

## TENIFER®-QPQ-VERFAHREN

Dr. Joachim Boßlet / Michael Kreutz



## TENIFER® - QPQ - Verfahren

Das Salzbadnitrocarburieren nach dem TENIFER-Verfahren von Bauteilen aus Stahl, Gußeisen und Sinterisenwerkstoffen wird seit Jahrzehnten weltweit in den verschiedensten Industriezweigen angewandt. Es wird eingesetzt zur Erhöhung des Verschleißwiderstandes, der Dauerfestigkeit und – insbesondere in Verbindung mit der oxidierenden Abkühlung – der Korrosionsbeständigkeit. In vielen Fällen ist das TENIFER-Verfahren eine Alternative zu anderen Randschichtverfahren, wie Einsatzhärten, galvanische (z.B. Hartverchromen) und andere Beschichtungsverfahren (Kunststoffbeschichten, Lackieren, Laserbeschichten etc.) oder Plasma- bzw. Gasnitrocarburieren, bei gleicher oder verbesserter Qualität und höherer Wirtschaftlichkeit.

### Verfahrensdurchführung

Die Prozeßführung beim TENIFER Q-, QP- bzw. QPQ-Verfahren ist im Vergleich zu anderen Nitrocarburierverfahren sehr einfach. Wie bei der Behandlung von Bauteilen in Salzbädern üblich, werden die Teile zunächst an Luft auf etwa 350°C vorgewärmt. Das Nitrocarburieren erfolgt im sogenannten TF 1 Bad bei 480-630°C, wobei als Standardtemperatur meist 580°C gewählt wird.

Die Salzschnmelze besteht im wesentlichen aus Alkalicyanat sowie Alkalicarbonat und wird in einem Tiegel aus Sonderwerkstoff mit Belüftungseinrichtung betrieben. Der aktive Bestandteil im TF 1 Bad ist das Alkalicyanat. Während des Nitrocarburierprozesses bildet

sich bei der Reaktion des Alkalicyanates mit der Bauteiloberfläche Alkalicarbonat. Durch gezielte Zugaben des ungiftigen Regenerators REG 1 wird die nitrieraktive Komponente direkt wieder in der Salzschnmelze erzeugt und die Aktivität des TF 1 Bades in sehr engen Grenzen gehalten (Bild 1).



Bild 1

Da die Badregenerierung ohne Volumenänderung des Nitrocarburierbades verläuft, fallen keine Ausschöpfungsalze an. Die beim Ausfahren der Behandlungsladung auftretenden Ausschleppverluste werden mit dem TF 1 Nachfüllsalz ergänzt. Im Gegensatz zum Gasnitrieren / Gasnitrocarburieren sind die beim TENIFER-QPQ-Verfahren notwendigen Einsatzstoffe TF 1 und REG 1 weder als giftig noch als umweltgefährlich eingestuft.

Die Oxidationsbehandlung nach dem Salzbadnitrocarburieren wird in einem speziell entwickelten Abkühlbad (AB 1 Bad) durchgeführt. Hierbei wird an der Oberfläche der behandelten Teile eine schwarze Eisenoxidschicht (Magnetit) erzeugt, die eine wesentliche Steigerung der Korrosionsbeständigkeit bewirkt. Das Abkühlbad hat eine Temperatur von 350-400°C. Neben der oxidierenden Wirkung wird das Maßänderungsverhalten der abgekühlten Bauteile günstig beeinflusst.

Anschließend erfolgt die weitere Abkühlung auf Raumtemperatur sowie das Reinigen des Behandlungsgutes (TENIFER-Q-Verfahren).

Wenn in bestimmten Anwendungsfällen die Bauteiloberfläche nach dem Nitrocarburieren zu rau ist, können je nach Bauteilgröße und Form die verschiedensten Methoden zum Polieren eingesetzt werden (TENIFER-QP-Verfahren). Gut bewährt haben sich

- Läppen mit Läppleinen der Körnung 360 oder feiner;
- Polieren oder Feinstschleifen mit speziellen Polierscheiben im Durchlaufverfahren ähnlich dem spitzenlosen Schleifen oder auf Drehautomaten zwischen Spitzen eingespannt;
- Gleitschleifen im Vibrationsbehälter. Diese Bearbeitung wird vorwiegend bei Klein- und Blechteilen eingesetzt;
- Läppstrahlen mit Glasperlen von 40-70 µm im Durchmesser. Um eine zu starke Kantenabrundung oder einen Abtrag der Verbindungsschicht zu vermeiden, sollte mit einem Druck von max. 4 bar gearbeitet werden;
- automatisiertes Läppstrahlen mit Metallkugeln, Durchmesser möglichst kleiner 1 mm.

Durch die Zwischenbehandlung kann jedoch ein Teil des gewonnenen Korrosionsschutzes verloren gehen. Deshalb wird nach dem Polieren häufig eine oxidierende Nachbehandlung im AB 1 Bad durchgeführt.



