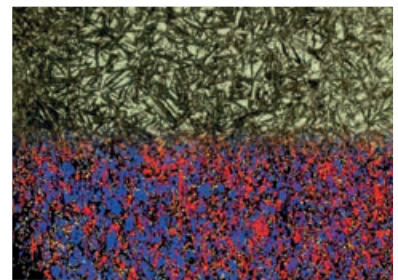




Arbeitsgemeinschaft  
Wärmebehandlung + Werkstofftechnik e.V.



Härtereikongress 2018



AWT-Seminare



Auszeichnung für Prof. Mädler

- A2 Editorial / Die Fachausschüsse der AWT
- A4 Vermeidung von Sperrschichten auf nitrierten Bauteilen – Eine Anleitung zum Handeln (Teil 1)
- A8 AWT-Seminar Carbonitrieren
- A9 Neuigkeiten zum Härtereikongress 2018
- A10 Aktuelle Termine
- A11 IWT-Direktor Lutz Mädler erhält ERC Advanced Grant
- A12 Mitglieder-News
- A13 Arbeitsblatt Forschung – Carbonitriersensorsystem II
- A17 Mitglied werden / Become a member



## Liebe Freunde und Mitglieder der AWT,

die AWT e. V. mit Sitz in Bremen fördert die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wärmebehandlung und Werkstofftechnik sowie der Verfahrens- und Fertigungstechnik. Die Großzahl der in der AWT aktiven Mitgliedsunternehmen kommt aus dem Mittelstand und hat ein hohes innovatives Potenzial. Nicht alle Mitgliedsunternehmen haben die Möglichkeit, im eigenen Haus umfangreiche Forschungsarbeit zu betreiben.

Als Gründungsmitglied der ‚Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e. V.‘ (AiF) liegt der Focus der AWT seit jeher auf der mittelständisch orientierten Industriellen Gemeinschaftsforschung. In Verantwortung der AWT werden jährlich im Durchschnitt sechs Projekte auf dem Gebiet der Industriellen Gemeinschaftsforschung angestoßen.

Die AWT e.V. ist, gemeinsam mit Land Bremen, Stiftungsgeber des international renommierten Leibniz-Instituts für Werkstofforientierte Technologien (IWT), ebenfalls mit Sitz in Bremen. Im Bremer IWT werden Projekte und Forschungsvorhaben aus den Themengebieten der AWT e. V. bearbeitet. Die Umsetzung der erlangten Erkenntnisse in die industrielle Praxis steht dabei im Vordergrund.

Die derzeit 18 aktiven Fachausschüsse der AWT e. V. sind der Innovationsmotor der AWT. Sie initiieren und begleiten Forschungs- und Entwicklungsprojekte in ihrem Arbeitsgebiet. Sie bieten den Mitgliedsunternehmen die Möglichkeit, durch die aktive Mitarbeit Teil des Wissens-Netzwerkes zu werden, vor allem aber, an den Innovationen teilzuhaben.



4. Workshop der Leiterinnen und Leiter der Fachausschüsse im Beisein von Mitgliedern des AWT-Vorstands und der Mitarbeiterinnen der AWT-Geschäftsstelle.

### Themenstellungen in den Fachausschüssen der AWT

- FA 3 Nitrieren und Nitrocarburieren
- FA 4 Einsatzhärten
- FA 8 Sicherheit in Wärmebehandlungsbetrieben
- FA 9 Thermische Randschichttechnologien
- FA 10 Funktionelle Schichten
- FA 11 Abschrecken
- FA 12 Härteprüfung
- FA 13 Eigenspannungen
- FA 14 Bauteilreinigung
- FA 15 Maß- und Formänderung
- FA 16 Energieeffizienz
- FA 18 Werkstofforientierte Fertigung
- FA 20 Sensorik in der Wärmebehandlung
- FA 21 Gefüge und mechanische Eigenschaften
- FA 22 Sprühkompaktieren / Schmelzezerstäubung
- FA 23 Ressourcenschonende Metallbearbeitung
- FA 24 Wärmebehandlung von Nichteisenmetallen
- FA 25 Qualitätssicherung in der Wärmebehandlung

Die zentralen Aufgaben der Fachausschüsse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Bearbeitung von industriellen und wissenschaftlichen Themenstellungen
- Definition des Wissensstandes der einzelnen Fachgebiete
- Initiieren von praxisnahen Forschungsprojekten für die Industrielle Gemeinschaftsforschung
- Begleitung der Forschungsvorhaben in projektbegleitenden Ausschüssen
- Umsetzung der erlangten wissenschaftlichen Erkenntnisse in die industrielle Praxis
- Aufspüren und Aufgreifen von Zukunftsthemen
- Netzwerkbildung und Austausch mit vorwettbewerblichem Charakter
- Normenarbeit
- Verfassen und Veröffentlichung von Richtlinien und Monographien
- Vorträge auf dem Härtereikongress

Die positive Wahrnehmung der Fachausschussarbeit in der Industrie lässt sich für das Jahr 2017 mit folgenden Fakten belegen: Es haben 29 Sitzungen stattgefunden, an denen fast 700 Fachleute teilgenommen haben. Ungeachtet dieser erfreulichen Entwicklung arbeiten wir weiter daran, das Interesse für die Fachausschussarbeit und die projektbegleitenden Ausschüsse

auch bei den jüngeren Mitgliedern der AWT zu wecken. Wir sind der festen Überzeugung, dass, ungeachtet der Wissensbereitstellung im Internet, der Moment des aktiven Austausches, das Fachgespräch, die Diskussion von Erfahrungswissen und der sogenannte ‚Blick über den Tellerrand‘ gleichermaßen oder sogar erfolgreicher zur umfassenden Wissensgenerierung führt.

Nicht ohne Grund haben sich im März dieses Jahres die Leiterinnen und Leiter der Fachausschüsse erneut zum gemeinsamen Workshop in Würzburg getroffen. Der intensive Austausch und die gegenseitige Information über die Arbeitsschwerpunkte in den Fachausschüssen ermöglicht die so wichtige Vernetzung in fachübergreifenden Themenschwerpunkten und die persönliche Diskussion in diesem Kreis. Im Mittelpunkt des letzten Workshops stand jedoch mehr denn je die umfassende Diskussion der Auswirkung aktueller Technologietrends auf die Belange der Wärmebehandlung und Werkstofftechnik.

In der AWT-Info finden Sie regelmäßig Informationen über Veröffentlichungen und Veranstaltungen der Fachausschüsse. Die aktuelle AWT-Info enthält den ersten Teil einer Handlungsanleitung des Fachausschusses 3 ‚Nitrieren und Nitrocarburieren‘ zur Vermeidung von Sperrschichten bei zu nitrierenden Bauteilen, darüber hinaus aktuelle Termine und Orte zu den Fachausschusstreffen.

Weitere Informationen über die Arbeitsschwerpunkte der einzelnen Fachausschüsse sowie den Kontakt zu den Leiterinnen und Leitern finden Sie unter [www.awt-online.org/fachausschuesse.html](http://www.awt-online.org/fachausschuesse.html).

Sichern Sie sich Ihren Wissensvorsprung und engagieren Sie sich in unserer AWT – es lohnt sich!

Mit herzlichen Grüßen

Ihr



Rainer Braun

AWT Vorstand / Koordinator der Fachausschüsse

#### Dipl.-Ing. Rainer Braun

Geschäftsführender Gesellschafter  
Burgdorf GmbH & Co. KG, Stuttgart

53 Jahre alt, verheiratet, 3 Kinder

1991 Beendigung des Studiums Maschinenwesen  
an der Universität Stuttgart

1996 Eintritt in die Burgdorf KG

2005 Geschäftsführender Gesellschafter von  
Burgdorf / Nüssle / Osmirol (BON)  
Persönliches AWT-Mitglied

2010-2013 Mitglied des Verwaltungsrats der AWT

seit 2013 Mitglied des Vorstands der AWT

- Mitarbeit in den Fachausschüssen FA 8 ‚Sicherheit in Wärmebehandlungsbetrieben‘, FA 9 ‚Thermische Randschichttechnologien‘, FA 11 ‚Abschrecken‘ und FA 14 ‚Bauteilreinigung‘
- Mitarbeit in den Fachgremien der ASM und der IFHTSE
- Mitarbeit in Projektbegleitenden Ausschüssen von AiF-Projekten des Leibniz-IWT.
- Vorträge bei nationalen und internationalen Tagungen sowie bei Härterekreis-Veranstaltungen

#### Impressum

Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung + Werkstofftechnik e. V. (AWT)

Paul-Feller-Straße 1 | 28199 Bremen | Tel. +49 421 5229-339

Fax +49 421 5229-041 [info@awt-online.org](mailto:info@awt-online.org) | [www.awt-online.org](http://www.awt-online.org)

V. i. S. d. P. : Sonja Müller | Gestaltung: agenturimtum | Bildnachweis: AWT,

Titelbild: simfo - iStockphoto.com, Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien (IWT Bremen), ALD Vacuum Technologies GmbH

# Vermeidung von Sperrschichten auf nitrierten Bauteilen – Eine Anleitung zum Handeln

Rainer Braun, Dr.-Ing. Heinrich Klümper-Westkamp, Dr.-Ing. Uwe Huchel, FA 3 Nitrieren und Nitrocarburieren  
19.01.2015 / Teil 1 (Teil 2 folgt in der HTM Ausgabe 4/2018)

Die lebhafteste Diskussion zu Fragen der Prozessfähigkeit in der Wärmebehandlung führte bereits im Jahr 2005 beim AWT-Fachausschuss 3, „Nitrieren und Nitrocarburieren“, zur Bildung einer Arbeitsgruppe, die einen Vorschlag zur Festlegung der Prozessfähigkeit für die thermochemischen Wärmebehandlungsverfahren Nitrieren und Nitrocarburieren erarbeitet und veröffentlicht hat. Es wurde gezeigt, dass ganz bestimmte Anforderungen an das Bauteil selbst, den Herstellungsprozess und an die Wärmebehandlungsanlage zu stellen sind. Es ist zwischen einer Prozessfähigkeit der Bauteile und einer Prozessfähigkeit der Anlage zu unterscheiden.

