**

Robert Bosch GmbH  
Robert-Bosch-Campus 1  
71272 Renningen

**Kapitel 2.1****Harald Berger**

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

**Vorwort****Dipl.-Ing. Sascha Bilz**

Continental Ermitec GmbH  
Hauptstr. 128  
53797 Lohmar

**Kapitel 1.4****Dirk Clever**

Noxmat GmbH  
Am Hange 25  
58119 Hagen

**Kapitel 1.6****Dennis Ganaus**

R.I.E.MPP Industrieservice Elektrotechnik  
GmbH  
Nürtinger Str. 78  
72644 Oberboihingen

**Kapitel 2.2****Dipl.-Ing. Wilfried Goy**

Ehemals EMA Indutec GmbH  
Petersbergstraße 9  
74909 Meckesheim

**Kapitel 5.2****Reinhold Heizmann**

IMS Gear SE & Co. KGaA  
Heinrich-Hertz-Str. 16  
78166 Donaueschingen

**Kapitel 1.6****Gerald Hiller**

ECM GmbH  
Carl-Legien-Straße 15  
63073 Offenbach am Main

**Kapitel 3.2****Reinhard Holeček**

Rübig GmbH & Co KG  
Schafwiesenstrasse 56  
4600 Wels (Österreich)

**Kapitel 3.1****Arnold Horsch**

Arnold Horsch e.K.  
Berghauser Straße 62  
42859 Remscheid

**Kapitel 1.8****Dr.-Ing. Olaf Irretier**

IBW Dr. Irretier GmbH  
Mühsol 44  
47533 Kleve

**Vorwort, Kapitel 1.2****Dipl.-Ing. Marco Jost**

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

**Vorwort, Kapitel 1.2**

**Dr.-Ing. Andreas Karl**

Bodycote Specialist Technologies GmbH  
Rudolf-Diesel-Str. 11  
86899 Landsberg

**Kapitel 4.1****Dr. rer. nat. Jürgen Kern**

EMA Indutec GmbH  
Petersbergstraße 9  
74909 Meckesheim

**Kapitel 5.2****Prof. Dr.-Ing. Peter Krug**

Technische Hochschule Köln  
Betzdorfer Strasse 2  
50679 Köln

**Kapitel 8.1****Hans-Günter Krull**

Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel  
GmbH & Co. KG  
Oberschlesienstraße 16  
47807 Krefeld

**Kapitel 7.1****Marc Lunemann**

K. Schröder Nachf.  
Hemsack 11-13  
59174 Kamen

**Kapitel 1.7****Dipl.-Ing. (FH) Dirk Mäder**

Noxmat GmbH  
Am Hange 25  
58119 Hagen

**Kapitel 1.6****Patrick Margraf**

Härtereier Gerster AG  
Güterstrasse 3  
4622 Egerkingen (Schweiz)

**Kapitel 4.2****Romero Medeiros**

Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel  
GmbH & Co. KG  
Austraße 4  
58452 Witten

**Kapitel 7.1****Dr. Miriam Moritz**

Schweitzer-Chemie GmbH  
Benzstraße 12  
71691 Freiberg/N

**Kapitel 1.5****Artur Nolzen**

Artur Nolzen Industrieofenbau GmbH+Co.KG  
Scheidtstr.9-13  
42369 Wuppertal

**Kapitel 6.1****Felix Nolzen**

Artur Nolzen Industrieofenbau GmbH+Co.KG  
Scheidtstr.9-13  
42369 Wuppertal

**Kapitel 6.1****Rolf Peekel**

HSH Härtetechnik GmbH  
Im Schlop 11  
47559 Kranenburg

**Kapitel 1.6****Dr. Roman Ritzenhoff**

Friedr. Lohmann GmbH Edelstahlgießerei  
Brauckstr. 37  
58454 Witten

**Kapitel 1.9****Dr.-Ing. Hans-Jürgen Rönnecke**

K. Schröder Nachf.  
Hemsack 11-13  
59174 Kamen

**Kapitel 1.7**

**Ass. jur. Christoph Schade**

K. Schröder Nachf.  
Hemsack 11-13  
59174 Kamen  
**Kapitel 1.7**

**Uwe Schmelzing**

Hauck Heat Treatment GmbH  
Walter-Freitag-Straße 25  
42899 Remscheid  
**Kapitel 1.1**

**Dr.-Ing. Markus Schneider**

GKN Sinter Metals Engineering GmbH  
Krebssoege 10  
42477 Radevormwald  
**Kapitel 7.2**

**Dr. Till Schneiders**

Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel  
GmbH & Co. KG  
Auestraße 4  
58452 Witten  
**Kapitel 7.1**

**Dipl.-Ing. Helmut Schulte**

EFD Induction GmbH  
Lehener Str. 91  
79004 Freiburg im Breisgau  
**Kapitel 5.1**

**Dr.-Ing. Hansjürg Stiele**

Hochschule Albstadt-Sigmaringen  
Poststraße 6  
72458 Albstadt  
**Kapitel 5.1**

**Dipl.-Ing., MBA Carsten Stölting**

Aichelin Service GmbH  
Schultheiß-Köhle-Str. 7  
71636 Ludwigsburg  
**Kapitel 2.3**

**Franziska Thume, B.Eng.**

Fachhochschule Südwestfalen  
Frauenstuhlweg 31  
58644 Iserlohn  
**Kapitel 6.2**

**Alexander Ulferts**

Inductoheat Europe GmbH  
Ostweg 5  
73262 Reichenbach  
**Kapitel 2.2**

**Frank van Soest**

Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel  
GmbH & Co. KG  
Oberschlesienstraße 15  
47807 Krefeld  
**Kapitel 7.1**