Dies ergibt den in Bild 2 gekennzeichneten Verfahrensablauf. Der gesamte Behandlungsablauf mit Zwischenbearbeitung entspricht dem TENIFER-QPQ-Verfahren. QPQ bedeutet Quench Polish Quench und beinhaltet TENIFER - Behandlung mit oxidierender Abkühlung, Zwischenbearbeitung und oxidierende Nachbehandlung in einer Salzschemelze.

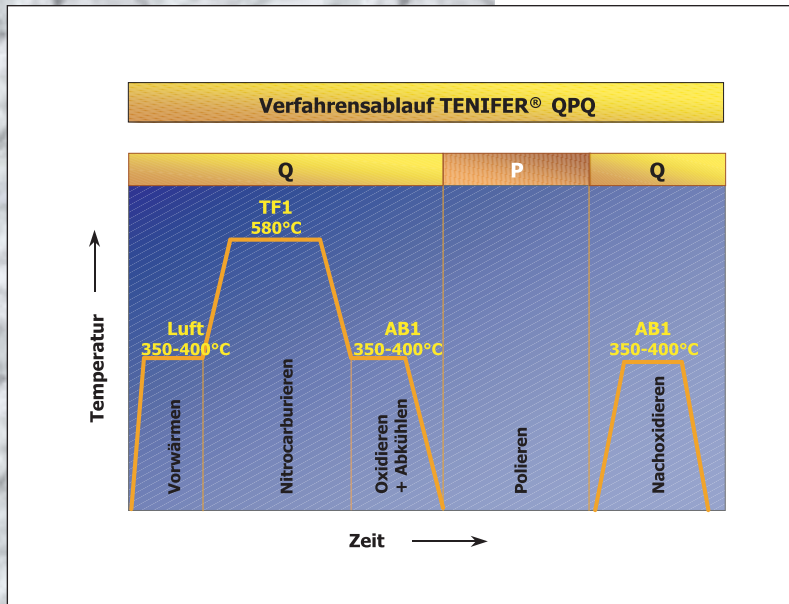


Bild 2

## Aufbau und Dicke der Nitrocarburierschicht

### Verbindungsschicht

Beim Salzbadnitrocarburieren nach dem TENIFER-Verfahren wird eine Nitrocarburierschicht gebildet, die aus der außenliegenden Verbindungsschicht ( $\epsilon$ -Eisennitrid) und der sich daran anschließenden Diffusionsschicht besteht. Ausbildung, Struktur und Eigenschaften der Verbindungsschicht sind abhängig vom verwendeten Grundmaterial.

Die Verbindungsschicht besteht aus Verbindungen von Eisen, Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Aufgrund ihrer Struktur hat diese keine metallischen Eigenschaften mehr. Sie zeichnet sich durch einen besonders guten Widerstand gegen Verschleiß, Freßneigung und Korrosion aus und ist nahezu bis Bildungstemperatur beständig. Im Vergleich zum Plasma- oder Gasnitrocarburieren lassen sich beim TENIFER-Verfahren Verbindungsschichten mit dem höchsten Stickstoffgehalt erzielen. Schichten mit hohem Stickstoffgehalt bieten einen besseren Verschleiß- und insbesondere Korrosionsschutz als solche mit einem niedrigeren.

In der Verbindungsschicht werden je nach verwendetem Werkstoff Vickershärten von etwa 800 bis 1500 HV gemessen. In Bild 3 sind durch verschiedene Verfahren hergestellte Randschichten und die erzielten Härteergebnisse gegenübergestellt.

