

# Die Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe

WS 2019  
DR. DIETER MÜLLER

## Inhalt

- 2.13 Thermochemisches Randschichthärten
  - 2.13.1 EINSATZHÄRTEN**
  - 2.13.2 Nitrieren
  - 2.13.3 Borieren
- 2.14 Thermochemisches Randschichthärten korrosionsbeständiger Stähle
  - 2.14.1 Problemstellung
  - 2.14.2 Hochtemperaturverfahren (SolNit)
  - 2.14.3 Tieftemperaturverfahren
- 2.15 Ausscheidungshärtung martensitgehärtender Stähle

## Gasaufkohlen - Schutzgaserzeugung

**Endogaserzeugung in einem katalytischen Generator:**

- > Erdgas (Methan, CH<sub>4</sub>) – Luft  
 $2\text{CH}_4 + \text{O}_2 + 3,76\text{N}_2 \rightarrow 2\text{CO} + 4\text{H}_2 + 3,76\text{N}_2$   
 Zusammensetzung: 20% CO, 40% H<sub>2</sub>, 40% N<sub>2</sub>
- > Propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) – Luft  
 $\text{C}_3\text{H}_8 + 1,5(\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2) \rightarrow 3\text{CO} + 4\text{H}_2 + 5,64\text{N}_2$   
 Zusammensetzung: 22% CO, 31% H<sub>2</sub>, 5,64% N<sub>2</sub> + geringe Teile an CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O

Regelung des Aufkohlungsprozesses (C-Pegel) durch Zugabe von Erdgas in den Ofenraum

**Stickstoff-Methanol-Verdüsung:**

- > Methanol (CH<sub>3</sub>OH) - Spaltung  
 $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$  (T>750°C)
- > Je nach Anwendung Zugabe von N<sub>2</sub>  
 Aufkohlen: 20% CO, 40% H<sub>2</sub>, 40% N<sub>2</sub>  
 Diffusion: 15% CO, 30% H<sub>2</sub>, 55% N<sub>2</sub>  
 Härten: 10% CO, 20% H<sub>2</sub>, 70% N<sub>2</sub>
- > Aufkohlung ohne N<sub>2</sub>  
 Aufkohlen: 33% CO, 66% H<sub>2</sub>

## Block 5

### 2.13 THERMOCHEMISCHES RANDSCHICHTHÄRTEN

- 2.13.1 Einsatzhärten
- 2.13.2 Nitrieren
- 2.13.3 Borieren
- 2.14 Thermochemisches Randschichthärten korrosionsbeständiger Stähle
  - 2.14.1 Problemstellung
  - 2.14.2 Hochtemperaturverfahren (SolNit)
  - 2.14.3 Tieftemperaturverfahren
- 2.15 Ausscheidungshärtung martensitgehärtender Stähle

## Einsatzhärten – Begriffe

**DIN EN 10052:1994**

**Einsatzhärten:** Aufkohlen oder Carbonitrieren mit anschließender zur Härtung führender Behandlung

**Aufkohlen:** Thermochemisches Behandeln eines Werkstückes im austenitischen Zustand zum Anreichern der Randschicht mit Kohlenstoff, der dann im Austenit in fester Lösung vorliegt.

**Carbonitrieren:** Thermochemisches Behandeln eines Werkstückes oberhalb Ac, zum Anreichern der Randschicht mit Kohlenstoff und Stickstoff. Beide Elemente befinden sich danach im Austenit in fester Lösung.

**Kurzbearbeitung**  
 Die Oberfläche von C-armen (bedingt härtbaren) Einsatzstählen wird mit Kohlenstoff angereichert. Führt man anschließend eine Härtung durch, entsteht ein dem jeweiligen Kohlenstoffverlauf entsprechendes Härteprofil (harte Oberfläche, zäher Kern). Der Kern erhält eine erhöhte Festigkeit.  
 Bei unlegierten Stählen wird neben Kohlenstoff noch Stickstoff zugegeben (Carbonitrieren), was die Härte verbessert, sonst Gefahr von Weichflecken.  
 Temperatur 850 - 950°C, Zeit nach Tiefe.  
 Kohlenstofflieferant hierfür ist:  
 • Pulver  
 • Salzbad  
 • Gas (Endogas, Stickstoff/Methanol...)  
 Anlagen: Salzbad, Mehrzweckkammerofen, Durchlauföfen, Schachtöfen

## Gasaufkohlen - Kohlenstoffübergang

**Kohlenstoffübergang:**

$$\dot{m} = \beta (c_p - c)$$

mit  $\dot{m}$ : Kohlenstoffstrom pro Fläche  
 $\beta$ : Kohlenstoffübergangszahl  
 $c_p$ : Kohlenstoffpegel  
 $c$ : Randschichtkohlenstoffgehalt

## Thermochemisches Randschichthärten

### Diffusionsverfahren

Unter Einfluss von Temperatur wird die chemische Zusammensetzung der Randschicht verändert. Elemente werden von der Oberfläche aufgenommen und dringen in das Bauteil ein. Der Transport in die Tiefe läuft über Diffusion ab. Aufgrund des Diffusionsgesetzes handelt es sich um ein quadratisches Schichtwachstum, d.h. eine Verdoppelung der Tiefe benötigt eine Vervielfachung der Zeit.