**Dr. Thomas Waldenmaier**

Robert Bosch GmbH  
Robert-Bosch-Campus 1  
71272 Renningen  
**Kapitel 2.1**

**Dipl. Ing. Gerd Waning**

Linde Aktiengesellschaft  
Am Stadtholz 43  
33609 Bielefeld  
**Kapitel 6.3**

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

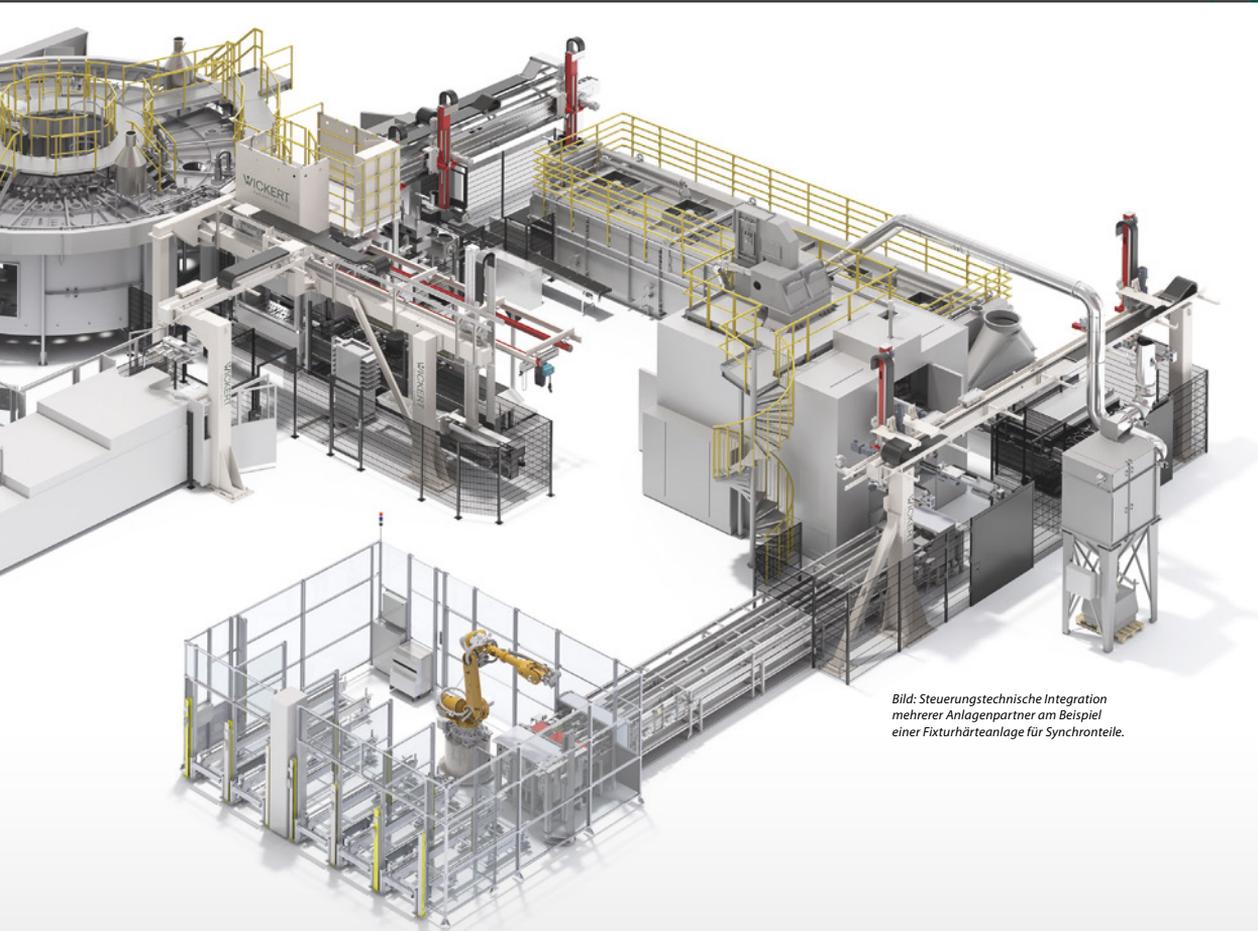
Fachhochschule Südwestfalen  
Frauenstuhlweg 31  
58644 Iserlohn  
**Kapitel 6.2**

**Uwe Zöllig**

Leybold GmbH  
Bonner Str. 498  
50968 Köln  
**Kapitel 1.4**

## FIXTUR- UND PRESSHÄRTEANLAGEN

Fixturhärten, Presshärten, Heißumformen und Abhärten



*Bild: Steuerungstechnische Integration mehrerer Anlagenpartner am Beispiel einer Fixturhärteanlage für Synchronteile.*

### Eine zentrale Steuerung – viele Möglichkeiten für Industrie 4.0

- Wickert LOG: Aufzeichnung aller qualitätsbestimmenden Prozessgrößen
- Wickert LINK: Integration aller Anlagenteilnehmer
- Wickert SAFE: Ein sicherer Anlagenverbund
- Wickert NET: Zentrale Datensatzablage/Verwaltung
- Wickert ECO: Ein standardisiertes Energiemanagement

PRESSEN, PRESSENSYSTEME UND VOLLAUTOMATISIERTE ANLAGEN

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	VII
Geleitwort . . . . .	IX
Autorenverzeichnis . . . . .	XI
Inhaltsverzeichnis . . . . .	XV
<b>1. Härtereipraxis . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Standpunkt: Elektromobilität – das vorbestimmte Ende der deutschen Lohnwärmebehandlung? Eine Prognose für die nächsten zehn Jahre . . . . .	2
1.1.1 Einführung . . . . .	2
1.1.2 Rahmenbedingungen . . . . .	3
1.1.3 Ergebnisse aus der fka-Studie . . . . .	8
1.1.4 Schlussbemerkungen . . . . .	11
1.2 Planung und Beschaffung von Wärmebehandlungsanlagen – Mit Systematik zum Erfolg . . . . .	13
1.2.1 Einführung . . . . .	13
1.2.2 Planungs- und Beschaffungsprozess . . . . .	14
1.2.3 Zusammenfassung . . . . .	32
1.3 Gewichtsreduzierung von Bauteilen durch optimierte Wärmebehandlungsprozesse . . . . .	34
1.3.1 Gewichtsreduzierung von Getriebebauteilen . . . . .	34
1.3.2 Bainitisieren von Schrauben . . . . .	37
1.3.3 Schrauben aus Aluminium . . . . .	39
1.3.4 Höchstfeste Strukturbauteile . . . . .	39
1.3.5 Fazit . . . . .	42
1.4 Planung und Optimierung der Vakuumprozesse in der Wärmebehandlung und deren zentraler Versorgung . . . . .	44
1.4.1 Einleitung . . . . .	44
1.4.2 Thermisches Fügen und Nachbehandeln hitzebeständiger Folien und Mantelrohre bei metallischen Katalysatorträgern . . . . .	44
1.4.3 Gegenüberstellung verschiedener Anlagenkonzepte zum Hochtemperaturlöten und Oxidieren im Batchverfahren . . . . .	45
1.4.4 Anforderungen zur Vakuumversorgung . . . . .	45
1.4.5 Einsatz mehrstufiger Wälzkolben-Pumpstände als Alternative zu Diffusionspumpen . . . . .	47
1.4.6 Zusammenfassung . . . . .	51