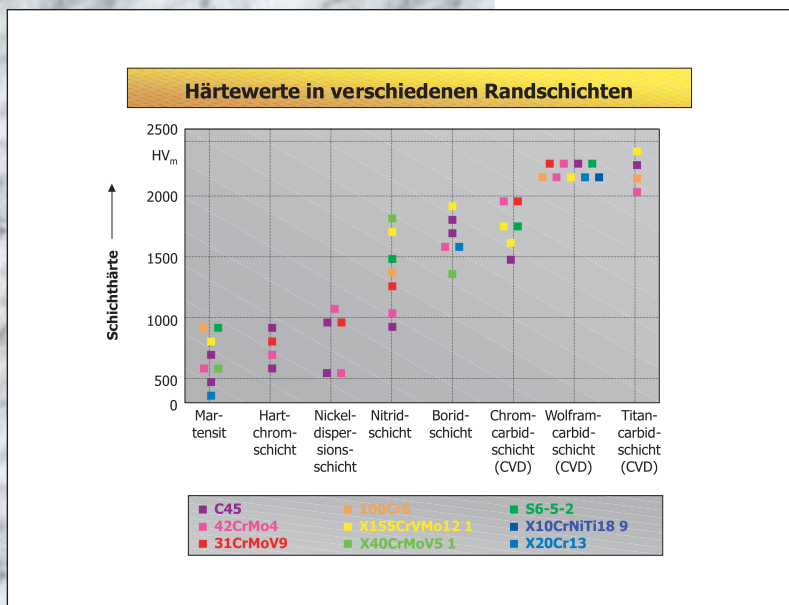


Bild 3

Bei der metallographischen Überprüfung eines salzbad-nitrocarburierten Bauteiles hebt sich der als Verbindungsschicht bezeichnete Teil der Gesamtschicht als schwach anätzbare Zone deutlich von der nachfolgenden Diffusionsschicht ab. Die Verbindungsschicht entsteht bei der Eindiffusion des atomaren Stickstoffs. Mit zunehmender Stickstoffaufnahme wird die Löslichkeitsgrenze in der Randzone überschritten und es scheiden sich Nitride aus, die eine geschlossene Verbindungsschicht bilden.

Neben den Behandlungsbedingungen (Temperatur, Zeit, Badzusammensetzung) beeinflussen der Gehalt an Kohlenstoff und Legierungselemente der zu behandelnden Werkstoffe die erreichbare Schichtdicke. Mit zunehmendem Legierungsanteil wird zwar das Schichtwachstum geringer, aber in gleichem Maße nimmt die Härte zu.

Die in Bild 4 aufgezeigten Zusammenhänge wurden in einem TF 1 Bad bei 580°C ermittelt. Bei den gebräuchlichen Behandlungsdauern von 60-120 Minuten erreicht die Verbindungsschicht bei den meisten Werkstoffgütern eine Stärke von 10-20 µm.

## Diffusionsschicht

Erreichbare Tiefe und Härte der Diffusionsschicht sind im wesentlichen werkstoffabhängig. Je höher ein Stahl legiert ist, desto geringer ist die Aufstickungstiefe bei gleicher Behandlungsdauer. Dagegen steigt die Härte mit zunehmendem Legierungsanteil an.

Bei unlegierten Stählen wird die Gefügeausbildung der Diffusionsschicht von der Abkühlungsgeschwindigkeit nach dem Nitrocarburierten beeinflusst. Nach schneller Abkühlung in Wasser bleibt der eindiffundierte Stickstoff in Lösung. Durch langsame Abkühlung oder späteres Anlassen kann im äußeren Bereich der Diffusionsschicht bei unlegierten Stählen ein Teil des Stickstoffs als Eisennitridnadeln ausgeschieden werden. Durch diese Ausscheidung wird die Duktilität des nitrocarburierten Bauteiles verbessert. Im Gegensatz zu unlegierten Stählen ist bei hochlegierten Werkstoffen ein Teil der Diffusionsschicht durch verbesserte Anätzbarkeit gegenüber dem Kerngefüge metallographisch gut zu unterscheiden.

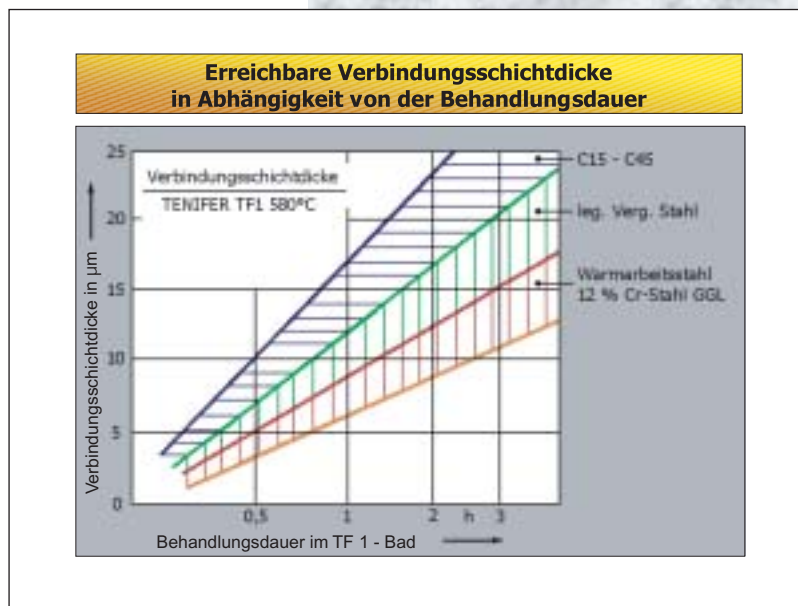
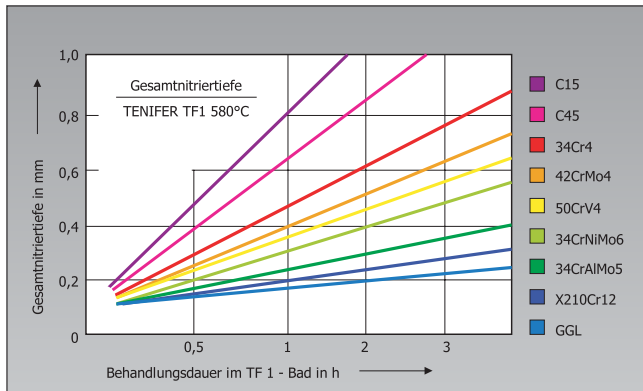


Bild 4

**Gesamtstickstoffeindringtiefe nach Salzbadnitrocarburieren bei verschiedenen Stählen in Abhängigkeit von der Behandlungsdauer**



Aber die tatsächliche Aufstickungstiefe ist ebenfalls erheblich größer als der metallographisch sichtbare dunkler anätzbare Bereich.