Thermochemische Diffusion

- Ohne nachfolgende Härtung
  - Sulfidieren
  - Oxidieren
  - Nitrieren
  - Nitrocarburieren
- Mit nachfolgender Härtung
  - Aufkohlen / Einsatzhärten
  - Carbonitrieren
- Wahlweise ohne/mit Härtung
  - Borieren
  - Chromieren

## Gasaufkohlen

**Einzelschritte beim Gasaufkohlen:**

- > Transport der Kohlenstoff abgebenden Komponente an die Werkstückoberfläche; Kohlenstoffabgebende Komponente beim Gasaufkohlen in der Regel CO (geruchlos, farblos, giftig), welches auf unterschiedliche Weise erzeugt wird.
- > Kohlenstoffübergang (Grenzflächenreaktionen) auf die Oberfläche des zu behandelnden Bauteils
- > Diffusion wird von Temperatur und Zeit bestimmt; aus Gründen der Grobkornbildung ist Temperatur nach oben eingeschränkt.

**Boudouard-Gleichgewicht:**  
 $2\text{CO} \leftrightarrow [\text{C}] + \text{CO}_2$

**Homogene Wassergasreaktion:**  
 $\text{CO} + \text{H}_2 \leftrightarrow [\text{C}] + \text{H}_2\text{O}$

**CO-Zerfall:**  
 $\text{CO} \leftrightarrow [\text{C}] + \frac{1}{2}\text{O}_2$

## Aufkohlen – mathematische Berechnung

**2. Ficksches Gesetz:**

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}}$$

**Lösung des 2. Fickschen Gesetzes:**

$$c(x, t) = c_K + (c_p - c_K) (1 - \text{erf } \varphi) \quad \text{mit } \varphi = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$$

mit  $D$ : Diffusionskoeffizient  
 $c_K$ : Kernkohlenstoffgehalt  
 $c_p$ : Kohlenstoffpegel  
 $c$ : Randschichtkohlenstoffgehalt

gilt nur, wenn  $c = c_p$  von Anfang an.

### Aufkohlen – mathematische Berechnung

In der Realität nähert sich der Grenzkohlenstoffgehalt dem C-Pegel an. Darum verringert sich die Aufkohlungstiefe At um:

$$s = D/\beta$$

Berechnung der Aufkohlungstiefe:

$$x = At = \frac{0,79 \sqrt{Dt}}{0,24 + \frac{c_g - c_k}{c_g - c_k}} \quad \text{mit: } t: \text{ Aufkohlungsdauer}$$

für  $c_g = 0,35\% \text{ C}$  Grenzkonzentration (ca. 550 HV) gilt die Näherung:

$$At_{0,35} = K \sqrt{t} - S$$

### Aufkohlen - Prozessvarianten

**einstufiges Aufkohlen:** fester C-Pegel

**zweistufiges Aufkohlen:** hoher C-Pegel für schnelle C-Aufnahme; gezielte Überkohlung Diffusionsstadium mit Einstellung des Randkohlenstoffgehalts

### Einsatzhärten - Stahlauswahl

### Gasaufkohlen – mathematische Berechnung

### Einsatzhärten Einfluss T-t-Eht

### Einsatzhärten - Stahlauswahl

### Gasaufkohlen – mathematische Berechnung

Aufkohlungsmedium	Kohlenstoffübergangszahl $\beta$ (cm/s)
Endogas aus $C_2H_2$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Endogas aus $CH_4$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Methanol + Isopropanol	$2,8 \cdot 10^{-4}$
20% Methanol + Isopropanol in $N_2$	$0,15 \cdot 10^{-4}$
30% Methanol + Isopropanol in $N_2$	$0,35 \cdot 10^{-4}$
$CO_2$ $\approx 1:1$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
Aufkohlungsalbad	ca. $1,25 \cdot 10^{-4}$
Methan (z.B. Niederdruckaufkohlen)	stark abhängig vom Partialdruck

Temperatur [°C]	Diffusionskoeffizient D (cm <sup>2</sup> /s) für 1% C
900	$0,99 \cdot 10^{-7}$
930	$1,47 \cdot 10^{-7}$
950	$1,81 \cdot 10^{-7}$
980	$2,54 \cdot 10^{-7}$
1000	$3,16 \cdot 10^{-7}$

### Aufkohlen Einfluss der Legierungselemente im Einsatzstahl

Legierungsfaktor	Empfohlene Randkohlenstoffgehalte		
$C_p$ erforderlich = $\frac{C_k}{k_f}$			
Stahlbezeichnung	$k_f$	Stahl	Kohlenstoffgehalt in Massenanteilen in %
Ck 15, Ck 18	0,98	20 MnCr 4	0,75
17Cr 5	1,06	20 NiMoCr 8	0,73
30 Cr 4	1,10	16 MnCr 5	0,72
18NiCr 5	1,11	20 MnCr 5	0,70
20NiCr 5	1,13	15 CrNi 6	0,65
20NiCr 4	1,05	18 CrNi 8	0,63
22 CrNi 5 13	1,10		
21 NiCrAl 2	1,04		
15 CrNi 6	1,11		
17 CrNiMo 6	1,13		

Der Legierungsfaktor  $k_f$  berücksichtigt die durch Legierungselemente eingeschränkte Kohlenstoffaufnahme. Beispiel: wird ein 18NiCr5 mit einem C-Pegel von 0,8% aufgekühlt wird sich ein Randkohlenstoffgehalt von 0,72% (0,8/1,1) einstellen.

Zusätzlich bleibt zu berücksichtigen, dass Legierungselemente die Gleichgewichtslinien im Fe-Fe<sub>3</sub>C-Diagramm verschieben, d.h. der eutektische Punkt verschiebt sich meist zu kleineren Kohlenstoffgehalten. Obige Tabelle gibt Empfehlungen für einzustellende Randkohlenstoffgehalte.