1.5	Die 42. BImSchV – Kühlwasser in Härtereietrieben – Herausforderungen und Lösungen	52
1.5.1	Einleitung	52
1.5.2	Hintergrund	52
1.5.3	Anorganische Ablagerungen	52
1.5.4	Korrosionsprodukte	53
1.5.5	Schmutzablagerungen	53
1.5.6	Mikrobiologische Ablagerungen	54
1.5.7	Forderungen der 42. BImSchV	55
1.5.8	Wasseraufbereitung	56
1.5.9	Wasserbehandlung	57
1.5.10	Überwachung und Dokumentation	58
1.5.11	Zusammenfassung	58
1.6	Retrofits an Kammeröfen mit weiterentwickelten Plug & Play Rekuperatorbrennern	61
1.6.1	Retrofit	61
1.6.2	Weiterentwicklung der Brennertechnik	63
1.6.3	Variable Retrofitmaßnahmen sind möglich	64
1.6.4	Step-by-Step-Retrofit	66
1.6.5	Aktuelle Sicherheitsaspekte müssen beachtet werden	67
1.6.6	Ofensteuerung	68
1.6.7	Weitere Retrofitmaßnahmen	68
1.6.8	Fazit	68
1.7	Abwärmenutzung in Härtereien am Beispiel der Wärmerückgewinnung unter Berücksichtigung staatlicher Fördermaßnahmen	70
1.7.1	Einleitung	70
1.7.2	Ermittlung des Energieinhalts	70
1.7.3	Auslegung der Wärmerückgewinnung	72
1.7.4	Ermittlung der Wärmesenken	73
1.7.5	Anwendungsbeispiele bei Industrieöfen	74
1.7.6	Das Energiedienstleistungsgesetz [3] und staatliche Fördermaßnahmen	77
1.7.7	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	80
1.7.8	Zusammenfassung	83
1.8	Zerstörungsfreie Härte-/Gefügeprüfung von wärmebehandelten Teilen/Massenteilen mit Mehrfrequenz-Wirbelstromprüfsystemen	84
1.8.1	Einleitung	84
1.8.2	Historie	84
1.8.3	Warum 100 % Prüfung?	85
1.8.4	Wie funktioniert die Wirbelstromprüfung [4]?	87
1.8.5	Aktuelle Prüfmethoden	89
1.8.6	Praktische Anwendung	93
1.8.7	Zusammenfassung	97

# bonGROUP

EXPERTISE IN HEAT TREATMENT



## BURGDORF OSMIROL NÜSSE

Die Spezialisten für Ihren  
Wärmebehandlungsprozess

### PROZESSSTOFFE DIE MASSSTÄBE SETZEN

#### **ABSCHRECKÖLE**

Hochleistungs- und Mehrbereichs-Abschrecköle,  
Vakuum-Abschrecköle,  
Synthetische Abschreck- und Anlassöle

#### **DURIXOL / MULTIQUENCH**

#### **SYNABOL / SYNANOL**

#### **POLYMER-ABSCHRECKMITTEL**

Intensiv, mild und ölähnlich wirkende Polymer-Produkte  
für das Brausen- und Tauchbadabschrecken

#### **SERVISCOL / POLYQUENCH**

#### **OSMANIL / GLYKOQUENCH**

#### **KORROSIONSSCHUTZMITTEL**

Korrosionsschutz- und Brünierungsmittel

#### **SERVITOL / ISOQUENCH**

#### **SPEZIALREINIGER**

Neutrale und alkalische wässrige Reiniger,  
Reiniger auf Basis von Kohlenwasserstoffen  
und modifizierten Alkoholen

#### **SERVIDUR / SERVICLEAN**

#### **HÄRTESCHUTZMITTEL**

für das Aufkohlen, Gasnitrieren, Nitrocarburieren,  
Plasma- / Pulsplasmanitrieren sowie für das Glühen

#### **CONDURSAL / CONDURON / VACUCOAT**

#### **PROZESSFLÜSSIGKEITEN**

für das Reinigen und Entpassivieren  
vor dem Nitrieren / Nitrocarburieren

#### **NITROSAFE / CITROX II**

1.9	Die CE-Kennzeichnung von Chargiervorrichtungen – sicherer Umgang und Vermeidung von Schadensfällen .....	99
1.9.1	Hintergrund und Motivation .....	99
1.9.2	Einsatzbedingungen von Chargiervorrichtungen in der Wärmebehandlung .....	99
1.9.3	Definition „Lastaufnahmemittel“ nach Maschinenrichtlinie .....	100
1.9.4	Ablauf einer CE-Kennzeichnung .....	101
1.9.5	Die CE-Dokumentation .....	102
1.9.6	Nach der Kennzeichnung ist vor der Kennzeichnung .....	103
1.9.7	Schnittstelle zwischen Hersteller- und Betreiberpflichten (Bild 6) .....	103
1.9.8	Sicherer Umgang mit Chargiervorrichtungen und Vermeidung von Schadensfällen .....	104
<b>2.</b>	<b>Industrie 4.0.</b> .....	<b>107</b>
2.1	Industrie 4.0 – Wärmebehandlungsansätze für Liefer- und Prozessketteneinflüsse .....	108
2.1.1	Einleitung .....	108
2.1.2	Signalverarbeitung .....	108
2.1.3	Umwelteinflüsse .....	116
2.1.4	Variierende Eingangsgrößen .....	120
2.2	Energieeffizientes Induktivhärten im Zeitalter von Industrie 4.0 .....	122
2.2.1	Stufe 1: Datenerfassung .....	122
2.2.2	Stufe 2: Datenauswertung und Handlungsempfehlungen .....	122
2.2.3	Stufe 3: Selbstoptimierung der Maschine .....	127
2.3	#jakob – Mobile Instandhaltungsassistenten für Thermoprozessanlagen .....	129
2.3.1	Assistenzsysteme im Allgemeinen (CMMS-Systeme) .....	130
2.3.2	#jakob – Digitales Assistenzsystem für die Branche .....	130
2.3.3	Objekterkennung .....	132
2.3.4	Objekt- und Ersatzteilerkennung .....	134
2.3.5	Wartungsplanung und Wartungsdurchführung/Informationsbeschaffung .....	136
2.3.6	Monitoring .....	139
2.3.7	Predictive Maintenance .....	139
2.3.8	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	140
<b>3.</b>	<b>Thermochemische Diffusionsverfahren</b> .....	<b>141</b>
3.1	Nitrieren – wie Vorprozesse das Ergebnis beeinflussen .....	142
3.1.1	Einfluss der mechanischen Fertigung .....	143
3.1.2	Zusammenfassung .....	147
3.2	Die vernetzte Härterei – die Herausforderung an die Härtereanlage in der Welt der Industrie 4.0 .....	150
3.2.1	Die nächste industrielle Revolution .....	150
3.2.2	Fertigungskonzepte .....	153

# STANDARDWERK IN NEUER AUFLAGE



Dieses Buch beantwortet wichtige Fragen:

- Metallurgische Verfahrenstechnik der Induktionsanlagen für das Schmelzen, Warmhalten und Gießen
- Aktuelle Zusammenhänge der CO<sub>2</sub>-Diskussion und der Abwärmenutzung

Jetzt im  
Shop bestellen  
und Wissen sichern!

[www.vulkan-shop.de](http://www.vulkan-shop.de)

Erwin Dötsch  
3. Auflage 2019  
Artikelnummer: 31075  
Auch als eBook erhältlich.  
Preis: € 80,-

15% Ermäßigung auf dieses Buch  
EXKLUSIV FÜR PROZESSWÄRME ABONNENTEN

VULKAN VERLAG. FÜR ALLE, DIE MEHR WISSEN WOLLEN.