Ein nennenswerter Einfluß der Abkühlung auf die Ausbildung der Diffusionsschicht ist nicht vorhanden. In Bild 5 ist die Nitrierhärte-tiefe für verschiedene Werkstoffe in Abhängigkeit von der Nitrocarburierdauer angegeben.

## Oberflächenhärte und Kernfestigkeit

Die durch die TENIFER-Behandlung erzielbare Oberflächenhärte wird wesentlich von der Werkstoffzusammensetzung beeinflusst. Mit zunehmendem Gehalt an nitridbildenden Legierungselementen (Cr, Mo, Al, V, Mn, Ti, W) nimmt die Oberflächenhärte zu. In Bild 6 sind Richtwerte der Kernfestigkeit und Oberflächenhärte von Salzbadnitrocarburierten Stählen aufgeführt.

Werkstoff		Festigkeit nach dem Vergüten (N/mm <sup>2</sup> ) Anlaßtemperatur 600°C Anlaßdauer		Richtwerte für die Oberflächenhärte 90 min 580°C TENIFER-behandelt		
Kurzname	Werkstoffnummer	2 Stunden	6 Stunden	HV 1	HV 10	HV 30
Ck15	1.1141	600	550	350	300	200
C45W3	1.1730	750 - 850	700 - 800	450	350	250
Ck60	1.1221	750 - 900	700 - 800	450	350	250
20MnCr5	1.7147	800 - 950	800 - 900	600	450	400
53MnSi4	1.5141	850 - 950	800 - 900	450	400	350
90MnV8	1.2842	1000 - 1200	900 - 1100	550	450	400
42CrMo4	1.7225	900 - 1200	900 - 1100	650	500	450
X19NiCrMo4	1.2764	900 - 1100	900 - 1000	600	500	450
55NiCrMoV6	1.2713	1200 - 1400	1150 - 1300	650	550	500
56NiCrMoV7	1.2714	1300 - 1500	1250 - 1400	650	550	500
50NiCr13	1.2721	1200 - 1350	1100 - 1200	600	500	450
X20Cr13	1.2082	1000 - 1200	1000 - 1200	> 900	600	450
X35CrMo17	1.4122	1000 - 1200	1000 - 1200	> 900	700	550
X210Cr12	1.2080	1500 - 1700	1400 - 1600	> 800	600	450
X210CrW12	1.2436	1500 - 1800	1400 - 1650	> 800	600	500
X165CrMoV12	1.2601	1400 - 1900	1400 - 1700	> 800	650	500
45CrMoW58	1.2603	1500 - 1800	1400 - 1700	800	700	600
X32CrMoV33	1.2365	1700 - 1800	1600 - 1750	> 900	850	700
X38CrMoV51	1.2343	1700 - 1900	1500 - 1700	> 900	850	700
X37CrMoV51	1.2606	1700 - 1900	1600 - 1800	> 900	800	700
X30WCrV53	1.2567	1700 - 1900	1600 - 1800	> 900	850	750
X30WCrV93	1.2581	1500 - 1800	1500 - 1700	> 900	850	800

Bild 6

# Änderung der Bauteileigenschaften durch QPQ - Behandlung

## Korrosionsbeständigkeit

Zur Ermittlung der Korrosionsbeständigkeit von Proben und Bauteilen werden häufig Untersuchungen nach dem Salzsprühtest (DIN 50021) und auch Dauertauchversuche (DIN 50905/Teil 4) durchgeführt.

Beim einfachen Salzsprühtest werden die zu prüfenden Teile einem Sprühnebel aus 5%iger Kochsalzlösung bei 35°C ausgesetzt. Dieser Test ist in der Norm durch die Abkürzung SS gekennzeichnet.