### Einsatzhärten - Feinkornbeständigkeit

U: unbehandelt; BF: angelassen; G1: GfZ-Ac; G2: GfZ-Ac, N; normaligeht (870°C, 30 min, Luft); BG: behandelt auf Ferrit-Perlit Gefüge (930°C, 40 min/isothem)



**Niederdruckaufkohlen - Prozessgase**

Prozessgas	mit Plasma	Reaktionen
Methan	mit Plasma	$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$
Propan	ohne Plasma	$C_3H_8 \rightarrow C + CH_4 + H_2$
	mit Plasma	$C_3H_8 \rightarrow 3C + 4H_2$
Ethylen	ohne Plasma	$C_2H_4 \rightarrow C + CH_4$
	mit Plasma	$C_2H_4 \rightarrow 2C + 2H_2$
Acetylen (Ethin)	ohne Plasma	$C_2H_2 \rightarrow 2C + H_2$

$C_2H_2 \Rightarrow 2C + H_2$

18. November 2019 DE: WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTÜCKE Folie 28

**Niederdruckaufkohlen**

Diffusion unter Vakuum

$Fe_3C \Rightarrow Fe(C)$

18. November 2019 DE: WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTÜCKE Folie 31

**Gasaufkohlen - Niederdruckaufkohlen Vergleich Verzug**

Rundlauffehler (µm)	Niederdruckaufkohlen und Gasabschreckung	Schutzgasaufkohlen und Ölabschreckung
25	~12	~5
50	~20	~10
75	~15	~15
100	~10	~18
125	~5	~10
150	~2	~3

nach Lorenz, Thermoprozesse 2007

18. November 2019 DE: WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTÜCKE Folie 34

**Niederdruckaufkohlen**

Katalytische Zersetzung

$C_2H_2_{ads} \Rightarrow 2C_{ads} + 2H_{ads}$

18. November 2019 DE: WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTÜCKE Folie 29

**Niederdruckaufkohlen Schematischer Prozessverlauf**

18. November 2019 DE: WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTÜCKE Folie 32

**Inhalt**

- 2.13 Thermochemisches Randschichthärten
- 2.13.1 Einsatzhärten
- 2.13.2 NITRIEREN**
- 2.13.3 Borieren
- 2.14 Thermochemisches Randschichthärten korrosionsbeständiger Stähle
- 2.14.1 Problemstellung
- 2.14.2 Hochtemperaturverfahren (SoNit)
- 2.14.3 Tieftemperaturverfahren
- 2.15 Ausscheidungshärtung martensitaushärtender Stähle

18. November 2019 DE: WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTÜCKE Folie 30

**Niederdruckaufkohlen**

Bildung einer geschlossenen Karbidschicht und Kohlenstoffdiffusion

$3Fe + C \Rightarrow Fe_3C$

18. November 2019 DE: WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTÜCKE Folie 30

**Gasaufkohlen - Niederdruckaufkohlen Vergleich Randoxidation /-effusion**

18. November 2019 DE: WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTÜCKE Folie 33

**Nitrieren - Begriffe**

**DIN EN 10052:1994**

**Nitrieren:** Thermochemisches Behandeln eines Werkstückes zum Anreichern der Randschicht mit Stickstoff. Erfolgt diese Behandlung in einem Mittel, dem ein nennenswerter Anteil an Sauerstoff zugefügt wurde, wird von Oxidnitrieren gesprochen.

**Nitrocarburieren:** Thermochemisches Behandeln zum Anreichern der Randschicht eines Werkstückes mit Stickstoff und Kohlenstoff unter Bildung einer Verbindungsschicht.

**Kurzbeschreibung**

Die Oberfläche wird mit Stickstoff angereichert. Es bilden sich Nitride in der Oberfläche, welche einen Härteanstieg bewirken. An der Oberfläche bildet sich eine geschlossene Nitridschicht (Verbindungsschicht) und anschließend die Diffusionszone mit einem in die Tiefe abnehmenden Stickstoffgehalt. Die Härte ergibt sich aus der Legierungszusammensetzung des Stahls, insbesondere C, Al, Mo, V bilden sehr harte Nitride. Wird neben Stickstoff noch Kohlenstoff zugeführt, spricht man von Nitrocarburieren. Durch Nachoxidieren lässt sich die Korrosionsbeständigkeit erhöhen. (Corr-i-Dur)

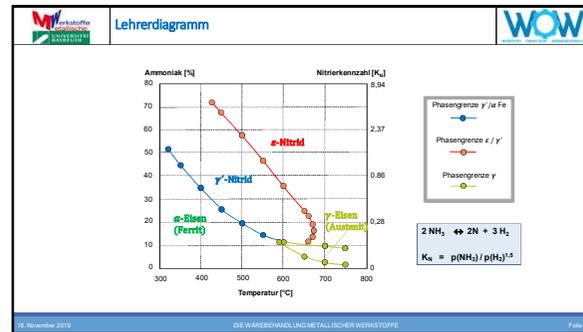
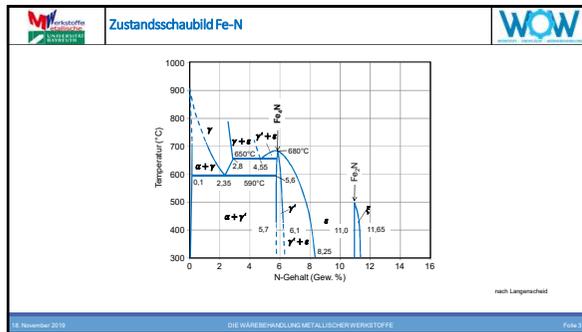
Temperatur 480 - 600°C, Zeit nach Tiefle.