In einer neuen Ausarbeitung ‚Vermeidung von Sperrschichten auf nitrierten Bauteilen – Eine Anleitung zum Handeln‘ hat eine fünfköpfige Arbeitsgruppe sich diesem Thema gewidmet. Im Internet steht die Anleitung auf der Seite des FA 3 der AWT zum Download bereit.

## 1 Einleitung

Die Ursachen für Abweichungen in der Härte, der Härtetiefe, der Verbindungsschichtdicke oder im Maß- und Formänderungsverhalten nach dem Nitrieren und Nitrocarburieren können sehr vielfältig sein. Im Bild 1 ist eine ungleichmäßige Nitrierschichtausbildung auf einer Welle zu sehen, die aus dem Stahl X2NiCoMo18-9-5 hergestellt wurde. An einigen Stellen fehlt die Nitrierschicht vollständig und es war nicht zum gewünschten Härteanstieg gekommen.



Bild 1: Störung im Aufbau der Nitrierschicht durch Passivierung

Eine häufige Fehlerquelle liegt darin begründet, dass dem Wärmebehandler die Teilvergeschichte nicht bekannt ist, er folglich nicht weiß, wie er am besten reinigen soll oder dass vorgeschaltete Prozessschritte geändert wurden. So ist es möglich, dass Kühlschmierstoffe von der mechanischen Bearbeitung beim Waschen nicht vollständig beseitigt werden und den Nitrierprozess behindern. Andere Ursachen können in nicht bekannten Wechsel-

wirkungen im Waschprozess selbst liegen, auch wenn der Reiniger auf die Fertigungshilfsmittel optimal abgestimmt ist. Beim Beispiel in Bild 1 lag die Ursache in nicht optimalen Spül- und Trocknungsschritten. Waschmittelrückstände konzentrierten sich an der Unterseite der Welle und trockneten ein, sodass sich so eine wirksame Passivschicht ausbilden konnte.

Um nach dem Nitrieren und Nitrocarburieren die gewünschten Eigenschaften zu garantieren, sind ganz bestimmte Anforderungen an das Bauteil, den Herstellungsprozess und an den Nitrierprozess zu stellen. Saubere, rückstandsfreie, metallisch blanke Oberflächen sind Grundvoraussetzungen für einen erfolgreichen Nitrierprozess. Es dürfen keine Sperrschichten auf den Bauteilen und Werkzeugen sein, die den Diffusionsprozess behindern [1]. Derartige Sperrschichten können praktisch in jedem Fertigungsschritt entstehen. Im Folgenden wird zunächst eine fiktive Prozesskette vorgestellt. Fertigungshilfsstoffe, Konservierungs- und Reinigungsschritte werden beispielhaft angeführt. Änderungen in der Prozesskette können einen signifikanten Einfluss auf das Nitrierergebnis haben, die Wechselwirkungen sind mitunter sehr komplex und nicht sofort zu erkennen. Im Abschnitt 3 werden die Zusammenhänge zwischen Herstellungsprozess, Reinigung und Nitrierergebnis weiter vertieft und es wird versucht, eine Anleitung zur Auswahl geeigneter Reiniger und Reinigungsverfahren zu geben. Abschließend werden die Ausführungen anhand von konkreten Fallbeispielen belegt und zusammengefasst.

## 2 Mögliche Kontaminationen und Reinigungsschritte in einer Prozesskette

Es sollen Bauteile aus einem Rohmaterial hergestellt werden. Nach der Vorbearbeitung durch Sägen und Drehen werden die Teile vergütet, endbearbeitet (drehen) und abschließend nitriert. Die Arbeitsschritte mechanische Bearbeitung und Vergüten werden vom Produzenten P2, das Nitrieren wird vom Produzenten P3 realisiert.

Um auch den durchaus bedeutenden Einfluss eines möglichen, vorgeschalteten Umformschrittes zu berücksichtigen, ist in Tabelle 1 ein weiterer Produzent P1 aufgeführt. Grundsätzlich soll Tabelle 1 einen Eindruck verschaffen, woher Einflüssen stammen können. Je nach Bauteil und Fertigungskette werden einige der aufgelisteten Fertigungsschritte übersprungen oder auch andere hinzugenommen. Im Einzelfall ist es ratsam, immer die aktuelle Prozesskette zu analysieren. Der Produzent P3 erhält die Teile in der Regel nach 5-10 Arbeitstagen, die Teile haben die Fertigungsschritte 2 bis 6 durchlaufen. Auf diesen Zustand hat er seinen Reinigungsprozess und den Reiniger abgestimmt.

Fertigungsschritt			mögliche Kontaminationen nach dem Fertigungsschritt
Anlieferungszustand			Rost
Produzent P1	mechanische Fertigung	1. Umformung	Hilfsstoffe der Umformung: Ziehmittelträger, Ziehmittel, ...
Transport			Rost, Schmutz aus der Umgebung bei langer Liegezeit
Produzent P2	mechanische Fertigung	2. Vordrehen	Kühlschmierstoff, Späne
		3. Reinigen	Reinigerrückstände, Konservierungsmittel A
		4. Vergüten	Zunder, eingebrannte Rückstände, Öl, pass. Oxidschichten
		5. Fertigbearbeitung	Kühlschmierstoff, Späne, Reaktionsschichten
		6. Reinigen	Reinigerrückstände, Wasserbegleiter, Konservierungsmittel A
		7. Lagern	Konservierungsmittel B
Transport			Rost, Umgebungs- und Verpackungseinfluss
Produzent P3	Nitrieren	8. Reinigen	Reinigerrückstände, Konservierungsmittel B
			Schmutz aus der Umgebung bei langer Liegezeit
		9. Nitrieren	Ruß, Ofenkontaminationen, Abdeckpastenrückstände

Tabelle 1: Mögliche Kontaminationen in verschiedenen Fertigungsschritten

Nun kommt es vor, dass infolge fehlender Lieferabrufe Teile beim Produzenten P2 über eine längere Zeit liegen bleiben und deshalb langzeitkonserviert werden. Ist der Reinigungsprozess vom Produzenten P3 auf diesen Anlieferungszustand nicht abgestimmt, kann das nicht vollständig beseitigte Langzeitkonservierungsmittel B Abweichungen im Nitrierergebnis verursachen. Unerwartete Abweichungen kann es auch geben, wenn sich die Reinigungsqualität beim Produzenten P2 (Schritt 6) verschlechtert hat.

In einer Prozesskette kann es eine Vielzahl von Wechselwirkungen und Abweichungen geben. Für den Wärmebehandler ist es oft schwierig einzuschätzen, welches Reinigungsverfahren und welcher Reiniger für die jeweiligen Bauteile optimal sind, zumal ihm auch oftmals die Vorgeschichte der Bauteile nicht bekannt ist. Innerhalb einer Serienproduktion gestalten sich die Rand-

bedingungen einfacher, aber auch hier können scheinbar unwichtige Abweichungen und Änderungen große Auswirkungen haben.

Bei den Betrachtungen ist darauf zu achten, dass nicht nur die Kontamination mit Fertigungshilfsmitteln oder Konservierungsmitteln die Stickstoffaufnahme eines Bauteiles oder Werkzeuges beeinflussen. Entscheidend ist ebenfalls die Beschaffenheit der Adsorptions- und Reaktionsschicht (s. Bild 2).

Aus diesem Grund ist es oft sinnvoll, zwischen den Fertigungsschritten zu reinigen, sodass Fertigungsrückstände nicht durch eine nachfolgende Bearbeitung in die Randschicht „eingearbeitet“ werden, was unter dem Einfluss erhöhter Temperaturen zusätzlich zu sehr stabilen Passivschichten führen kann. Die nachstehende Übersicht soll bei der Festlegung geeigneter Reinigungsprozesse helfen und aufzeigen, wie komplex die Wechselwirkungen sein können.