3.2.3	Automation in der Härterei . . . . .	156
3.2.4	Das ECM Konzept – die vernetzte Härterei . . . . .	158
3.2.5	Fazit . . . . .	158
<b>4.</b>	<b>Oberflächenhärten korrosionsbeständiger Stähle . . . . .</b>	<b>159</b>
4.1	Möglichkeiten des Oberflächenhärtens korrosionsbeständiger Stähle . . . . .	160
4.1.1	Einleitung . . . . .	160
4.1.2	Hochtemperatur-Verfahren . . . . .	160
4.1.3	Niedertemperatur-Diffusion: Kolsterisieren . . . . .	162
4.1.4	Technologische Eigenschaften kolsterisierter Bauteile . . . . .	162
4.1.5	Anwendungen . . . . .	164
4.2	Einsatzhärten von nichtrostenden Stählen mittels Stickstoff . . . . .	168
4.2.1	Einleitung . . . . .	168
4.2.2	Stickstoff in Stahl . . . . .	169
4.2.3	Einsatzhärten von nichtrostenden Stählen . . . . .	170
4.2.4	Kennwerte – Prüfung . . . . .	171
4.2.5	Anwendungsbeispiele . . . . .	172
<b>5.</b>	<b>Induktive Wärmebehandlung . . . . .</b>	<b>175</b>
5.1	Induktionserwärmung – Anwendungen im Automobilbau . . . . .	176
5.1.1	Einleitung . . . . .	176
5.1.2	Wirkprinzip des induktiven Randschichthärtens . . . . .	176
5.1.3	Ausgewählte Beispiele . . . . .	176
5.2	Induktive Wärmebehandlung unter Schutzgas . . . . .	184
5.2.1	Versuche zur Verzunderung beim induktiven Härten . . . . .	184
5.2.2	Härteprozess unter Schutzgasatmosphäre . . . . .	185
5.2.3	Prüfung der Wärmebehandlung . . . . .	187
5.2.4	Ergebnisse . . . . .	188
<b>6.</b>	<b>Vergüten . . . . .</b>	<b>189</b>
6.1	Vollautomatische Vergütung in Kammeröfen – Aspekte zur technisch sinnvollen und wirtschaftlich optimalen Wärmebehandlungstechnik . . . . .	190
6.1.1	Einführung . . . . .	190
6.1.2	Grundlagen . . . . .	191
6.1.3	Vollautomatische Vergütung in flexiblen Kammeröfen – „Nolzen-Vario-Konzept“ . . . . .	193
6.1.4	Zusammenfassung . . . . .	197
6.2	Die Wärmebehandlung von Warmarbeitsstählen mit 5 % Chrom . . . . .	198
6.2.1	Einleitung . . . . .	198
6.2.2	Wärmebehandlung . . . . .	198
6.2.3	Zusammenfassung . . . . .	202

6.3	Einsparungen des CO-Verbrauchs beim Schutzgashärten durch Optimierung der Regelung .....	204
6.3.1	Zusammenfassung .....	204
6.3.2	Einleitung .....	204
6.3.3	Hochtemperaturkorrosion .....	205
6.3.4	Aufkohlung .....	206
6.3.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	211
6.3.6	Fazit .....	213
<b>7.</b>	<b>Höherfeste Stähle und Sinterstähle .....</b>	<b>215</b>
7.1	Verzugsarme Stähle für den automotiven Leichtbau .....	216
7.1.1	Einleitung .....	216
7.1.2	Herausforderungen für neue Stähle im Automobilbau .....	216
7.1.3	Neue Stähle für Leichtbauanwendungen .....	218
7.1.4	Zusammenfassung .....	224
7.2	Einfluss der Nachbehandlung auf die Schwingfestigkeit von Sinterstählen .....	225
7.2.1	Einführung .....	225
7.2.2	Die Rolle der Porosität $f$ und der chemischen Zusammensetzung bei der thermischen oder thermochemischen Nachbehandlung von Sinterstählen .....	228
7.2.3	Praxisbeispiel 1: Carbonitrierbehandlung und Nitrocarburierbehandlung von FD 4600A + 0,3 % C .....	231
7.2.4	Praxisbeispiel 2: Niederdruckaufkohlen und Hochdruckgasabschrecken von Astaloy CrA + 1 % Cu + 0,2 % C .....	234
7.2.5	Praxisbeispiel 3: Plasmanitrieren von AS 4300 + 0,6 % C .....	240
7.2.6	Praxisbeispiel 4: Sinterhärten von Distaloy DH1 + 0,65 % C .....	244
7.2.7	Praxisbeispiel 5: Anlassbehandlung von Distaloy DH1 + 0,65 % C .....	248
7.2.8	Zusammenfassung .....	250
<b>8.</b>	<b>Aluminium .....</b>	<b>253</b>
8.1	Wärmebehandlung von Aluminiumlegierungen .....	254
8.1.1	Einführung .....	254
8.1.2	Lösungsglühen .....	257
8.1.3	Abschrecken .....	259
8.1.4	Auslagern .....	264
8.1.5	Qualitätssicherung .....	270
8.1.6	Zusammenfassung .....	272

# ELTROPULS



Anlagen & Lohnbehandlung vom Spezialisten

Verschleißschutz durch Plasma-  
nitrieren, Plasmanitrocarburieren  
und Oxidieren.

**ELTRO GmbH**

Arnold-Sommerfeld-Ring 3

D - 52499 Baesweiler

Tel.: +49 (0)2401 8097-0

[info@eltropuls.de](mailto:info@eltropuls.de)

[www.eltropuls.de](http://www.eltropuls.de)

# 1. HärtereiPraxis

## 1.1 Standpunkt: Elektromobilität – das vorbestimmte Ende der deutschen Lohnwärmebehandlung? Eine Prognose für die nächsten zehn Jahre

Uwe Schmelzing

### 1.1.1 Einführung

Lohnhärtereien gehören der metallbe- und verarbeitenden Industrie an. Als Spezialbetriebe sind sie auf den Gebieten der Wärmebehandlung und Werkstofftechnik tätig. Die Lohnhärtebranche in Deutschland ist eine typisch mittelständische Zulieferindustrie mit etwa 165 Wärmebehandlungsbetrieben. Sie erwirtschaftete im Jahr 2017 einen Umsatz von rund € 1,3 Mrd. und beschäftigt ca. 6.800 Mitarbeiter. Dem Industrieverband Härtetechnik (IHT) gehörten im Jahre 2017 105 Wärmebehandlungsbetriebe an. Die im IHT zusammengeschlossenen Lohnhärtereien repräsentieren knapp 70 % der Wärmebehandlungsbranche. Von dem Gesamtumsatz werden mehr als 50 % für das Marktsegment „Automobilindustrie“ behandelt.