Stickstofflieferant hierfür ist:

- Cyanidhaltiges Salzbad (Tenifer)
- Gas (Ammoniak, Plasma-Stickstoff)

Anlagen: Salzbad, Kammerofen, Durchlaufofen, Schachtofen, Plasmaanlage

18. November 2019 DE: WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTÜCKE Folie 36

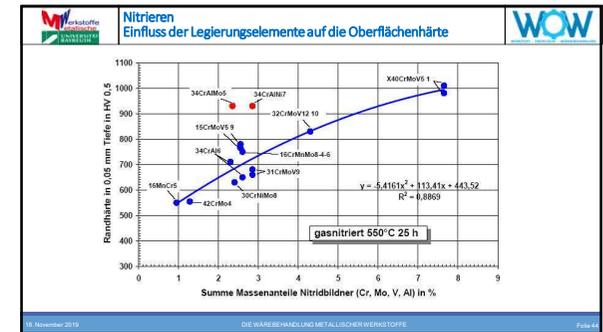
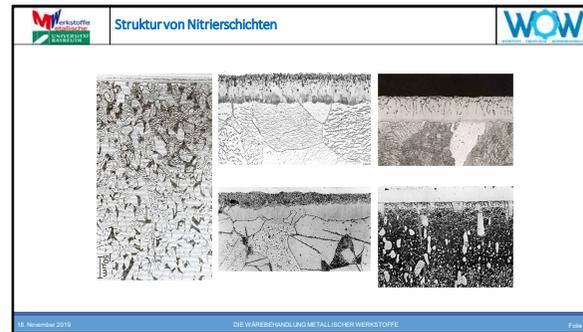
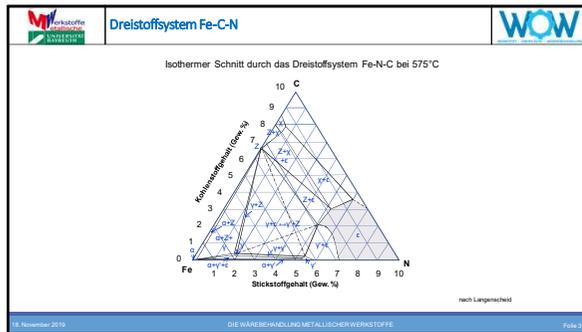


### Aufbau einer Nitrierschicht

3. Oxidschicht

- Bildung einer kompakten Oxidschicht  $Fe_3O_4$
- Dicke der Oxidschicht 1 - 3  $\mu m$
- dunkelgrau - schwarze Oberfläche

➔ Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit  
Optik



### Aufbau einer Nitrierschicht

Verbindungsschicht  
-  $\epsilon$ -Nitrid  
-  $\gamma$ -Nitrid

Diffusionsschicht

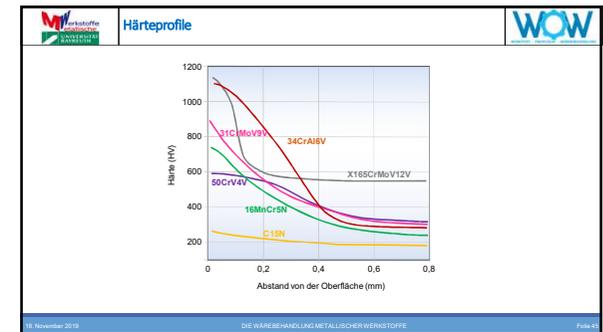
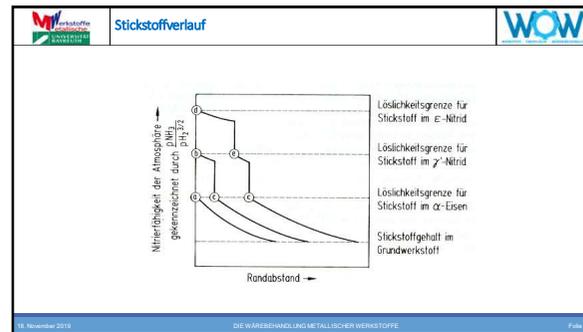
**Aufbau der Diffusionsschicht**

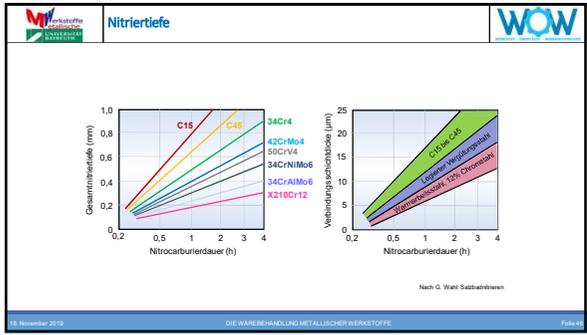
Unlegierte Stähle  
- Langsame Abkühlung:  
- N im Ferrit gelöst (max. 0,1%)  
- Ausscheidung  $\gamma'$