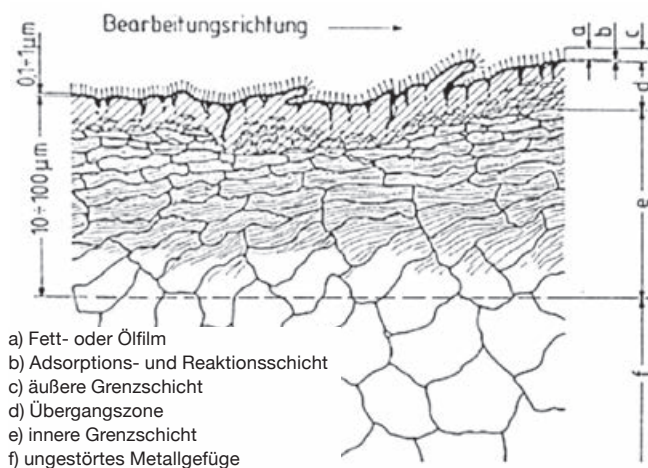


Bild 2: Grenzschicht eines bearbeiteten Werkstückes aus Stahl [2]

### 3 Was sollte man bei der Festlegung von Reinigungsprozessen beachten?

Bauteile und Werkzeuge kommen im Laufe der Fertigung mit den verschiedensten Medien in Berührung. Als Kontaminationen auf der Oberfläche können auftreten:

- Kühlschmierstoffe: Bearbeitungsöle, Emulsionen, Lösungen
- Betriebsstoffe von Maschinen und Anlagen
- Phosphatierungsschichten
- Graphit, Seifen, Pigmente (Umformprozessen)
- Bauteilreinigung in Härtereien
- Korrosionsschutzmittel, Wachse, Fette
- Formsand (Gieß- und Schmiedeprozesse)
- Rost, • Staub, • Metallabrieb, • Zunder, • Hautpflegemittel

In Abhängigkeit von den Kontaminationen ist ein geeigneter Reiniger auszuwählen. Es kann unterschieden werden zwischen CKW-Reinigern, KW-Reinigern, modifizierten Alkoholen und wässrigen Reinigern. Jeder Reiniger hat ganz spezifische Vor- und Nachteile und dementsprechende Einsatzmöglichkeiten.

In der Wärmebehandlung ist die Reinigung mit wässrigen Reinigern die am häufigsten eingesetzte Variante. Die Eigenschaften der oben genannten, vier verschiedenen Reinigerarten sind in den Tabellen 2-5 aufgeführt.

Eigenschaften von CKW-Reinigern (TRI, PER, DCM)	
+ nicht brennbar	– keine Entfernung polarer Verschmutzungen
+ sehr gute Lösekraft von Ölen, Fetten, Wachsen, Harzen	– nicht säurestabil, Stabilisierung erforderlich
+ gute Reinigungsleistung bei komplexen Bauteilgeometrien	– gekapselte Anlagentechnik
+ sehr gute, fleckenfreie Trocknungseigenschaften	– kritische Einstufung der CKW (Wassergefährdungsklasse 3)
+ einfache Aufbereitung durch Destillation	
+ buntmetallverträglich	

Tabelle 2. Eigenschaften von CKW-Reinigern (TRI, PER, DCM). CKW: Chlorkohlenwasserstoffe, TRI: Trichlorethen, PER: Tetrachlorethen, DCM: Dichlormethan (Methylenchlorid)

Eigenschaften von KW-Reinigern / VOC	
+ sehr gute Lösekraft von Ölen, Fetten, Wachsen, Harzen	– gekapselte Anlagentechnik
+ gute Reinigungsleistung bei komplexen Bauteilgeometrien	– brennbar, Ex-Schutz erforderlich
+ gute Trocknungseigenschaften, Zurückbleiben eines dünnen Films	– keine Eignung zur Entfernung polarer Verschmutzungen
+ Aufbereitung durch Destillation, Siedebereich ist zu berücksichtigen	– praktisch nicht stabilisierbar gegen Säureeintrag
+ einfache Aufbereitung durch Destillation	– Einstufung der KW-Reiniger (Wassergefährdungsklasse 1)
+ buntmetallverträglich	

Tabelle 3. Eigenschaften von KW-Reinigern / VOC. KW: Kohlenwasserstoffe, VOC: Volatile organic compounds oder flüchtige organische Verbindungen

Eigenschaften von modifizierten Alkoholen / VOC	
+ sehr gute Lösekraft von Ölen und Fetten sowie von polaren Verschmutzungen wie z. B. Emulsionen, Salze, Ruß, Staub	– gekapselte Anlagentechnik, Vakuum/Überwachung der Arbeitskammer
+ gute Trocknungseigenschaften	– brennbar, Ex-Schutz erforderlich
+ Aufbereitung durch Destillation ist möglich	– Einstufung der modifizierten Alkohole
+ gut gegen Säureeintrag stabilisierbar	
+ buntmetallverträglich	

Tabelle 4. Eigenschaften von modifizierten Alkoholen / VOC (Volatile organic compounds oder flüchtige organische Verbindungen)

Eigenschaften von wässrigen Reinigern	
+ bestehen aus Wasser, Gerüststoffen (Buildern) und Tensiden	– Vergleichsweise hoher Aufwand zur Kontrolle und Badüberwachung
+ nicht brennbar	– Verwendung von Zusatzstoffen ist erforderlich
+ einfache Handhabung und Dosierung	– hoher Aufwand zur Aufbereitung von Waschlösungen
+ gute Lösekraft für polare und unpolare Verschmutzungen sowie Partikelschmutz	– hohe Entsorgungskosten
+ Möglichkeit zur Abstimmung auf die Anlagentechnik, die Verschmutzungsart und die Bauteilgeometrie	– Kennzeichnung
+ geringe Komplexität der Anlagentechnik	

Tabelle 5. Eigenschaften von wässrigen Reinigern

Das Reinigungsergebnis ist abhängig von der Art der Verschmutzung, der Chemie (Reiniger), Temperatur und Dauer der Reinigungsschritte, der Intensität der Beaufschlagung der Bauteile mit dem Reiniger und der konstruktiven Ausführung der Reinigungsanlage. Einen Einfluss haben ebenfalls die Wasserqualität (bei wässrigen Reinigern), die Chargierung in der Reinigungsanlage bzw. die Lage der Teile und der Trocknungsprozess. Hinsichtlich des Funktionsprinzips der Reinigungsanlagen kann zwischen Spritz-, Tauch- und Flutreinigung unterschieden werden. Charakteristisch für die einzelnen Verfahren ist:

### Spritzreinigung

- zwingende Voraussetzung für den Reinigungsvorgang ist der Zugang des Spritzstrahls auf die Bauteiloberfläche
- Positionierung von Spritzdüsen an den Seitenwänden der Waschkammer unter Berücksichtigung der Chargierung
  - Vorsehen von Düsenstöcken an der Decke
  - Optimieren von Spritzstrahlrichtung, Düsengeometrie, Spritzdruck
  - regelmäßige Funktionsprüfung
  - Bewegen bzw. Drehen der Chargen und / oder der Düsenstöcke während des Reinigungsprozesses
  - bedingt geeignet für die Reinigung dicht gepackter Chargen
  - Vereinzeln der Bauteile bei der Spritzreinigung im Durchlaufverfahren
  - hohe Volumenströme ermöglichen eine bessere Reinigungsleistung als ein hoher Spritzdruck.

### Tauchreinigung

- mehrstufige Prozessführung ggf. in Kombination mit Spritzreinigungsverfahren
- besonders geeignet für komplizierte Bauteilgeometrien und/oder dicht gepackte Chargen
  - Energieeintrag auf die Bauteiloberfläche durch Umwälzen der Reinigerlösung, durch Oszillieren der Charge oder durch Ultraschallunterstützung
  - Die Tauchreinigung erfordert den Einsatz schnell demulgierender Reiniger mit hoher Entfettungsleistung
  - Zur Erzielung eines guten Reinigungsergebnisses ist es zwingend erforderlich, eine gut funktionierende Ölabscheidung vorzusehen.

### Flutreinigung

- mehrstufige Prozessführung in Kombination mit der Spritzreinigung und mittels Vakuumbeaufschlagung der Waschkammer
- geeignet für komplizierte Bauteilgeometrien und/oder dicht gepackte Chargieren
  - Ölabscheidung vor dem Ablassen der Waschlösung aus der Reinigungskammer muss realisiert sein und funktionieren, um eine Rückfettung zu vermeiden
  - Schnellablass der Waschlösung aus der Reinigungskammer kann in Abhängigkeit der Bauteilgeometrie, der Oberflächenqualität, des Härteguts und der Chargiergestelle zu

Ölanhaftungen und nachfolgenden Rückständen auf den Bauteiloberflächen führen

- Die Flutreinigung erfordert stark demulgierende Reiniger mit hoher Entfettungsleistung und hoher Stabilität gegen die Schaumentstehung.