In Bild 7 ist das Ergebnis eines Salzsprühtests nach DIN 50021 SS von hartverchromten und nach dem TENIFER-Verfahren nitrocarburierten Kolbenstangen aus dem unlegierten Stahl C35 zu erkennen. Die Kolbenstangen wurden entweder 15-20 µm dick hartverchromt oder 90 Minuten im Salzbad nitrocarburiert, um eine Verbindungsschichtdicke von 15-20 µm zu erreichen. Bei den salzbadnitrocarburierten Kolbenstangen hat man verschiedene Varianten wie Nitrocarburierten mit oxidierender Abkühlung, mit und ohne Zwischenlappung sowie QPQ - Behandlung untersucht. Nach 40 Stunden Sprühdauer traten bei den verchromten Kolbenstangen erste Korrosionspunkte auf. Nach 180 Stunden Sprühdauer zeigten die Stangen einen sehr starken, großflächigen Korrosionsangriff. Dagegen waren alle nitrocarburierten Kolbenstangen nach 40 Stunden korrosionsfrei, und auch nach 180 Stunden blieben die QPQ-behandelten Kolbenstangen ohne Rostansatz.

Die nach den jeweiligen Bearbeitungsstufen an Proben aus dem Werkstoff C45 erreichbare Korrosionsbeständigkeit gemäß DIN 50021 SS ist in Bild 8 dargestellt.