Die Lohnhärtereien sind Vertreter des industriellen Mittelstands, überwiegend inhabergeführt, mit einer durchschnittlichen Mitarbeiterzahl von rund 35 Personen.

Im Laufe der Fertigung vom Rohteil bis zum Endprodukt fallen in den einzelnen Fertigungsstufen in der Regel mehrere Wärmebehandlungen an. Die sich hierbei ergebende Wertschöpfung kann in Deutschland mit etwa € 10 Mrd. angegeben werden. Die Lohnhärtereien halten davon einen Anteil von etwa 7-8 % und sind in der arbeitsteiligen Wirtschaft ein Bindeglied in der Fertigungskette vom Rohling bis zum Endprodukt. Als Spezialbetriebe der Zulieferindustrie bieten sie aber nicht nur aus technischer Sicht Vorteile für ihre Kunden. Gegenüber den Betriebshärtereien sind die Lohnhärtereien eher in der Lage, Wärmebehandlungen anzubieten, die in einem fairen Kosten-Nutzen-Verhältnis stehen. Auch zukünftig wird die Bedeutung der Lohnhärtereien im Zuge der fortschreitenden Arbeitsteilung und Spezialisierung in der gewerblichen Wirtschaft weiter zunehmen.

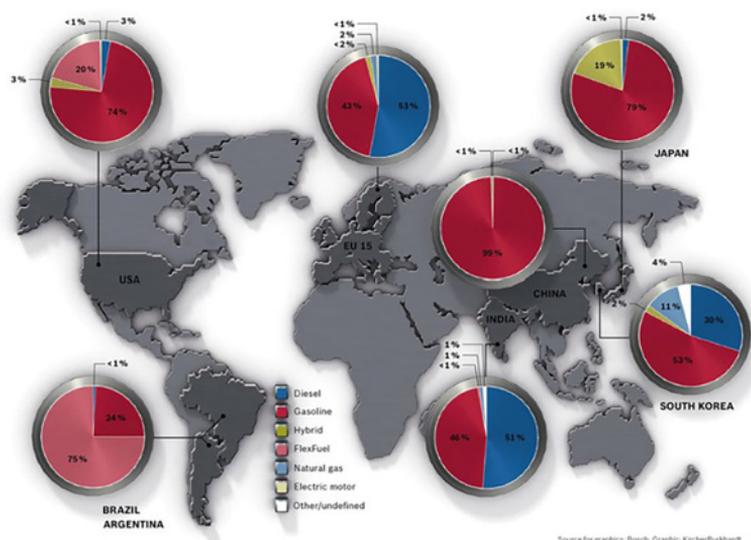
Seit einiger Zeit schweben aber die fortlaufenden Diskussionen über den schnellen Anstieg der E-Mobilität wie ein Damoklesschwert über den Lohnwärmebehandlungsbetrieben, besonders bei denen, die sich vornehmlich mit den Serienbehandlungen aus der Automobilbranche beschäftigen. Prognosen, dass sich durch die E-Mobilität der Anteil wärmezubehandelnder Bauteile, besonders in den Bereichen Antrieb und Fahrwerk, um bis zu 80 % reduziert, beunruhigen die Branche und hinterlassen bei den Unternehmen eine Planungsunsicherheit für Firmen- bzw. Kapazitätserweiterungen. Was alle Prognosen aber gemeinsam haben, ist ihre große Streubreite in den Aussagen. Speziell für den Bereich von massivumgeformten Bauteilen, die auch noch eine Wärmebehandlung erfahren müssen, gab es keine speziellen Analysen, was quantitativ eintreten würde, wenn die E-Mobilität verstärkt den augenblicklichen Markt verändert. Aus diesem Grund haben der Industrieverband Härtetechnik, der Schraubenverband und der Verband der Massivumformer die Forschungsgesellschaft Kraftfahrtwesen in Aachen (fka) beauftragt, für diese Branchen eine eigene Zukunftsprognose zu erstellen. Hierzu wurden neben umfangreichen Literaturrecherchen besonders die Bereiche Antrieb und Fahrwerk von drei Referenzfahrzeugen an realen Bauteilen analysiert. Für diese umfangreiche Analyse wurde jeweils ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (ICE), ein Voll-Hybrid (HEV) und ein batterieelektrisches Fahrzeug (BEV) komplett zerlegt, katalogisiert und die Anzahl und das Gewicht der Bauteile mit einer Wärmebehandlung miteinander verglichen.

## 1.1.2 Rahmenbedingungen

Bevor die Detailanalyse der Referenzfahrzeuge vorgestellt wird, müssen die Rahmenbedingungen für eine funktionierende Einführung der E-Mobilität im größeren Stil in Deutschland angesprochen werden. Wenn man sich mit den Themen Energieversorgung in Deutschland, Rohstoffversorgung für die Fertigung von Batterien und Verteilung der globalen Märkte hinsichtlich Antriebstechnik, Wünschen und Erwartungen der Kunden, gefährdeten Arbeitsplätzen, aktuellen Verkaufszahlen von E-Fahrzeugen, Gesundheitsproblemen durch CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Feinstaub detaillierter und intensiver beschäftigt, kann man zu dem Gedanken gelangen, dass eine Voraussage über einen signifikanten Anstieg von verkauften E-Mobilen in unserem Land der „Kunst des Hellsehens“ gleichkommt.

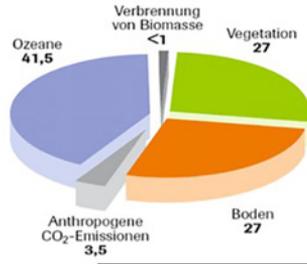
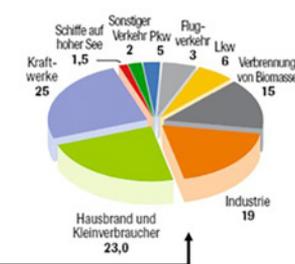
2010 wurde ein Grenzwert für NO<sub>x</sub> in Höhe von maximal 40 µg/m<sup>3</sup> im Jahresdurchschnitt eingeführt. Jetzt haben wir eine sogenannte Dieseldieselkrise, ausgelöst durch Messungen in den USA, bei denen die ermittelten NO<sub>x</sub>-Werte stark von denen der Hersteller abwichen. Hervorgerufen wurde dies durch eine manipulierbare Software und eigenwillige Prüfkriterien. Erstaunlicherweise kam der Start der Dieseldieselkrise aus einem Land, wo der Anteil der Dieselfahrzeuge bei < 3 % liegt. **Bild 1** zeigt, dass Dieselfahrzeuge überwiegend in Europa, Indien und Südkorea anzutreffen sind, in Europa und Indien mit einem Anteil von mehr als 50 %. Auf allen anderen Kontinenten und in den übrigen Ländern ist der Anteil gering.