Um Reinigungsprozesse zu optimieren, empfiehlt der FA 3, sich intensiv mit der Thematik zu beschäftigen. Die Verschmutzungsart und -menge auf den Bauteiloberflächen ist in den Lohnhärtereien vor dem Nitrieren häufig nicht bekannt und meistens unterschiedlich. Deshalb wird empfohlen, die Verschmutzungsart und deren Reinigung gemeinsam mit dem Kunden und dem Hilfsstoff- und Reinigerlieferanten zu bestimmen. Die Festlegung des bestgeeigneten Reinigers kann anhand von Vorversuchen unterstützt werden. Die Entfernung von Bearbeitungsrückständen auf Bauteiloberflächen ist entscheidend zur fehlerfreien Durchführung thermochemischer Diffusionsprozesse. Aber auch der Reinigung sind Grenzen gesetzt, so sind eingebrannte Rückstände aus der Fertigung möglichst zu vermeiden. Bereits hier gilt es, geeignete Maßnahmen zu ergreifen (Schleifgeschwindigkeit, Anpressdrücke beim Polieren u. a.). Reinigungsprozesse müssen wie der Nitrierprozess selbst überwacht und kontrolliert werden. Prüfschritte müssen vorab definiert und auf den jeweiligen Waschprozess abgestimmt werden.

### Literatur

1. Huchel, U.; Spengler, A.; Sommer, P.; Klümper-Westkamp, H.: Prozesssicherheit beim Nitrieren und Nitrocarburieren. Der Wärmebehandlungsmarkt 15 (2008) 1, S. 5-11
2. von Weingraber, H.; Abou-Aly, H.: Handbuch Technische Oberflächen. Vieweg, Wiesbaden, 1989, S. 18
3. Haase, B.: Qualitätssicherung in der Oberflächentechnik, Oberflächenzustand und Nitrierergebnis, Bauteilreinigung, Prozesskontrolle und -analytik. AWT Nitrier-Seminar, Berlin, 2003
4. Cornell, R. M.; Schwertmann, U.: The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses. Wiley-VCH, Weinheim, 1996
5. Irrerier, O.: Zum Einfluss von Reinigerückständen auf das Gasnitrieren. Dissertation, Universität Bremen, 1996
6. Haase, B.: Bauteilreinigung vor/nach der Wärmebehandlung. HTM Z. Werkst. Wärmebeh. Fertigung 63 (2008) 2, S. 104-114, DOI: 10.3139/105.100452

### Kontakt

#### Fachausschuss 3

Leitung: Dr.-Ing. Uwe Huchel und  
Dr.-Ing. Heinrich Klümper-Westkamp

Der zweite Teil erscheint in der nächsten AWT-Info  
in der HTM Ausgabe 4/2018

## AWT-Seminare Bremen Carbonitrieren

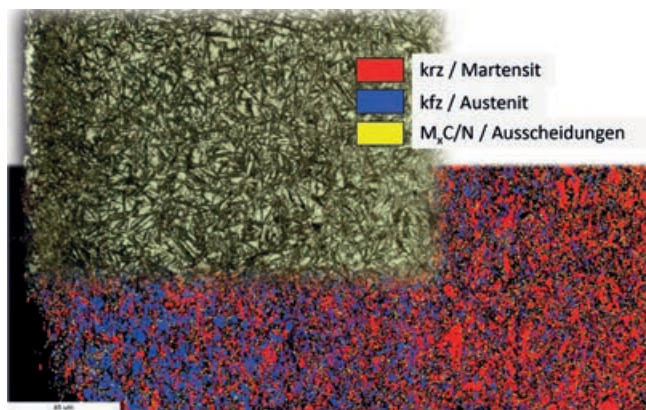
14./15. November 2018

Ort: Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT  
Leitung: Dr.-Ing. Matthias Steinbacher

In vielen Bereichen der thermochemischen Wärmebehandlung von Stahl hat sich das Carbonitrieren als Verfahren für höchst belastete Bauteile, insbesondere für Bauteile, die unter Überrollung oder vergleichbaren Lasten stehen, hervorgerufen.

In der Vergangenheit wurde das Carbonitrieren vorwiegend zur Härte- bzw. Härtebarkeitssteigerung von unlegierten Stählen eingesetzt. Hierzu wurde einer Aufkohlungsatmosphäre bei relativ niedrigen Temperaturen von ca. 870 °C ein fester Prozentsatz an Ammoniak zugegeben. Neu entwickelte Gas-Carbonitrierprozesse ermöglichen nun die gezielte Einstellung von kombinierten Kohlenstoff- und Stickstoffprofilen in der Werkstückrandschicht. Vorteil dieser neuen Prozesse und deren Regelung ist, dass gezielt hohe Carbonitrid- und Restaustenitanteile eingestellt werden können, die weit über das übliche Maß an Restaustenit und Ausscheidungen hinausgeht. Das Seminar soll Anwendern aus der Getriebeindustrie aus dem Bereich der Wärmebehandlung und Qualitätssicherung, aber auch Konstrukteuren Beispiele für Behandlungen von Einsatzstählen durch Carbonitrieren in Theorie und Praxis vermitteln. Es wird aufgezeigt, wie sich die Wärmebehandlungs- und Atmosphärenparameter auf die Eigenschaften von Bauteilen auswirken, bzw. wie diese eingestellt und geregelt werden sollten. Ferner wird über die benötigte Anlagentechnik und Erfahrungswerte aus der Praxis in der Anwendung des Carbonitrierens berichtet.

Das Seminar ist eine Schulung gemäß ISO 16949



### Programm

- Grundlagen des Einsatzhärtens, Werkstofftechnologie und feststoffphysikalische Vorgänge  
Dr.-Ing. Matthias Steinbacher, Leibniz-IWT, Bremen
- Atmosphärentechnologie des Carbonitrierens  
Dipl.-Ing. Karl-Michael Winter, Process-Electronic GmbH, Heiningen
- Simulation von Gascarbonitrierprozessen  
Dipl.-Ing. Marian G. Skaleki, Leibniz-IWT, Bremen
- Anlagentechnik für das Carbonitrieren im Gas  
Dr.-Ing. Herwig Altena, Aichelin Holding GmbH, Mödling
- Praktische Aspekte des Gascarbonitrierens - Anlagen, Sensoren, Mess- und Regeltechnik  
Ingo Bunjes, Dr.-Ing. Matthias Steinbacher, Leibniz-IWT, Bremen
- Beanspruchungsgerechtes Carbonitrieren – Wälzlager  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Werner Zoch, Leibniz-IWT, Bremen
- Beanspruchungsgerechtes Carbonitrieren – Zahnräder  
Dipl.-Ing. Peter Saddei, Leibniz-IWT, Bremen
- Niederdruckcarbonitrieren, Anlagentechnik und Prozesstechnik  
Dr.-Ing. Thomas Waldenmaier, Robert Bosch AG, Stuttgart
- Bericht aus der Praxis  
Dr.-Ing. Jörg Kleff, ZF Friedrichshafen AG

Programmänderungen vorbehalten.

### Seminargebühren und Anmeldung

AWT-Mitglieder: 800 Euro

Bitte bei der Anmeldung die AWT-Mitgliedsnummer angeben.

Sonstige Teilnehmer: 850 Euro

### Die Leistungen umfassen

Seminarunterlagen, Pausenverpflegung, Abendessen am 1. Veranstaltungstag, Mittagessen am 2. Tag, Teilnahmezertifikat

### Anmeldungen für das Seminar

bis zum 26. Oktober 2018 an [seminare@awt-online.org](mailto:seminare@awt-online.org)

### Ort und Zeit

Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien IWT  
Badgasteiner Straße 3, 28359 Bremen

Mittwoch, 14. November 2018, 13:30 – 18:30 Uhr,

im Anschluss gemeinsames Abendessen

Donnerstag, 15. November 2018, 8:30 – 15:00 Uhr

## Neuigkeiten zum HärtereiKongress 2018

Dienstag bis Donnerstag, den 16.–18. Oktober 2018 Koelnmesse



Der HärtereiKongress in diesem Jahr bietet viele Neuigkeiten für Aussteller und Kongressbesucher.

Erstmals findet die Veranstaltung in diesem Jahr an den Wochentagen Dienstag, Mittwoch und Donnerstag statt. Das hat für die Besucher und Aussteller den Vorteil, dass die oft mit einem Verkehrschaos verbundene Abreise am Freitagnachmittag entfällt.