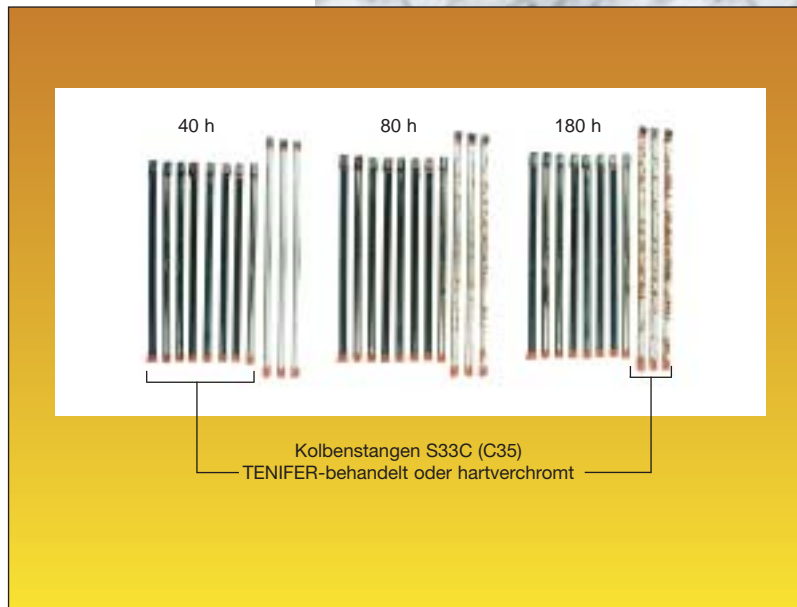


Bild 7

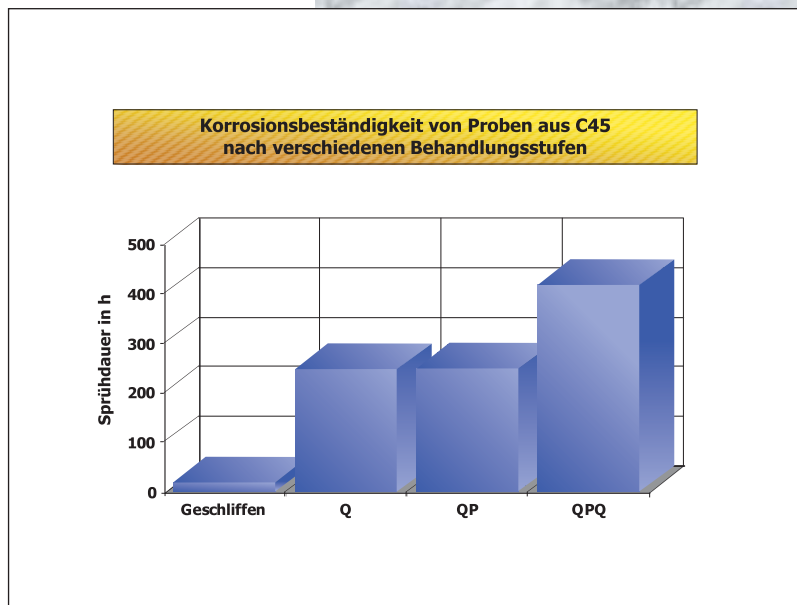


Bild 8

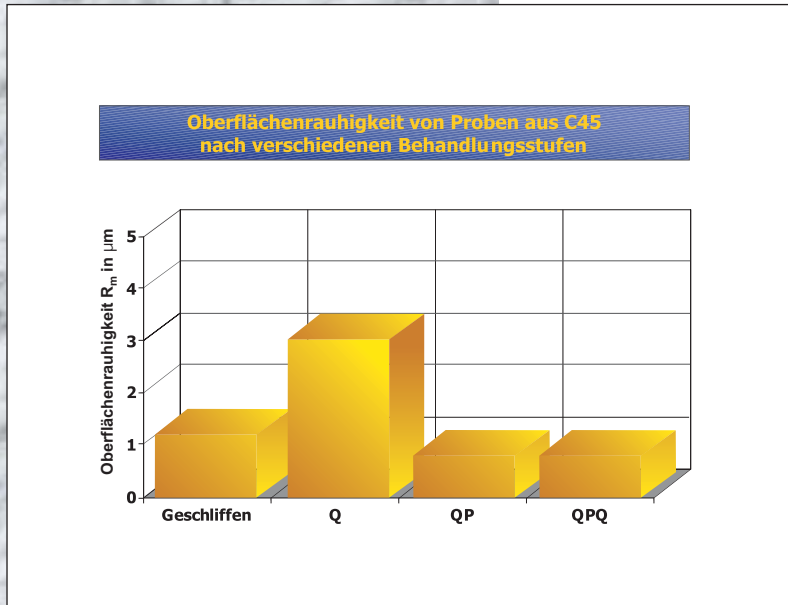


Bild 9

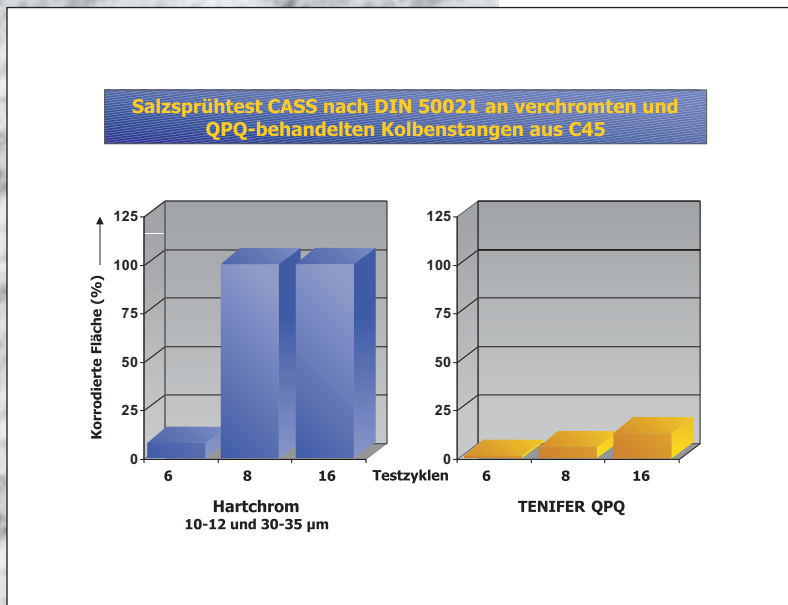


Bild 10

Bild 9 zeigt die entsprechende Oberflächenrauigkeit der Prüfkörper. Im geschliffenen Zustand tritt schon nach kurzer Zeit Korrosion auf. Nach 90 Minuten Salzbadnitrocarburieren mit nachfolgender Oxidation im Abkühlbad liegt die Korrosionsbeständigkeit bei über 200 Stunden. Durch das Läppen wird an den Prüfkörpern die Beständigkeit nicht verändert. Nach der oxidierenden Nachbehandlung im Abkühlbad (25 min. bei 370°C) werden Werte von über 400 Stunden erzielt.

Die härteste Korrosionsprüfung nach DIN 50021 ist der CASS-Test, bei dem die Prüflösung zusätzlich Essigsäure und Kupferchlorid enthält und die Temperatur auf 50°C erhöht wird. Das Ergebnis eines Vergleichsversuchs von QPQ-behandelten sowie mit Schichtdicken von 10 - 12  $\mu\text{m}$  bzw. 30-35  $\mu\text{m}$  hartverchromten Kolbenstangen ist in Bild 10 dargestellt.

Die Untersuchung wurde von der Materialprüfanstalt in Darmstadt unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

Sprühlösung  
 5 % NaCl + 0,26 g  $\text{CuCl}_2/\text{l}$ ;  
 pH 3,11 - 3,3;  
 Temperatur 50°C  
 (1 Testzyklus = 1 Stunde).

Nach der QPQ-Behandlung ist ebenfalls eine erheblich bessere Korrosionsbeständigkeit als nach der Hartverchromung zu erkennen. Die QPQ-behandelten Proben zeigten nach 16 Stunden lediglich einen Korrosionsangriff von ca. 10% der Probenoberfläche.

Beim Dauertauchversuch (DIN 50905/Teil 4) wird als Korrosionsmedium eine Lösung von 3 % Kochsalz und 0,1 % Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) verwendet. Das Eintauchen der Proben in die Prüflösung erfolgt im entfetteten Zustand.



In Bild 11 sind die Ergebnisse von verschiedenartig oberflächenbehandelten Proben aus dem Vergütungsstahl C45 nach 2 Wochen Dauertauchversuch entsprechend der DIN zusammengefaßt.

In der ersten waagerechten Spalte ist die Behandlung und der durchschnittliche Gewichtsverlust pro m<sup>2</sup> und 24 Stunden der QPQ-Probe aufgeführt.