Legierte Stähle  
- Ausscheidung feinv verteilter Fe- und Sondernitride

Bei Erwärmung Ausscheidung von  $\gamma$ -Nitriden

• Fe  
• N

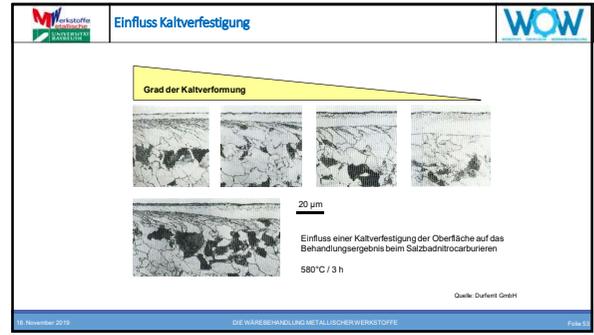
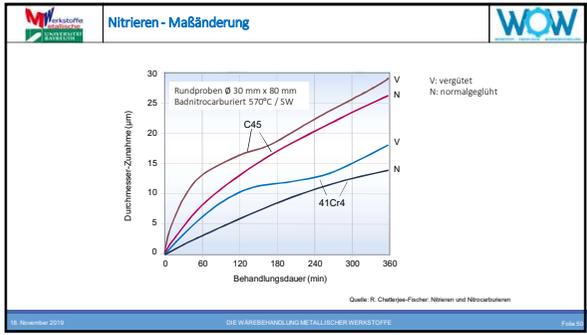
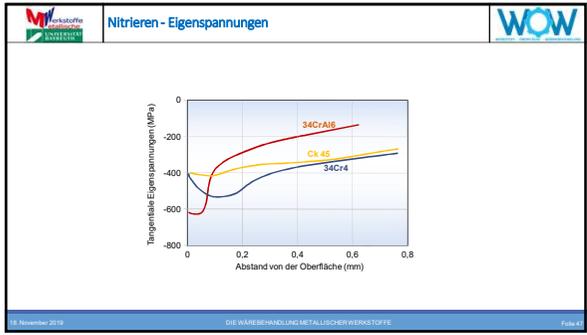
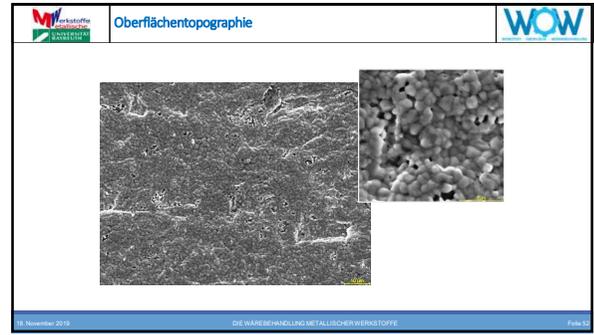




### Nitrieren Eigenschaften

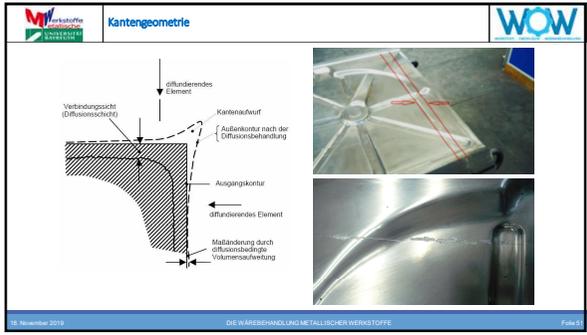
Benennung	Kennzeichen	Art der Randschicht <sup>1)</sup>				geeignete Stabilisierstoffe	
		γ'-VS	γ'+ε-VS	ε-VS	reine Diffusionschicht		
adhäsiiver Verschleiß		Fressen	+	0	++	-	1 bis 6
abrasiver Verschleiß		Auskaulen	++	-	+	0	7 bis 10, 13
kern-Gleitverschleiß		Färchen	+	0	+	0	9 bis 10, 13
Wälzverschleiß		Ritzen	+	0	+	++	11, 12
Wälzverschleiß, geschmiedet, eingeschmiedet		Ritzen	+	0	+	0	9 bis 10, 13
Driftverschleiß		Einbetten	+	0	+	++	11, 12
Driftverschleiß, geschmiedet, eingeschmiedet		Einbetten	+	0	+	0	1 bis 5
Driftverschleiß		Schalen	++	0	+	+	7 bis 9, 13
Driftverschleiß		Schalen	+	-	+	0	1 bis 5
Driftverschleiß		Ausbrechen	++	-	0	++	7 bis 10, 13
Driftverschleiß		Ausbrechen	-	-	-	++	11, 12

++ sehr gut + gut 0 weniger gut - ungeeignet  
<sup>1)</sup> VS = Verbindungsschicht



### Nitrieren - Eigenschaften

wechselnde oder schwelende Beanspruchung		geeignete Werkstoffe
Forderung	Kennzeichen	
Zug		Stahlgruppe 7 bis 13 weitgehend unabhängig von der Art der Randschicht
Druck		Stahlgruppe 7 bis 9 und insbesondere 10 bis 13 weitgehend unabhängig von der Art der Randschicht
Biegung		Stahlgruppe 7 bis 9, Randschicht γ'/max. NtH Stahlgruppe 10 bis 13, reine Diffusionschicht / max. NtH
Schubspannung		Stahlgruppe 7 bis 9, Randschicht γ' / max. NtH Stahlgruppe 10 bis 13, reine Diffusionschicht / max. NtH
Torsion		Stahlgruppe 7 bis 10, 13, Randschicht γ' / max. NtH Stahlgruppe 11 bis 12, reine Diffusionschicht / max. NtH



### Gasnitrieren

**Gasnitrieren**

Stickstofflieferant: Ammoniak (NH<sub>3</sub>)

Ammoniakgleichgewicht:  $2\text{NH}_3 \leftrightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$

Regelung des Nitrieren erfolgt über Nitrierkennzahl  $K_N$

$$K_N = \frac{p(\text{NH}_3)}{p(\text{H}_2)^{1.5}}$$

Temperatur: 500 - 550°C, Zeit nach Tiefe

Vorteile: kostengünstig  
 Behandlung von Schüttgut möglich  
 Abdecken mit Pasten möglich

### Plasmanitrieren

**Plasmanitrieren**

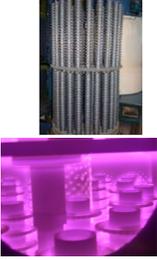
Stickstofflieferant: Stickstoff (N<sub>2</sub>) elektrisch angeregt

Durch Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen und Ofenwand wird das Prozessgas angeregt und elektrisch aufgeladen. Die positiv geladenen Gasatome werden von der Chargenoberfläche aufgenommen.