Seit Mitte April ist die neue Webseite der Veranstaltung unter der bekannten Adresse [www.hk-awt.de](http://www.hk-awt.de) aktiv. Sie eröffnet neben den gewohnten Informationen, wie Kongressprogramm, Ausstellerverzeichnis und den Ticketshop, neue Tools zur Terminplanung und aktuelle Ausstellerinformationen. Wenn Sie sich als Besucher auf der Seite anmelden, können Sie Ihren Besuch planen und direkt mit Ausstellern in Kontakt treten. Die vereinbarten Termine können in Ihren elektronischen Terminkalender integriert werden, auf dem Handy auf dem Tablet oder auf dem PC. Die angemeldeten Aussteller haben mit ihrem neuen Zugang zur Webseite ebenso Zugriff auf dieses Tool und haben die Möglichkeit, Termine für Kunden anzubieten. Das neue Bestellportal für Standzubehör mit vielen Möglichkeiten bis hin zum Tool zum Messebau ist ebenfalls in die Seite integriert. Der Hallenplan ist interaktiv und noch freie Standflächen können direkt angefragt werden. Auch der neue Online-Marktplatz ist gestartet, wo Aussteller ab sofort ihre Produktvorstellungen veröffentlichen können. Aussteller benötigen nur noch einen Login für den Ticketshop, das Ausstellerverzeichnis und das Serviceportal.

Die zur Veranstaltung erscheinende App ist das nächste Novum. Die HK-App begleitet die Besucher und die Aussteller durch die Veranstaltung. Das Programm und die Kurzfassungen der Kongressvorträge sind in die App integriert. Sie navigieren anhand der von Ihnen im Vorfeld gespeicherten Prioritäten für Vorträge und Termine mit Ihrem Smartphone oder Tablet durch die Veranstaltung.

### Diskussionsforum zum Thema Werkstoffe und Wärmebehandlung für die Elektromobilität

Erstmals wird in diesem Jahr am Mittwochvormittag im großen Kongresscube ein Diskussionsforum zum Thema Werkstoffe und Wärmebehandlung für die Elektromobilität stattfinden. Die AWT hat hierzu Experten aus der Forschung und der Industrie eingeladen. Die Diskussion wird sich auf die werkstofftechnischen Herausforderungen im elektrischen Antriebsstrang fokussieren und soll einen Überblick zu den Veränderungen hinsichtlich benötigter Komponenten und Fertigungsverfahren für den Antriebsstrang geben, in Abhängigkeit derzeitiger Entwicklungsprognosen. Außerdem werden von den Technologieexperten einige metallische Komponenten beleuchtet, wie beispielsweise Elektrobleche, Statorgehäuse und Rotoren.

Für das Diskussionsforum kann eine separate Eintrittskarte zum Preis von 150 Euro erworben werden. Alle Eintrittskarten für Kongress und Ausstellung des HärtereiKongresses erhalten Sie im Ticketshop unter [www.hk-awt.de](http://www.hk-awt.de).

## Aktuelle Termine

### Aktuelle Termine der AWT-Fachausschüsse

13. Juni	FA 9	Thermische Randschichttechnologien	Bremen
13. Juni	FA 25	Qualitätssicherung	Werne
20. Juni	FA 14	Bauteilreinigung	Hildesheim
5. September	FA 21	Gefüge und mechanische Eigenschaften	Bremen
20. September	FA 20	Sensortechnik in der Wärmebehandlung	Ort wird noch bekannt gegeben
30./31. Oktober	FA 13	Eigenspannungen	Friedrichshafen
7. November	FA 3	Nitrieren und Nitrocarburieren	Freiberg
14. November	FA 8	Sicherheit in Wärmebehandlungsbetrieben	Ort wird noch bekannt gegeben
29. November	FA 4	Einsatzhärten	Schweinfurt

### AWT-Seminare im Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien

20./21. Juni	Nitrieren und Nitrocarburieren für Praktiker
14./15. November	Carbonitrieren (neu)
Januar 2019	Bainitisieren in Theorie und Praxis

### Veranstaltungen der AWT-Härtereikreise im Juni und Juli 2018

07. Juni	Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten an Industrieofenanlagen, Hr. Marc Lunemann	Freiberg
13. Juni	Additive Manufacturing for Launcher Applications, M. Sc. Moritz Brünger	Bremen
19. Juni	Nitrieren und Nitrocarburieren von Fahrwerk-Bauteilen – Verfahren, Anlagentechnik und Prüfung, Dr.-Ing. Winfried Gräfen	Chemnitz
20. Juni	Induktionshärten von Bauteilen mit komplexer Geometrie – Experiment, Simulation, Eigenschaften, Prof. Dr.-Ing. Volker Schulze	Tuttlingen
21. Juni	Werkstofftechnisches Seminar	Kloster Rohr, Härtereikreis Suhl
26. Juni	Schäden und Schadensverhütung bei einsatzgehärteten und randschicht- gehärteten Bauteilen, Dr.-Ing. Winfried Gräfen	Durbach
25. Juli	Sicherheitstechnik an modernen Ofenanlagen, Dipl.-Ing. Dirk Joritz	Tuttlingen

### Internationale Events

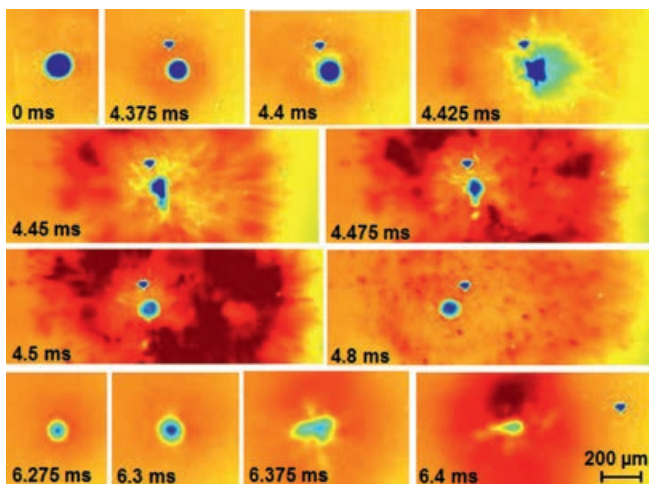
11.–14. September 2018	25th IFHTSE Congress www.25ifhtse.org	Xi'an, China
16.–18. Oktober 2018	HK 2018 www.hk-awt.de	Cologne, Germany
27.–29. November 2018	International Conference on Quenching and Distortion Engineering www.qde2018.jp	Nagoya, Japan
12.–16. Mai 2019	Tooling 2019 www.tooling2019.com	Aachen, Germany
Mai/Juni 2019	European Conference on Heat Treatment ECHT 2019	Bardolino, Italy
18.–20. September 2019	26th IFHTSE Congress	Moscow, Russia
15.–17. Oktober 2019	Heat Treat 2019	USA
22.–24. Oktober 2019	HK 2019	Cologne, Germany

Stand 15.03.2018. Über Änderungen und Details informiert die AWT-Webseite [www.awt-online.org](http://www.awt-online.org)

## Großer Erfolg: IWT-Direktor Lutz Mädler erhält ERC Advanced Grant

Anfang April hat die European Research Commission (ERC) Professor Lutz Mädler, Leiter der Hauptabteilung Verfahrenstechnik im Leibniz-IWT, den mit 2,5 Millionen Euro dotierten ERC Advanced Grant zugesprochen. Damit wird dem Wissenschaftler nun auch international seine herausragende Forschungsarbeit bescheinigt.

Vergeben wird der Advanced Grant des Europäischen Forschungsrates (European Research Council, ERC) an bereits anerkannte Spitzenwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler. Sie erhalten mit der Auszeichnung eine Förderung von maximal 2,5 Millionen Euro über einen Zeitraum von fünf Jahren. Im Zentrum steht dabei ein Projekt, welches auf dem Gebiet der Grundlagenforschung innovative Wege einschlägt. Dass Professor Mädler zu den Spitzenforschern auf dem Gebiet der mechanischen Verfahrenstechnik gehört, zeigte sich bereits vor zwei Jahren. 2016 wurde der von ihm initiierte Sonderforschungsbereich (SFB) 1232 ‚Farbige Zustände‘ bewilligt. Dieser SFB hat es sich zur Aufgabe gemacht, eine neuartige experimentelle Methode der Werkstoffentwicklung zu erarbeiten. Ein Jahr später würdigte die DFG Mädlers exzellente Forschungsarbeit mit dem Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis.



Explosion eines Einzeltropfens beim Reaktiven Sprühen. Mit Hilfe einer High-Speed-Kamera konnten mehrere Mikro-Explosionen eines verbrennenden Einzeltropfens (0,5 mol/L TTIP/Xylol-Ethanol) sichtbar gemacht werden. Der Tropfen ( $\varnothing$  139  $\mu\text{m}$ ) wurde bei 0 ms entzündet. Die erste Mikro-Explosion erfolgte nach 4,4 ms, wodurch die äußere Schicht des Tropfens abgestoßen und eine größere und intensivere Flamme verursacht wurde. Das Innere des Tropfens formte bei 4,6 ms einen neuen Tropfen, welcher erneut bei 6,3 ms explodierte. Insgesamt wurden drei solcher kontinuierlichen Mikro-Explosionen des Einzeltropfens beobachtet.



Hohe Auszeichnung: Der ERC Advanced Grant für Spitzenforscher in Europa geht an den Bremer Verfahrenstechniker Professor Lutz Mädler.