Mit einer Gewichtsabnahme von 0,34 g/m<sup>2</sup> schneidet diese deutlich besser ab, als die galvanisch oder chemisch beschichteten Proben.

Bei 12 µm Hartchrom und sogar 45 µm Doppelchrom betrug der Gewichtsverlust um 7 g/m<sup>2</sup> und war damit mehr als 20mal so groß wie der des nitrocarburierten Prüfkörpers.

Die 20 µm Nickelschicht zeigt im ausgehärteten Zustand einen Gewichtsverlust von 2,9 g/m<sup>2</sup>. Nur die Triplex-Schicht mit 37 µm Kupfer sowie 45 µm Nickel und 1,3 µm Chrom ist mit der TENIFER-QPQ-behandelten Probe vergleichbar.

## Verschleißbeständigkeit und Laufeigenschaften

Durch den intermetallischen Aufbau der Verbindungsschicht verringert sich die Reibung und die Neigung zum Verschweißen mit einer metallischen Gegenauflfläche. Ausgezeichnete Gleit- und Laufeigenschaften sowie hoher Verschleißwiderstand sind die bekannten und geschätzten Eigenschaften TENIFER-behandelter Bauteile.

Durchgeführte Verschleißuntersuchungen, aber auch die praktische Anwendung bestätigen immer wieder die höhere Verschleißfestigkeit von salzbadnitrocarburierten Teilen gegenüber konventionell oder induktiv gehärteten oder verchromten Oberflächen. In sehr vielen Fällen wird die Verschleißbeständigkeit der Verbindungsschicht durch eine oxidierende Nachbehandlung noch weiter verbessert. Beispielsweise wird mit TENIFER-behandelten Bauteilen, wie Getriebewellen, Meßdornen und Hydraulikaggregaten eine längere Lebensdauer als nach dem Hartverchromen erzielt.

<b>Dauertauchversuch (DIN 50905, Teil 4)</b> <b>Gewichtsverlust verschiedener oberflächenbehandelter Proben aus C45 nach 2 Wochen Tauchdauer</b>	
<b>Schicht oder Behandlung</b>	<b>Gewichtsverlust in g/m<sup>2</sup> pro 24 Std.</b>
<b>90 min QPQ</b>	<b>0,34</b>
<b>12 µm Hartchrom</b>	<b>7,10</b>
<b>Doppelchrom: 20 µm Weichchrom 25 µm Hartchrom</b>	<b>7,20</b>
<b>Nickel: 20 µm Kanigen, ausgehärtet</b>	<b>2,90</b>
<b>Triplex: 37,0 µm Kupfer 45,0 µm Nickel 1,3 µm Chrom</b>	<b>0,45</b>
<b>Medium: 3 % NaCl, 0,1 % H<sub>2</sub>O</b>	<b>Werkstoff: C45</b>

Bild 11

Oft wird die Frage nach dem Verschleißwiderstand der Diffusionsschicht gestellt. In Bild 12 ist ein Vergleich über das Verschleißverhalten unterschiedlich wärmebehandelter Kipphebel dargestellt. Es zeigt den Verschleiß der Kipphebellauf-

fläche, die auf einer im Salzbad nitrocarburierten Nockenwelle aus Hartguß lief. Obwohl durch das Nitrocarburieren die Oberflächenhärte des einsatzgehärteten Kipphebels etwas reduziert wird, ist der erheblich verbesserte Verschleißwiderstand durch die Verbindungsschicht bis etwa 80 Stunden Laufdauer deutlich sichtbar.

Nach 70-80 Stunden verläuft die Verschleißkurve dann parallel zu der des nur einsatzgehärteten Kipphebels, was auf die Schutzwirkung der Diffusionsschicht zurückzuführen ist. Ein spontaner Verschleißanstieg nach Verlust der Verbindungsschicht wurde nicht beobachtet.

Diese Untersuchung zeigt wiederum sehr eindrucksvoll, daß eine hohe Oberflächenhärte nicht automatisch gleichbedeutend ist mit einem hohen Verschleißschutz. Vom jeweils vorliegenden Verschleißmechanismus hängt es ab, wie Werkstoff oder Werkstoffpaarungen zu bewerten sind. Besonders gegen Adhäsionsverschleiß haben sich nitrocarburierte Laufpartner sehr gut bewährt. So wird die Freßneigung im Vergleich zu anderen Rand-schichten ganz erheblich vermindert.

In Bild 13 sind die Ergebnisse über die Freßgrenztragfähigkeit an Zahnrädern nach Niemann-Rettig zusammengestellt. Diese wurde ermittelt, indem ein auf die Zahnflanke aufgegebenes Biegemoment so lange erhöht wurde, bis ein Fressen auftrat. Durch Nitrocarburieren nach dem TENIFER-Verfahren wurde bei den untersuchten Werkstoffen die Freßfestigkeit um das 2- bis 5-fache erhöht.