Obwohl dieser Grenzwert schon seit einigen Jahren vorliegt, ist er doch erst durch die Dieseldieselkrise in die täglichen Schlagzeilen geraten. Medien berichten, dass durch die Stickstoffoxide jährlich tausende Menschen sterben. Diese Meldungen sind dramatisch, schrecken auf und verunsichern die Bürger. Aussagen von Medizinern, nur durch einen erhöhten Stickstoffoxidanteil sei noch nie ein Mensch gestorben, sind zu interpretieren. Es ist auch zweifelhaft, ob schon bei leichten Überschreitungen des Grenzwertes von 40 µg/m<sup>3</sup> den Menschen überhaupt eine dauerhafte Schädigung zugefügt werden kann. Vergleicht man den Grenzwert mit dem eines Industriearbeitsplatz in Deutschland, so liegt der Grenzwert bei 950 µg/m<sup>3</sup> für einen Arbeitstag mit 8 Stunden, 40 Stunden in der Woche und 45 Arbeitsjahren. Dieser Wert wird begründet mit der Erklärung, dass an einem Arbeitsplatz nur gesunde Menschen tätig sind. Im Straßenverkehr müssen aber auch



**Bild 1:** Verteilung Dieselfahrzeuge weltweit (Quelle: Bosch. Graphic: KircherBurkhardt)

in Prozent

**Gesamte CO<sub>2</sub>-Emissionen**  
ca. 800 Gt/Jahr

**Anthropogene CO<sub>2</sub>-Emissionen**  
Insgesamt 28 Gt/Jahr


Quelle: TU Wien zit. in VDA, Auto-Jahresbericht 2008, Frankfurt/M. 2008, S. 158.

**Bild 2:** Globale CO<sub>2</sub>-Emissionen (Quelle: TU Wien)

empfindlichere Menschen, wie Kranke, Schwangere oder Ältere, geschützt werden. Eine Debatte ohne Sieger, denn es wird immer Vergleiche geben, die den Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> infrage stellen. Der Inhalt einer gerauchten Zigarette zeigt einen vielfach höheren NO<sub>x</sub>-Wert (500 µg). Gasherde in der Küche, ein Kamin im Wohnzimmer, brennende Kerzen beim Candle-Light-Dinner oder ein Holzkohlegrill – alles müsste verboten werden, weil auch hier die Werte um ein Vielfaches höher sind und der Kontakt mit empfindlicheren Personen nicht zu verhindern ist. Seit 1990 hat sich der Ausstoß der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Dieselfahrzeuge um ca. 55 % reduziert. Bis zum Anfang der sogenannten Dieselkrise vor ca. vier Jahren war die heutige NO<sub>x</sub>-Problematik kein großes Medienthema, auch nicht in früheren Jahren, wo die Belastungen deutlich höher waren. Zweifellos sind für die gemessenen, erhöhten NO<sub>x</sub>-Werte in unseren Städten, hervorgerufen durch den Straßenverkehr, die Dieselfahrzeuge hauptverantwortlich. Trotzdem sollte man aber erwähnen, dass der durch den Verkehr verursachte Stickstoffoxidanteil zum Gesamtstickstoffoxidanteil in der Luft bei < 40 % liegt.

Ein weiteres Thema bei der Luftverschmutzung ist Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). In der Atmosphäre liegt der Anteil bei 0,038 %. Menschen brauchen CO<sub>2</sub>, weil selbst dieser geringe Anteil die Atemfrequenz mitsteuert und Grünpflanzen das CO<sub>2</sub> im Zuge der Photosynthese in Glucose und Sauerstoff umwandeln, den die Menschen zum Atmen benötigen. CO<sub>2</sub> ist auch ein Bestandteil der sogenannten Treibhausgase und auch hier zeigt es eine erstaunliche Wirkung: Nur durch das Vorhandensein der Treibhausgase inklusive des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre gibt es eine für den Menschen lebensmögliche Temperatur. Ohne diese Treibhausgase würden auf der Erde Temperaturen von durchschnittlich -18 °C herrschen, also eine permanente Eiszeit, in der ein Leben wie man es kennt nicht möglich wäre. Kaum einer weiß, dass die Erde 96,5 % des gesamten CO<sub>2</sub>-Anteiles in der Atmosphäre selbst erzeugt. Der durch den Menschen erzeugte Anteil beträgt 3,5 %, wobei in diesen Prozentsätzen Meinungsunterschiede zwischen den Wissenschaftlern bestehen. Man kann das CO<sub>2</sub> nach Verursachern nicht getrennt messen, sondern nur mathematisch bestimmen (**Bild 2**). Von den 3,5 % vom Menschen produzierten CO<sub>2</sub>, also dem anthropogenen Emissionsanteil, liegt der durch den gesamten Straßenverkehr erzeugte Anteil bei ca. 13 %. Beim CO<sub>2</sub> sind die größten Erzeuger die Kraftwerke, die Industrie sowie der Hausbrand und die Kleinverbraucher mit ca. 70 %. Um neue Ziele zu erreichen, beraten die Staatschefs fast aller Weltstaaten im Rahmen der Vertragsstaatenkonferenz (COP) über neue Klimaschutzstrategien und -verpflichtungen. Deutschland nimmt in diesem Prozess, vor allem bei der Umstellung auf erneuerbare Energien und in den Anforderungen an eine energieeffiziente Industrie, eine Vorreiterrolle ein. In Europa strebt man eine Verbesserung an und würde auch die Automobilunternehmen mit Strafzahlungen in Milliardenhöhe ab 2021 belegen, wenn die von der EU vorgegebenen CO<sub>2</sub>-Grenzwerte nicht eingehalten werden. In Deutschland sollen zudem die Kohlekraftwerke in den nächsten Jahren geschlossen werden. Gleichzeitig dürfen aber Schwellenländer wie China, Indien und afrikanische Staaten, die heute

schon für mehr als 60 % des weltweiten CO<sub>2</sub>-Aufkommens verantwortlich sind, bis zum Jahre 2030 unbegrenzt weiter CO<sub>2</sub> ausstoßen. Allein China und Indien haben heute zusammen ca. 3.700 Kohlekraftwerke und weitere 600 sind nur in diesen beiden Ländern im Bau. Weltweit werden gerade ca. 1.400 neue Kohlekraftwerke errichtet. Der von Deutschland erzeugte Anteil des weltweiten anthropogenen CO<sub>2</sub> beträgt 0,00024 %. Dafür zahlen Bürger und Unternehmen jährlich ca. € 50 Mrd. an Steuern bzw. Umlagen.