Temperatur: 400 - 550°C, Zeit nach Tiefe

Vorteile: Behandlung von Cr-Stählen und Sinterstählen hohe Oberflächengüte

Nachteile: teure Anlagentechnik aufwendige Chargierung Nitrieren von Bohrungen nicht möglich

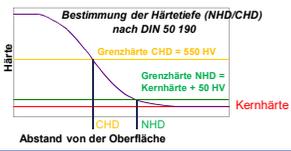


18. November 2019 DIE-WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Seite 54

### Kenngrößen Nitrieren

- Härtetiefe NHD / CHD (Nht / Eht)
- Oberflächenhärte OH
- Kernhärte KH
- Verbindungsschichtdicke VS
- Korrosionsbeständigkeit SST

**Bestimmung der Härtetiefe (NHD/CHD) nach DIN 50 190**



18. November 2019 DIE-WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Seite 54

### Borieren - Reaktionen

**Borierverfahren mit industrieller Bedeutung:**  
**Pulver- / Pastenborieren / Granulate**  
 (Borspender B<sub>2</sub>C, Aktivator KBF<sub>4</sub>, Streckungsmittel SiC)

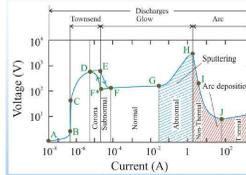
Ausgangsreaktion  
 $KBF_4 \rightleftharpoons KF + BF_3$

Teilreaktionen  
 $8 BF_3 + B_2C \Rightarrow 12 BF_2 + C$   $\Delta G_{1200} = +986 \text{ kJ/mol}$   
 $12BF_2 + 4 Fe \Rightarrow 4 FeB + 8 BF_3$   $\Delta G_{1200} = -1192 \text{ kJ/mol}$

Gesamtreaktion  
 $B_2C + 4 Fe \Rightarrow 4 FeB + C$   $\Delta G_{1200} = -206 \text{ kJ/mol}$

18. November 2019 DIE-WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Seite 51

### Plasmaerzeugung



EF Confined to the center

FG Increases intensity

GH Covers electrode totally

18. November 2019 DIE-WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Seite 58

### Korrosionsbeständigkeit

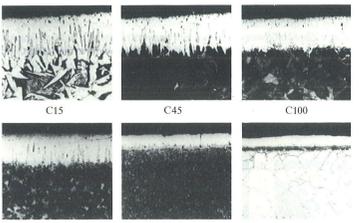
**SALZSPRÜHEBELTEST NACH DIN 50021 SS**  
 Vergleich verchromte Bauteile und gasnitrokarburierte + oxidierte Bauteile Zustand nach 60 h



gasnitrokarburiert + oxidiert      verchromt

18. November 2019 DIE-WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Seite 59

### Borieren - Gefüge



18. November 2019 DIE-WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Seite 52

### Salzbadnitrieren

**Salzbadnitrieren (Tenifer: QPQ)**

Stickstofflieferant: Cyanidhaltige Salzschmelzen

Cyanatzerfall:  $2 CN^- + O_2 \leftrightarrow CO_3^{2-} + CO + 2 N$   
 $4 CN^- \leftrightarrow CO_3^{2-} + 2 N + 2 CN^-$

Temperatur 480 - 580°C, Zeit: Minuten - wenige Stunden

Vorteile: Harte Verbindungsschicht kurze Behandlungszeit

Nachteile: Umweltschädliche Salze kein Abdecken möglich



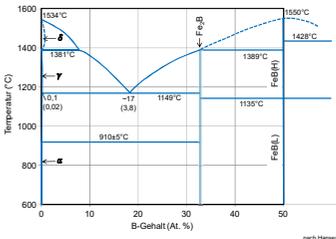
18. November 2019 DIE-WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Seite 57

### Inhalt

- 2.13 Thermochemisches Randschichthärten
- 2.13.1 Einsatzhärten
- 2.13.2 Nitrieren
- 2.13.3 BORIEREN**
- 2.14 Thermochemisches Randschichthärten korrosionsbeständiger Stähle
- 2.14.1 Problemstellung
- 2.14.2 Hochtemperaturverfahren (SoNit)
- 2.14.3 Tieftemperaturverfahren
- 2.15 Ausscheidungshärtung martensitgehärtender Stähle