Nun folgte die internationale Auszeichnung durch den ERC. In dem durch den Advanced Grant geförderten Projekt, will sich Mädler der Entwicklung neuer Reaktorkonzepte für das sogenannte Reaktive Sprühen widmen. Diese Technologie dient der Generierung neuer, maßgeschneiderter Materialien und Oberflächen, die z.B. für Sensoren oder Katalysatoren eingesetzt werden können. Durch die Förderung kann Mädler nun die grundlegenden Zusammenhänge des Reaktiven Sprühens auf der Mikro-Ebene erforschen. Dafür untersucht Mädler gemeinsam mit seinem Team winzige Einzeltropfen, die sie unter Einsatz spezieller Messmethoden reagieren lassen. Durch diese Methoden können u.a. Explosionen von Einzeltropfen sichtbar gemacht werden.

Die Forschung am Einzeltropfen bietet den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern viele Vorteile. Denn die Untersuchung im kleinen Maßstab macht den Umgang mit den Bestandteilen leichter, und auch die Kosten werden gering gehalten. „Die Forschungen an diesen isolierten Tropfen sind kostengünstig und jederzeit beherrschbar“, so der Leiter der Hauptabteilung Verfahrenstechnik. „Wir brauchen für die Versuche eine Vielzahl von Chemikalien, die schwierig zu handhaben sind. In unserem kleinen Maßstab darf dabei ruhig auch mal etwas schiefgehen, und wir können viel ausprobieren.“ Zu einem späteren Zeitpunkt sollen die gewonnenen Erkenntnisse dann auf einen größeren Maßstab übertragen werden. „Wenn wir im Kleinen gezeigt haben, dass wir Materialien für neuartige Anwendungen herstellen können, wollen wir natürlich in Richtung industrieller Verwertbarkeit gehen.“ so Mädler.

## 50 Jahre Härterekreis Ruhr

499. Vortragsveranstaltung am 13.3.2018 im ARCADEON in Hagen



HKR-Leitungsteam 2018: v. l.: Winfried Gräfen (AWT-Vorsitzender), Christa Düring, Rainer Kohlmann, Franz Wendl, Hans-Jürgen Rönnecke, Jochen Keilich, Frank Natrup, Michaela Sommer, Christoph Escher, Joachim Steiner, Frank Zobel, Dirk Joritz, es fehlen Michael Hein und Markus Milde.

Der AWT-Härterekreis Ruhr (HKR) feierte mit einer Jubiläumsveranstaltung am 13. März sein 50jähriges Bestehen mit einer Vortragsveranstaltung. Am Anfang gratulierte der Vorsitzende der AWT Winfried Gräfen in einer Festrede über die erfolgreiche Geschichte des Härterekreises. Es folgten drei Fachreferate zur Sicherheit in Härtereien: Wolfram Schmid von der Berufsgenossenschaft in Stuttgart referierte zu betrieblichen Vorschriften, Gerd Waning, Firma Linde, über die Sicherheits

technik im Umgang mit Schutzgasen und Dirk Joritz von Ipsen sprach über die Sicherheitstechnik an Ofenanlagen. Nach allen drei Fachvorträgen entwickelten sich lebhaft fachliche Diskussionen. Den Ausklang des Abends bildete ein gemeinsames Abendessen. Die Festveranstaltung war mit 81 Teilnehmern außerordentlich gut besucht. Die Erfolge des Härterekreises Ruhr seit seiner Gründung im November 1966, sind vor allem auf ein starkes und engagiertes Leitungsteam zurückzuführen.

## Wechsel an der Spitze der Fachausschüsse 21 und 22

Seit Anfang März ist Frau Dr. Silke Rösch neue Leiterin des Fachausschusses 21 ‚Gefüge und mechanische Eigenschaften‘. Auch der Fachausschuss 22 ‚Sprühkompaktieren/Schmelzerstäubung‘ steht seit Ende letzten Jahres unter einer neuen Führung. Dort hat Frau Dr. Stephanie Geisert die Leitung übernommen.



Dr. Silke Rösch



Dr. Stephanie Geisert

### Wir begrüßen die neuen AWT-Mitglieder!

#### Personen

Jens Gibmeier  
Margarete Gritzmann  
Thomas Niendorf  
Björn Penz

#### Firmen

Cieffe Thermal Systems S.R.L.  
Xinghua Tongbu Casting Co., Ltd.

## Arbeitsblatt Forschung

## Carbonitriersensorsystem II

## AiF-Nr.

18668 N

## Obmann

Winter, K.-M., Process-Electronic GmbH

## Beteiligte Unternehmen

Aichelin Holding GmbH, Air Products GmbH,  
Hanomag Lohnhärtereie GmbH, Ipsen International GmbH,  
MESA Electronic GmbH, Process-Electronic GmbH,  
ROHDE Schutzgasöfen GmbH, Schwäbische Härtetechnik  
Ulm GmbH & Co.KG, Stange Elektronik GmbH

## Laufzeit

01.03.2015 – 31.08.2017

## Erstelldatum

12.04.2018

## Forschungsstelle

Stiftung Institut für Werkstofftechnik Bremen

## Projektleiter

Klümper-Westkamp., H.

## Sachbearbeiter

Skalecki, M. G.

## Forschungsvereinigung

Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik  
e. V. AWT

## Projektbegleitender Fachausschuss

FA 20 (Sensorik in der Wärmebehandlung)

### Zielsetzung und Lösungsweg

Das Thema des durchgeführten Forschungsvorhabens Carbonitriersensorsystem II ist die Entwicklung des geregeltes Carbonitrierens mit Online-Simulation der werkstoffabhängigen Diffusions- und Ausscheidungsvorgänge zur prozesssicheren Einstellung definierter Kohlenstoff und Stickstofftiefenprofile. Das Carbonitrieren dient der Steigerung von Festigkeits- und Verschleißigenschaften von Stahlbauteilen. Dabei bedingen die Kohlenstoff- und Stickstoffkonzentration sowie deren Tiefenverteilung maßgeblich die erzielten Eigenschaften. Optimale Profile bewirken eine ideale Mikrostruktur aus Martensit, Restaustenit, fein verteilten Nitriden, Carbonitriden und Druckeigenspannungen am Rand. Der prozesssichere Einsatz des Verfahrens hängt stark von den Regelmöglichkeiten ab. Gegenstand von vorangegangenen Untersuchungen war bereits die Regelung der Stickstoffaufnahme durch die Messung des Stickstoffpotentials der Atmosphäre mit einem  $\text{NH}_3$ -Sensor im Abgas sowie einem C-Stromsensor. Die Regelung der Kohlenstoffaktivität erfolgt konventionell mittels Sauerstoffsonde. Um die Prozesssicherheit des Carbonitrierens weiter

zu verbessern, ist die Simulation der Kohlenstoff- und Stickstoffprofile sowie des Ausscheidungszustandes notwendig. Hierzu ist die Ermittlung von wechselseitigen Legierungseinflüssen und Legierungsfaktoren auf die Kohlenstoff- und Stickstoffaufnahme nötig. Der Atmosphärenpegel und die jeweilige Aktivität in der Legierung stehen beim Carbonitrieren im Gleichgewicht. Hier können werkstoffabhängig deutlich unterschiedliche Wirkungen beschrieben werden, deren Einfluss betrachtet werden muss. Neben dem sich einstellenden Gleichgewichtsgehalt sind ebenso die Diffusion, die Lage der Phasengrenzen und die Ausscheidungsbildung unter gegenseitiger Beeinflussung von Kohlenstoff und Stickstoff sowie Wechselwirkungen mit anderen Legierungselementen zu erarbeiten, um das geregelte Carbonitrieren zur prozesssicheren Einstellung des Wärmebehandlungsergebnisses weiterzuentwickeln.

Die sichere Beherrschung des an die Legierung angepassten Carbonitrierprozesses kann dazu führen, dass die Vorteile des zusätzlichen Stickstoffeintrags für die Bauteiloptimierung besser ausgeschöpft werden.

Die Simulation der Carbonitrierprozesse führt dazu, Prozesse reproduzierbar und sicher einstellen zu können. Durch diese Prozessunterstützung kann die Streuung der Behandlungsergebnisse reduziert werden und die Genauigkeit erhöht werden. Der für die Streuung verantwortliche Legierungseinfluss der Einsatzstähle auf das Carbonitrierergebnis soll zum einen auf Basis der neuesten thermodynamischen und kinetischen Datenbanken berechnet werden.

Zum anderen soll der Legierungseinfluss in Abhängigkeit der Behandlungsparameter Temperatur, Stickstoff- und Kohlenstoffpegel experimentell untersucht werden, um somit die entsprechenden thermodynamischen Berechnungen zu verifizieren. Um einen optimalen experimentellen und praxisnahen Vergleich des Legierungseinflusses der Einsatzstähle zu gewährleisten, sollen mehrere Standardwerkstoffe in einer industriellen Anlage gleichzeitig carbonitriert und anschließend untersucht werden.