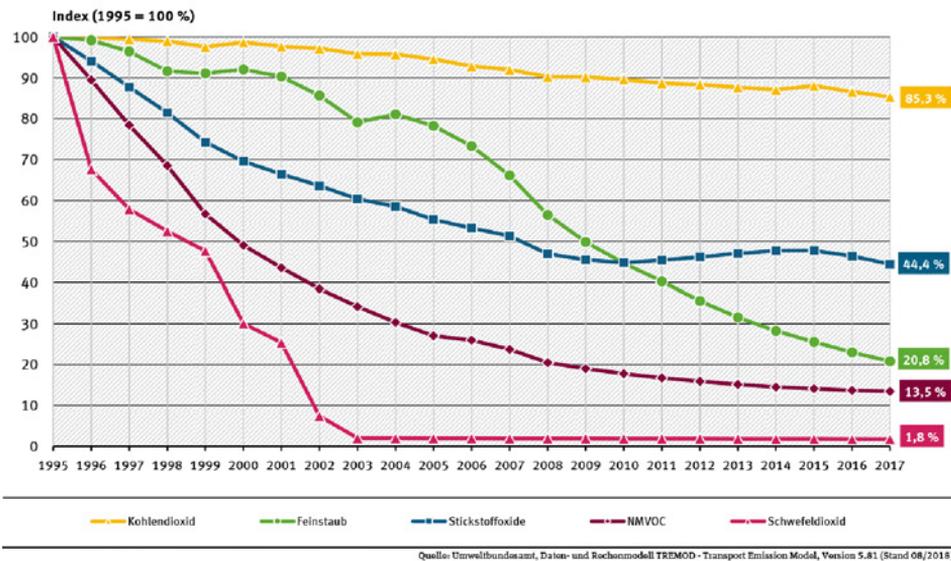
Zudem bewirkt die Europäische Union mit ihren Vorgaben für die Automobilindustrie einen Wettbewerbsnachteil, weil die zukünftigen CO<sub>2</sub>-Vorgaben für die nicht europäischen Automobilhersteller geringer ausfallen. So wurde der CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Pkw-Kilometer von 2015 bis 2020 gesetzlich von 130 auf 95 g pro km gedrückt. Der zulässige Grenzwert für 2030 soll 59 g pro km betragen. Das entspricht einem Verbrauch von 2,2 l Diesel pro 100 km oder 2,6 l Benzin pro 100 km. Da diese Zahlen ingenieurtechnisch unrealistisch sind, können sie von den Herstellern in einen sogenannten fiktiven Flottenverbrauch umgerechnet werden. So würde beispielsweise der Flottenverbrauch einem Pkw-Hersteller erlauben, im Jahre 2030 noch 29 % konventionelle Autos mit einem Verbrauch von 7,5 l Diesel pro 100 km zu verkaufen, wenn 71 % seiner Produktion aus Elektro-Pkw besteht. Auch eine Aufteilung von 50/50 wäre vorgabekonform, falls die konventionellen Pkw nur noch 4,4 l pro 100 km benötigen.

Was die Menschen wirklich gesundheitlich belastet, ist der Feinstaubanteil in der Luft. Die öffentlichen Diskussionen bei der Feinstaubproblematik sind noch nicht so entbrannt wie beim Stickstoffdioxid. Für den Feinstaub sind die Sonne und der Wind treibende Kräfte für regionale Überbelastungen, gerade in Städten mit einer sogenannten Kesselwirkung, wie z. B. in Stuttgart, oder bei Inversionswetterlagen. Die Sonne erwärmt den Boden, warme Luft steigt auf, kühlt ab und sinkt wieder zu Boden. Durch diese „Walze“ wird auch Feinstaub aufgewirbelt, wenn der Boden trocken ist. So lassen sich bis zu 30 µg/m<sup>3</sup> Feinstaub, (40 µg/m<sup>3</sup> ist der Grenzwert) direkt auf die Sonneneinwirkung zurückführen. Dazu kommen noch andere meteorologische Effekte. Extremwerte bei der Feinstaubbelastung entstehen beispielsweise im Winter. Die „Walze“ der untersten Luftschicht hat normalerweise eine Dicke von etwa 2.000 m. Wenn sich auf diese Luftschicht kalte Luft legt, verdichtet sich die „Walze“ auf 200 bis 300 m, entsprechend erhöhen sich dann auch die Feinstaubwerte, die gemessen werden. 5 bis 8 µg kommen aus dem Autoverkehr, 2 bis 4 µg davon aus Abgasen und dann wirbeln Autos, unabhängig ob mit Diesel, Benzin oder elektrisch angetrieben, selbst Feinstaub auf. Nicht unwesentliche Anteile werden durch Reifenabrieb und Bremsenabrieb hervorgerufen. Diese Anteile sind auch durch Fahrzeuge mit Elektroantrieb nicht vermeidbar.

Bei allen Diskussionen über die Luftverschmutzung in Verbindung durch den Verursacher „Kraftfahrzeuge“ kann man auch Erfolge verzeichnen. Seit 1995 werden fortlaufend die Pkw-spezifischen Emissionen ermittelt. Dabei zeigt sich beim Feinstaub eine Reduzierung von ca. 80 %, hervorgerufen u. a. durch den Einbau von Rußfiltern und Katalysatoren (**Bild 3**).

Auch die Stickstoffoxide konnten um 55 % gesenkt werden. Der Anteil an Schwefeldioxid hat sich um mehr als 98 % verbessert. Obwohl sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Pkw durch die geforderten Grenzwerte reduziert hat, konnte in Deutschland aber kaum eine deutliche Veränderung des Gesamt-CO<sub>2</sub>-Wertes nachgewiesen werden. Wenn man in die Dieseltechnologie für Weiterentwicklungen hinsichtlich NO<sub>x</sub>-Emissionen so investieren würde wie in die E-Mobilität und die älteren Dieselmotoren nach und nach ausgemustert würden, wäre man auch hier auf einem guten Weg. Auch bei den Benzinmotoren muss man nicht permanent die Leistung nach oben treiben und dadurch auch den Schadstoffanteil erhöhen.

Der vor Jahren prognostizierte Anstieg der Elektromobilität ist bis heute noch nicht eingetreten. Der Anteil reiner Elektrofahrzeuge an den Gesamtzulassungszahlen lag im Jahre 2018 in Europa bei etwa 1,5 %. Nur Norwegen und die Niederlande sind hier aufgrund hoher staatlicher Förderungen eine Ausnahme. Auch in den USA betrug der Anteil nur ca. 1 %. Der Anteil in China wird mit 3,4 % beziffert, aber mehr als 95 % dieser Fahrzeuge sind in den staatlichen Fuhrparks. Dazu werden die lokalen Behörden mit Subventionen unterstützt. Das bedeutet: vom Staat für den Staat.