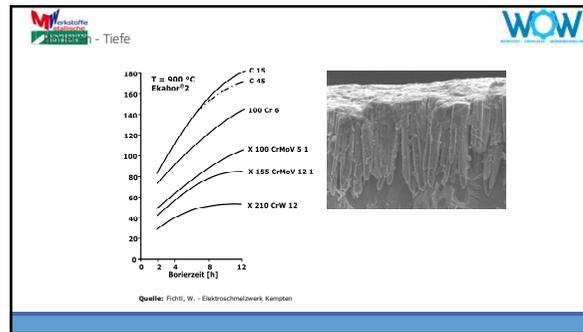
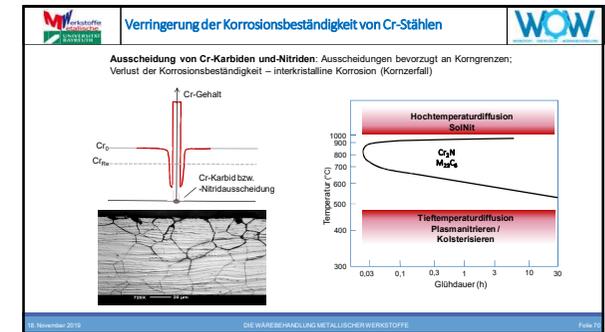
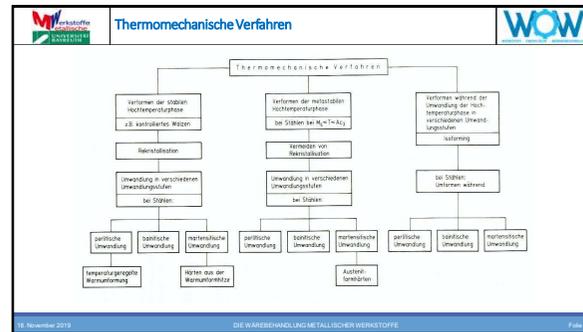
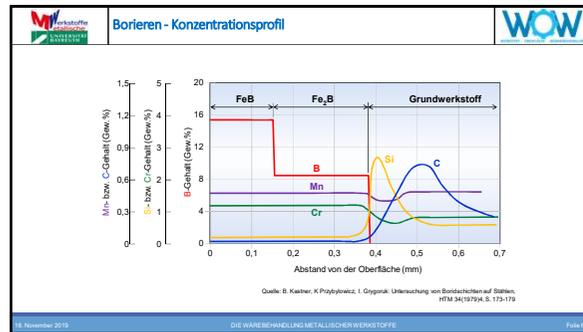
18. November 2019 DIE-WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Seite 60

### System Fe-B



nach Hansen: Constitution of Binary Alloys, 1958

18. November 2019 DIE-WAREBEHANDLUNG METALLISCHER WERKSTOFFE Seite 53

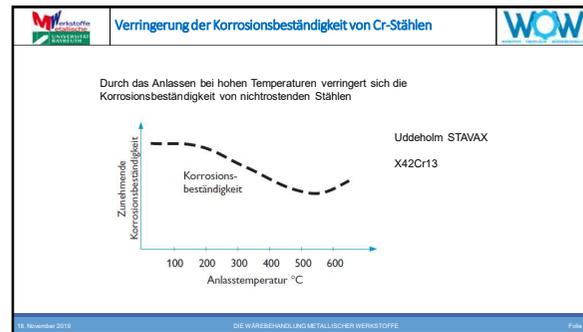
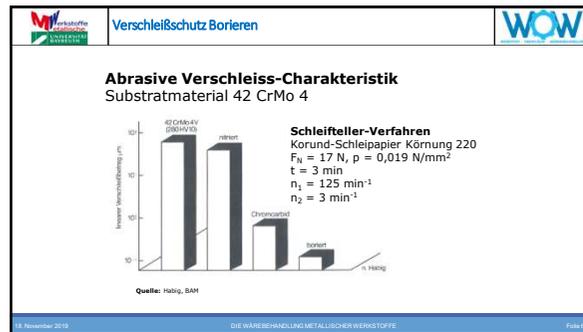


### Inhalt

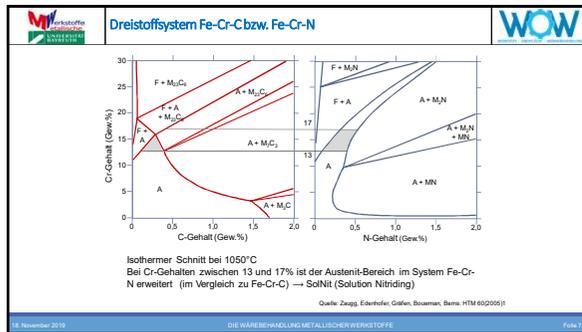
- 2.13 Thermochemisches Randschichthärtten
  - 2.13.1 Einsatzhärtten
  - 2.13.2 Nitrieren
  - 2.13.3 Borieren
- 2.14 **THERMOCHEMISCHES RANDSCHICHTHÄRTTEN KORROSIONSBESTÄNDIGER STÄHLE**
  - 2.14.1 **PROBLEMSTELLUNG**
    - 2.14.2 Hochtemperaturverfahren (Sol/Nit)
    - 2.14.3 Tieftemperaturverfahren
  - 2.15 Ausscheidungshärtung martensitischhärtender Stähle

### Inhalt

- 2.13 Thermochemisches Randschichthärtten
  - 2.13.1 Einsatzhärtten
  - 2.13.2 Nitrieren
  - 2.13.3 Borieren
- 2.14 Thermochemisches Randschichthärtten korrosionsbeständiger Stähle
  - 2.14.1 Problemstellung
  - 2.14.2 **HOCHTEMPERATURVERFAHREN (Sol/Nit)**
    - 2.14.3 Tieftemperaturverfahren
  - 2.15 Ausscheidungshärtung martensitischhärtender Stähle



- ### Hochtemperaturdiffusion
- Eindiffusion von Stickstoff bei ca. 1050°C und anschließendes Abschrecken
  - Praktisch werden konventionelle Vakuumhärtanlagen verwendet; Prozessgas ist  $N_2$
  - N erzeugt bei ferritischen Stählen eine austenitische Randschicht, welche beim Abschrecken martensitisch umwandelt
  - Bei austenitischen Stählen kommt es gleichfalls zu einer allerdings geringen Härtesteigerung