Das Carbonitrieren wird bei unterschiedlichen Temperaturen und Kohlenstoffpegeln durchgeführt. Das Stickstoffangebot wird zunächst mit der Restammoniakmethode im Abgas gesteuert. Später kann dies Rückschlüsse auf den Stickstoffpegel zulassen. In Abhängigkeit unterschiedlicher Behandlungsparameter und der Diffusionsgeschwindigkeit stellen sich Tiefenprofile ein, durch die der Legierungseinfluss auf die Diffusionsgeschwindigkeit untersucht werden kann. Die erreichten Randgehalte

geben Aufschluss über die Gleichgewichtsgehalte für Stickstoff und Kohlenstoff. Der Einsatz geeigneter Simulations- und Softwareprogramme (Matlab, Thermo-Calc, Dictra) dient einerseits dazu, den Versuchsumfang auf die industriell besonders relevanten Behandlungsparameter zu reduzieren und andererseits dazu, durch die Verknüpfung mit den kinetischen und thermodynamischen Grundlagen eine Inter- oder Extrapolation des ermittelten Legierungseinflusses zu erzielen.

Durch die thermodynamischen Berechnungen können sowohl gegenseitige Einflüsse zwischen Kohlenstoff und Stickstoff ermittelt als auch die Wechselwirkungen mit Legierungselementen beschrieben werden. Zur detaillierten Berechnung von Carbonitrierprozessen ist eine genaue Kenntnis über die Löslichkeiten im Austenit und das Auftreten von Ausscheidungen mit anderen Legierungselementen und deren Zusammensetzung bei Überschreiten der Löslichkeit nötig.

Schlussendliches Ziel ist eine sichere Simulation von Carbonitrierbehandlungen, die die wichtigen Bereiche der Stoffflüsse vom Übergang aus der Atmosphäre in das Werkstück, der Diffusion in die Tiefe bis zur Ausscheidungsbildung mit Legierungselementen berücksichtigt. Soweit möglich, sollen abgesicherte Literaturergebnisse zur weiteren Verifizierung der Simulationen und der thermodynamischen Berechnungen hinzugezogen werden.

### Ergebnisse

Als Forschungsprojekt, in dem sowohl die praktische Anwendung des geregelten Carbonitrierens als auch die theoretische Beschreibung und Simulation der ablaufenden Mechanismen untersucht werden sollen, gliedern sich die Arbeiten in die drei Abschnitte der experimentellen Durchführung, der thermodynamischen Berechnungen und der Simulation.

### Experimentelles Versuchsprogramm

Im Arbeitspaket des experimentellen Versuchsprogramms sind alle Arbeiten zusammengefasst, die die Wärmebehandlung und messtechnische Erfassung der ablaufenden Prozesse betreffen. Da das Projektziel die Erarbeitung werkstoffbezogener Daten zur prozesssicheren Einstellung carbonitrierter Profile umfasst, ist insbesondere die definierte Wärmebehandlung mit dem Einstellen gezielter Zustände im ersten Arbeitspaket die Grundlage für den späteren Transfer der Ergebnisse in thermodynamische Datenbanken und Simulationsprogramme.

Zur Untersuchung der Legierungseinflüsse auf die Carbonitrierbehandlung werden insgesamt die neun Werkstoffe Armco, 16MnCrB5, C15E, 9S20, 18CrNiMo7-6, 20MnCr5, 14NiCrMo13-4, 100Cr6 und 100CrMnSi6-4 ausgewählt.

Zur statistischen Absicherung des Legierungseinflusses einzelner Legierungselemente sind explizit diejenigen Einsatzstähle ausgewählt, die jeweils den maximalen Gehalt eines oder mehrerer Legierungselemente aufweisen.

Als variable Behandlungsparameter werden die Temperatur, der Kohlenstoffpegel und der Restammoniakgehalt im Abgas ausgewählt. Dabei liegen die zu variierende Temperatur zwischen 800 °C und 950 °C und der Kohlenstoffpegel zwischen 0,6 % und 1,4 %.

Das Stickstoffangebot wird über die Restammoniakregelung mit variablen Gehalten zwischen 500 ppm und 3500 ppm eingestellt. Insgesamt werden 32 Versuche durchgeführt. Alle Versuche werden einstufig unter den genannten Parametern für jeweils 8 Stunden durchgeführt und anschließend durch ein Abschrecken im Ölbad auf 60 °C beendet.

Während der Behandlungen werden online alle relevanten Behandlungsdaten erfasst und dokumentiert. Dies sind insbesondere die konstant gehaltenen Parameter Temperatur, Kohlenstoffpegel und Restammoniakgehalt, nach denen die Behandlung geregelt wird, sowie weitere verfügbare Angaben, zum Beispiel die korrespondierende Ammoniakzufuhr oder der Wasserstoffgehalt im Abgas, woraus die Aktivitäten und Kohlenstoff- beziehungsweise Stickstoffpegel berechnet werden können.

Zum Vergleich der Carbonitrierergebnisse mit der im späteren Verlauf aufgebauten Simulation von Carbonitrierprozessen, dienen in erster Linie die Kohlenstoff- und Stickstofftiefenprofile sowie die legierungsabhängigen Randgehalte, die in den Carbonitrierversuchen erzielt werden. Diese können begleitend zu allen durchgeführten Versuchen für jeweils alle Werkstoffe funken- spektroskopisch (SOES) gemessen werden.

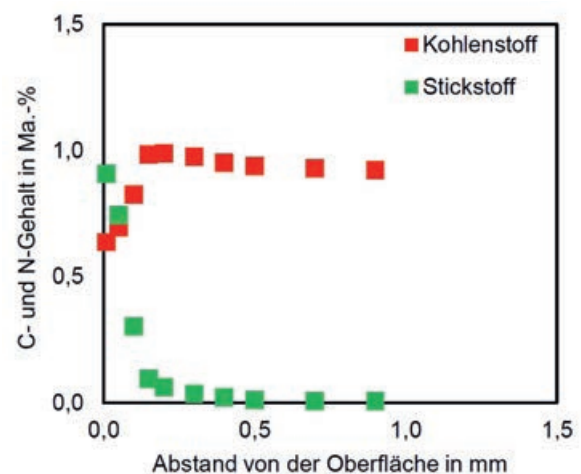


Abbildung 1: Mit SOES gemessener Kohlenstoff- und Stickstoffverlauf an einer Probe aus 100CrMnSi6-4, T = 800 °C, C<sub>p</sub> = 0,6 %, N<sub>p</sub> = 0,2 %, Rest-NH<sub>3</sub> = 500 ppm.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch einen spektroskopisch gemessenen Kohlenstoff- und Stickstoffverlauf an einer Probe aus 100CrMnSi6-4 mit den Behandlungsparametern  $T = 800 \text{ °C}$ ,  $C_p = 0,6 \text{ %}$ ,  $N_p = 0,2 \text{ %}$  und  $NH_3 = 500 \text{ ppm}$ .

### Thermodynamische Betrachtungen

Im Arbeitspaket der thermodynamischen Betrachtungen werden Berechnungen zum Legierungseinfluss beim Carbonitrieren durchgeführt. So können auftretenden Phasen in speziellen Legierungssystemen berechnet werden. Die hier durchgeführten Untersuchungen beruhen auf Gleichgewichtszuständen, die sich in einem Legierungssystem bei ausreichend langer Dauer aufgrund des Strebens des thermodynamischen Systems nach einem Minimum der freien Enthalpie einstellen. So kann es unter Anwesenheit eines Elementes, beispielsweise Kohlenstoff oder Stickstoff, in einer Eisenmatrix aufgrund der freien Enthalpie zur Bildung einer weiteren Phase und somit zur Ausscheidung aus der Matrix kommen. Kohlenstoff oder Stickstoff können im Ausgangslegierungszustand vorliegen oder durch ein Aktivitätsgefälle zwischen der Gasphase der Behandlungsatmosphäre und der Werkstückrandschicht eindiffundieren.

Durch die Anwesenheit von Kohlenstoff und Stickstoff in der Werkstückrandschicht können Carbid-, Nitrid- und Carbonitridausscheidungen gebildet werden. Die Neigung zur Bildung von Ausscheidungen ist abhängig von der Werkstoffzusammensetzung. Durch die Anwendung der thermodynamischen Berechnungsmethoden ist es möglich, vorab die Grenzen der Ausscheidungsbildung zu berechnen.

Die Berechnungen beziehen sich zum einen auf die maximale Kohlenstofflöslichkeit im Austenit für die verwendeten Werkstoffe, um eine Aussage darüber zu erhalten, ab welchem Kohlenstoffgehalt die Ausscheidung von Carbiden beginnen wird. Zum anderen werden Löslichkeitsgrenzen für Stickstoff ermittelt, um den Ausscheidungsbeginn von Nitriden mit nitridbildenden Legierungselementen berechnen zu können. Durch das systematische Betrachten der untersuchten Legierungen unter variablen Bedingungen können Phasengrenzen für die Bildung von Zementit beziehungsweise Eisen-Chrom-Carbiden  $(Fe,Cr)_3C$ , Chromnitrid CrN und Siliziumnitrid  $Si_3N_4$  ermittelt werden.