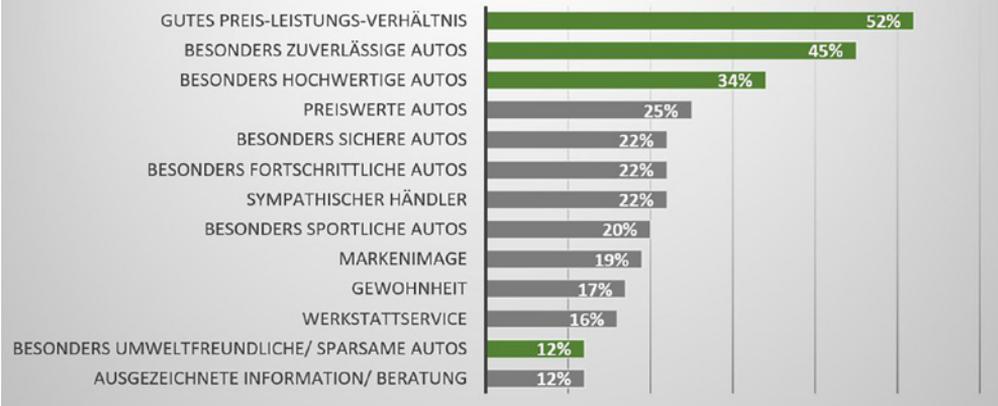
**Bild 3:** Spezifische Emissionen Pkw (Quelle: Umweltbundesamt, Daten- und Rechenmodell TREMOD, Version 5.81 (Stand 08/2018))

Sieht man sich die Zukunftsprognosen unterschiedlicher Institute an, erkennt man, dass man bis zum Jahre 2027 kaum mit einer Reduzierung in der Anzahl von Verbrennungsmotoren rechnet. Zwar wird der Anteil der E-Fahrzeuge steigen, aber nicht auf Kosten der Verbrennungsmotoren, sondern als Mehrumsatz. Es gibt aber auch große Unterschiede in den Prognosen, besonders, wenn man langfristig bis 2050 prognostiziert. Es bleiben also nur Prognosen, aber für die nächsten zehn Jahre wird die E-Mobilität nicht viele Arbeitsplätze gefährden, auch wenn einzelne Hersteller den aktuell angekündigten Stellenabbau damit begründen.

Wenn man betrachtet, welche Kriterien beim Autokauf in Deutschland 2018 für den Käufer wichtig waren (**Bild 4**), erkennt man, dass besonders umweltfreundliche bzw. sparsame Autos nicht das oberste Ziel waren. Hier lagen ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis, besondere Zuverlässigkeit und besonders hochwertige Autos im oberen Bereich des Rankings. Um den Kauf rein elektrifizierter Fahrzeuge für den Konsumenten attraktiver zu gestalten, müssen in den Bereichen Reichweite, Tank- und Ladedauer, Zuladung, Infrastrukturbegebenheiten und beim Fahrzeugpreis zeitnah deutliche Verbesserungen erzielt werden.

Beim Thema elektrifizierte Mobilität muss man sich auch mit der Stromversorgung in Deutschland beschäftigen. Im Jahre 2018 bestand der Energieträgermix in Deutschland u. a. aus 11,8 % Kernenergie und 35,6 % Kohleenergie bei einer Bruttogesamtstromproduktion in Höhe von 642,4 TWh. Beides will man in Deutschland nicht mehr haben und so wurde auch der jeweilige Ausstieg politisch beschlossen, mit finanziellen Entschädigungen für betroffene Regionen. Was aber nicht so nachvollziehbar mitgeteilt wird, sind die Zukunftsaussichten hinsichtlich der Stromversorgung. Ist es möglich, den heutigen Anteil an Kern- und Kohleenergie von fast 50 % vom Gesamten aus erneuerbaren Energien zu gewinnen? Das letzte Atomkraftwerk in Deutschland soll 2022 abgeschaltet werden und eine eventuell rasch steigende E-Mobilität auf den Straßen würde den heutigen Gesamtstromverbrauch noch erhöhen. Wären heute sämtliche Pkw in Deutschland mit Strom betrieben, würde das ca. 30 % vom heutigen zur Verfügung stehenden Gesamtstromvolumen ausmachen. Es sei daran erinnert, dass im Jahr 2000 etwa 170 TWh Strom aus den deutschen

## Gründe für die Markenwahl beim Autokauf in Deutschland 2018 in %



**Bild 4:** Gründe für Markenauswahl (Quelle: Adesion/Automobilwoche)

Kernkraftwerken in das Netz eingespeist wurden. Das war mehr, als alle Wind- und Photovoltaikanlagen im Jahre 2018 zusammen produzierten (160 TWh). Mit dem Atomstrom konnten jährlich über 170 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen aus konventionellen Kraftwerken vermieden werden. Indem man diese Anlagen sukzessive abschaltete, entstanden Probleme bei der Energiebilanz sowie die gegenwärtigen Probleme beim Kohleausstieg, beim Netzausbau und der Netzstabilität.

Ein viel größeres Problem als die Frage, wo der Strom herkommt, ist in Deutschland das Niederspannungsnetz. Jeder Haushalt in Deutschland ist auf 1,3 kW ausgelegt. Daher können nicht alle abends nach der Rückkehr von der Arbeit ihre Fahrzeuge gleichzeitig wieder aufladen. Dann würde das Licht in den Städten ausgehen. Dies ist auch ein Grund dafür, dass viele Städte und Gemeinden trotz öffentlicher Förderung eine Schnellladestation auf eigenem Grund und Boden oft unterlassen. Ein neues Niederspannungsnetz wäre erforderlich, die Kosten für das gesamte Bundesgebiet beliefen sich auf ca. € 300 Mrd. Eine weitere Hürde: Wer soll es austauschen? Hierfür fehlen Unternehmen in ausreichender Zahl. Nach Hochrechnung von Experten aus der Energieversorgungsbranche könnte das Jahrzehnte dauern. Zudem wären die deutschen Städte über Jahrzehnte eine Dauerbaustelle.

Um das augenblickliche Verhältnis Elektroauto zu Ladestation bei 5:1 halten zu können, entsteht ein zusätzlicher Investitionsbedarf in die Ladeinfrastruktur. Der Investitionsbedarf entsteht sowohl in der Stadt zur Vermeidung von Unterversorgung, als auch auf Autobahnen und Bundesstraßen, um eine durchgehende E-Mobilität zu gewährleisten. Für den Bau und die Wartung werden durchschnittlich € 2.000 pro Ladestation angesetzt. Die notwendigen Bauinvestitionen werden vom Staat getragen, da der Aufbau von Schnellladestationen überwiegend im Rahmen von Förderprogrammen erfolgt.

Wenn man das Thema Batterie beleuchtet, darf man nicht die dafür notwendigen Rohstoffe vergessen, besonders Lithium und Kobalt. Beide Rohstoffe haben in den letzten vier Jahren eine Preiserhöhung erfahren. Besonders Kobalt sollte extra erwähnt werden. Kein Staat besitzt größere Vorräte an Kobalt als der Kongo, ein Land, das nach jahrzehntelangen Kriegen zu den ärmsten der Welt