**Tiefemperaturdiffusion**

- Nur bei austenitischen Stählen möglich (und bedingt bei Duplex-Stählen) wegen mangelnder Löslichkeit im Ferrit
- N und C können eindiffundieren und bleiben im kfz Gitter gelöst; es entsteht ein „übersättigter“ Austenit; expanded Austenite, S-Phase
- Behandlungstemperaturen um 400°C; entsprechend lange Zeiten und dünne Schichten
- Verwendete Prozesse
  - Plasmanitrieren bzw. Plasmaaufkohlen
    - Kolsterisieren®
    - Niederdruckaufkohlen (im Versuchsstadium)

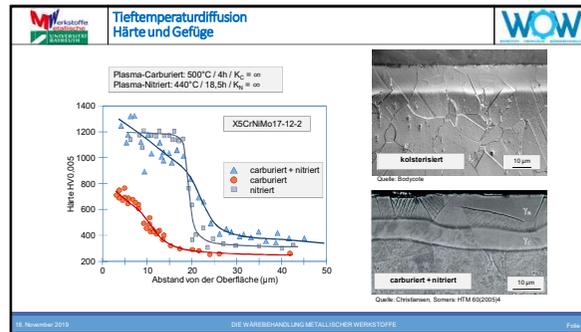
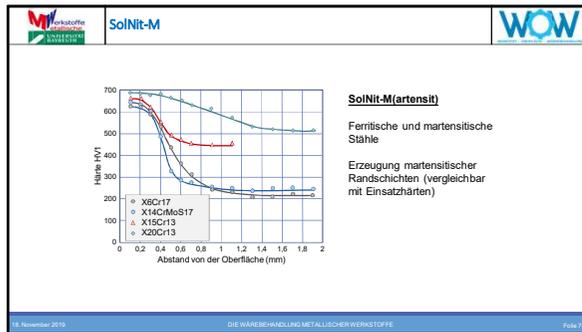
**Tiefentemperaturaufkohlen Anwendungen**

**Sollerrad Pharmaindustrie**  
**Werkstoff:** 1.4401 (AISI 316)  
**Anforderungen:**

- Korrosionsbeständigkeit
- Keine Maß- und Formänderung
- Verschleißfestigkeit

**Abfüllzylinder Nahrungsmittelindustrie**  
**Werkstoff:** 1.4404  
**Anforderungen:**

- Verschleißfest
- Keine Maß- und Formänderung
- Korrosionsfest

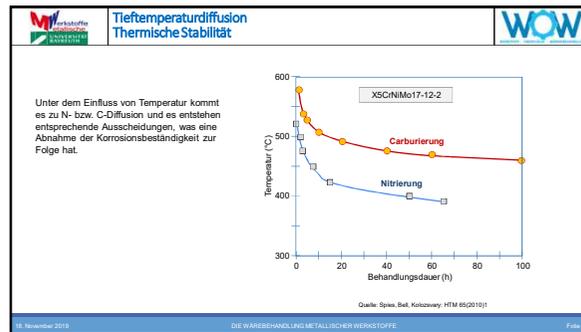


**Inhalt**

- 2.13 Thermochemisches Randschichthärten
  - 2.13.1 Einsatzhärten
  - 2.13.2 Nitrieren
  - 2.13.3 Borieren
  - 2.14 Thermochemisches Randschichthärten korrosionsbeständiger Stähle
    - 2.14.1 Problemstellung
    - 2.14.2 Hochtemperaturverfahren (SoINit)
    - 2.14.3 Tiefemperaturverfahren
- 2.15 AUSSCHIEDUNGSHÄRTUNG MARTENSITAUSHÄRTENDER STÄHLE**

**Inhalt**

- 2.13 Thermochemisches Randschichthärten
  - 2.13.1 Einsatzhärten
  - 2.13.2 Nitrieren
  - 2.13.3 Borieren
  - 2.14 Thermochemisches Randschichthärten korrosionsbeständiger Stähle
    - 2.14.1 Problemstellung
    - 2.14.2 Hochtemperaturverfahren (SoINit)
    - 2.14.3 TIEFTEMPERATURVERFAHREN**
  - 2.15 Ausscheidungshärtung martensitaushärtender Stähle



**Martensitaushärtende Stähle (Maraging Steels)**

**Zusammensetzung:** Kohlenstoffarm ( $\leq 0.03\%$ ), hochlegiert  
 Ca, 18% Ni + Al, Ti, Mo + Co

**Wärmebehandlung:** Lösungsglühen, Abschrecken; Bildungen weichen Martensits  
 Auslagern: Bildung harter intermetallischer Phasen  
 Vorteil: Bearbeitung im weichen Zustand, beim Auslagern tritt nur gut beherrschbare Maßänderung auf

**Ausscheidungen:** Bildung harter intermetallischer Verbindungen  
 z.B. Ni<sub>3</sub>Mo, Ni<sub>3</sub>Ti, Fe<sub>3</sub>Ni, Fe<sub>3</sub>Mo  
 Co unterstützt feine Verteilung der Ausscheidungen

**Beispiel:** X3NiCoMoTi18-9-5  
**Wärmebehandlung:** Lösungsglühen: 820-850°C/Wasser (Härte max. 340 HB)  
 Aushärten: 6h/490°C/LuR (Härte ca. 55HRC)

Quelle: Spew, Bell, Koloszewy: HTM 65(2010)