Abbildung 2 zeigt exemplarisch ein mit Thermo-Calc berechnetes Phasendiagramm für das Legierungssystem Fe-C-N-Cr mit 1,0 Ma.-% Kohlenstoff und 1,5 Ma.-% Chrom. Darin sind mit steigendem Stickstoffgehalt die Bildung von Chromnitrid und die gleichzeitige Abnahme von Zementit durch die Umwandlung der Eisen-Chrom-Carbide in Chromnitride erkennbar.

Die Auswertung bildet die theoretische Basis zur Entwicklung von geeigneten Simulationsalgorithmen zur Simulation der

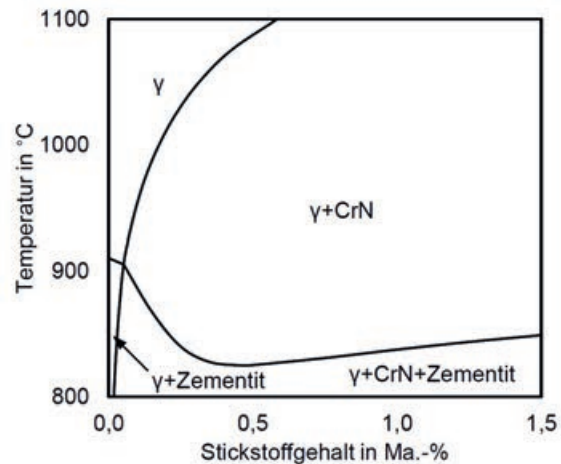


Abbildung 2: Phasendiagramm für das Legierungssystem Fe-C-N-Cr mit 1,0 Ma.-% Kohlenstoff und 1,5 Ma.-% Chrom mit steigendem Stickstoffgehalt.

Ausscheidungsprozesse, die während der Wärmebehandlung ablaufen.

### Simulation der Carbonitrierprozesse

Das Zusammenfassen der Berechnung von Carbonitrierbehandlungen in einem ausführbaren Algorithmus erfolgt stufenweise. Der Aufbau einer Diffusionssimulation steht dabei an erster Stelle. Durch die erarbeiteten Ergebnisse aus thermodynamischen Berechnungen wird die Simulation anschließend in Bereichen der Ausscheidungsbildung verfeinert, wodurch exaktere Vorhersagen von Carbonitrierergebnissen ermöglicht werden.

Zum Aufbau der Simulation sind die Übertragung von aus der Literatur bekannten Daten, wie der Übergangs- und Diffusionskoeffizienten und die Erweiterung um die Ausscheidungs-berechnung in einen ausführbaren Algorithmus nötig. Der Stofffluss von Kohlenstoff und Stickstoff unterteilt sich dann in drei Segmente.

Im ersten Segment wird der Stoffübergang aus der Atmosphäre in die Werkstückrandschicht berechnet. Dieser ist in erster Linie abhängig vom Pegel und dem Legierungsfaktor, darüber hinaus sind der aktuelle Randgehalt und ein atmosphärenabhängiger Übergangskoeffizient von Bedeutung.

Im zweiten Segment erfolgt der Stofffluss durch Diffusion vom Werkstückrand in die Tiefe. Dafür ist das Aktivitätsgefälle als treibende Kraft ursächlich. Die Aktivität des Kohlenstoffs und Stickstoffs wird für den Stofffluss kontinuierlich neu berechnet. Dabei wird jede lokal wirksame Legierungszusammensetzung und eine gegenseitige Beeinflussung des Kohlenstoffs und Stickstoffs berücksichtigt. Änderungen der Zusammensetzung treten zum Beispiel durch Ausscheidungsbildung auf.

Anhand der berechneten Phasengrenzen wird im dritten Segment ein Stofffluss von Kohlenstoff oder Stickstoff aus der Matrix hinein in die jeweilige Ausscheidung berechnet, sobald der gelöste Gehalt die maximale Löslichkeit überschreitet. Durch die Ausscheidungsbildung werden Legierungselemente abgebunden und die lokal wirksame Zusammensetzung verändert.

Abbildung 3 zeigt exemplarisch den Vergleich einer simulierten Variante mit den spektroskopisch gemessenen Kohlenstoff- und Stickstoffprofilen. Die aufgebaute Simulation liefert gute Übereinstimmungen der Ergebnisse für alle durchgeführten Versuche.

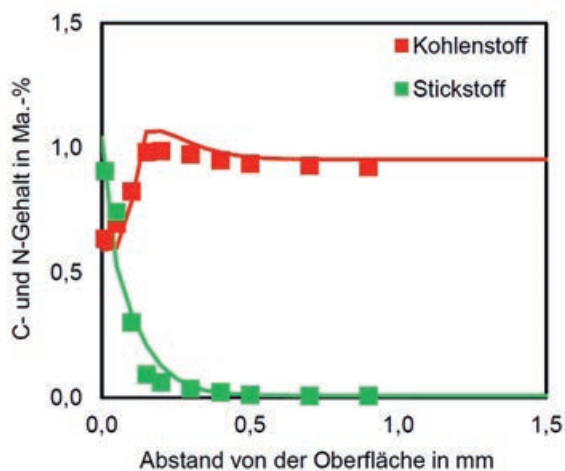


Abbildung 3: Vergleich gemessener Kohlenstoff und Stickstoffverläufe mit der Simulation an einer Probe aus 100CrMnSi6-4,  $T = 800\text{ °C}$ ,  $C_p = 0,6\%$ ,  $N_p = 0,2\%$ , Rest-NH<sub>3</sub> = 500 ppm.

### Zusammenfassung

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass es durch die konsequente Betrachtung aller ablaufenden Mechanismen des Stoffübergangs aus der Atmosphäre unter Berücksichtigung der Legierungsfaktoren, der Diffusion mittels Aktivitätsdifferenzen, der Ausscheidungsbildung von Chromnitriden, Siliziumnitriden und Eisen-Chrom-Carbiden sowie der Carbidauflösung möglich ist, auch komplexe Tiefenprofile genau zu simulieren und vorherzusagen.

Die Auswertungen bezüglich der Atmosphärenzusammensetzungen und die Berechnung der Kohlenstoff- und Stickstoffpegel trägt dazu bei, geeignete Regelparameter beim Carbonitrieren zu verwenden. Die Berechnungen können dazu beitragen, in der Klasse der Einsatz- und Wälzlagerstähle korrekte und detaillierte Simulationsergebnisse zu generieren, durch die die prozesssichere und geregelte Einstellung definierter Carbonitrierergebnisse ermöglicht wird.

### Danksagung

Das IGF-Vorhaben (18668 N) der Forschungsvereinigung Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e. V. (AWT) wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens. Das Projekt wurde vom Fachausschuss 20 (Sensorik in der Wärmebehandlung) der AWT betreut.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### Kontakt

Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien  
Badgasteiner Straße 3  
28359 Bremen

M. Sc. Marian Georg Skalecki  
skalecki@iwt-bremen.de  
+49 421 218-51405

Dr.-Ing. Heinrich Klümper-Westkamp  
hkw@iwt-bremen.de  
+49 421 218-51315



Arbeitsgemeinschaft  
Wärmebehandlung + Werkstofftechnik e.V.

AWT-Geschäftsstelle  
Paul-Feller-Str. 1  
28199 Bremen  
Tel. +49 421- 52 29 339  
Fax +49 (0) 421- 52 29 041  
info@awt-online.org  
www.awt-online.org

## Mitglied werden / Become a member

Ich beantrage hiermit die Aufnahme als Personen-Mitglied in die AWT.

I herewith apply for the membership in AWT.

Name / Name	Vorname / First Name	Titel / Title
<hr/>		
Anschrift / Address		
<hr/>		
Geburtsdatum / Date of birth	E-Mail	
<hr/>		
Arbeitgeber/Tätigkeit / Employer/function		
<hr/>		

Der jährliche Mitgliedsbeitrag beträgt zurzeit 50 Euro. / The annual fee is 50 Euro.

Ich erkenne die Satzung des Vereins an. / I herewith confirm to accept the ordinance of AWT.

Ich ermächtige die AWT, meinen Mitgliedsbeitrag mittels Lastschrift von meinem Konto (only in Germany possible) bei Kreditinstitut abzubuchen.

IBAN	BIC
<hr/>	
Ort/Datum	Unterschrift
<hr/>	

Ich bestelle hiermit die HTM – ‚Journal of Heat Treatment and Materials‘ zum Vorzugspreis für Mitglieder von 379 Euro im Jahr. Diese Bestellung kann innerhalb von 10 Tagen bei der AWT-Geschäftsstelle schriftlich widerrufen werden.

(Bitte ankreuzen und unterschreiben, wenn ein Abonnement gewünscht wird).

I would like to order the HTM - ‚Journal of Heat Treatment and Materials‘, the scientific Journal of AWT at a special rate of 379 Euro/year.

Ort/Datum / Place/date	Unterschrift / Signature
<hr/>	

Gemeinnützig anerkannter Verein beim Finanzamt Bremen