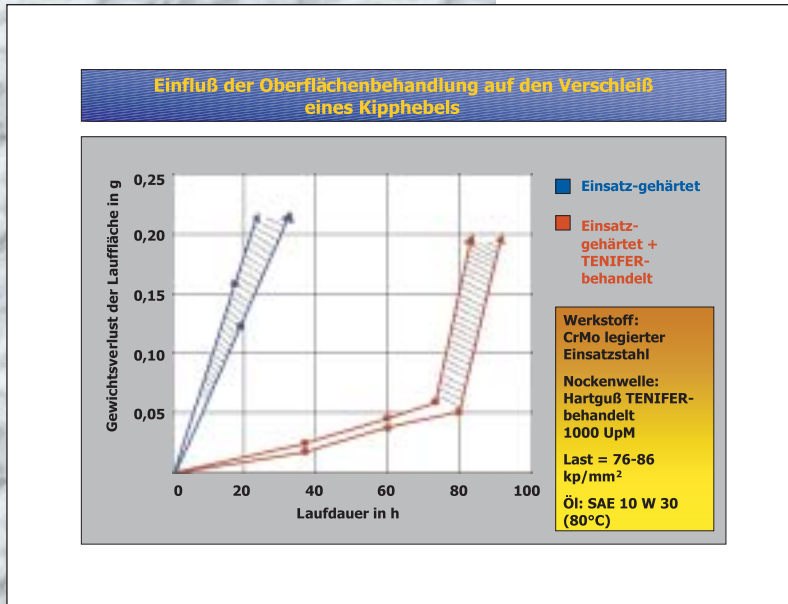


Bild 12

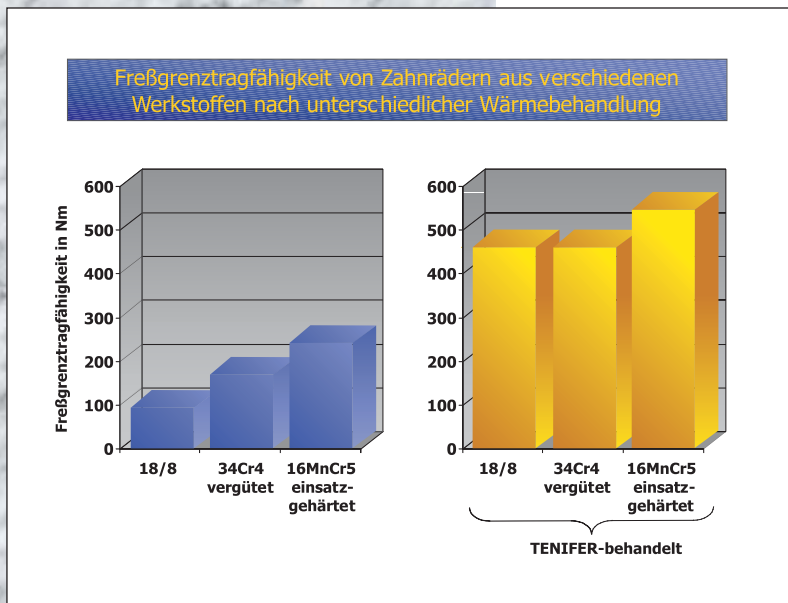


Bild 13

Im Zusammenhang mit der Frage des Verschleißwiderstandes und der Laufeigenschaften interessiert auch der Reibungskoeffizient der äußeren Randschicht. Die beim Gleiten auftretenden Grenzflächenreaktionen sind weniger von der absoluten Härte der Laufpartner als vielmehr von der Werkstoffpaarung, ihrem Gefügebau, der Oberflächengeometrie und dem verwendeten Schmiermittel abhängig.

Zur Ermittlung von Reibungskoeffizienten wurden in unserem Labor auf der Amsler-Maschine Untersuchungen durchgeführt.

Bei den Versuchen drehte sich eine Scheibe mit 200 Umdrehungen pro Minute gegen eine feststehende Scheibe. Beide Prüfkörper waren gleich behandelt. Die Belastung betrug 5-30 N um Adhäsionsverschleiß zu vermeiden. Während bei höheren Belastungen der Reibungskoeffizient mit zunehmender Last ansteigt, blieb er im Bereich von 5-30 N konstant.

Bild 14 gibt eine Übersicht der ermittelten Reibwerte von verschiedenen Paarungen im Trockenlauf und nach Schmierung mit einem Öl vom Typ SAE 30.

Die untersuchten Proben hatten nach Verchromen, Einsatzhärten und Nitrocarburieren mit Wasserabkühlung oder oxidierender Abkühlung im Abkühlbad Rauigkeitswerte um 4 µm. Nur bei den QPQ-behandelten Proben wurde die Oberflächenrauigkeit durch den Polierschritt auf ca. Rm = 1 µm reduziert.

Im Trockenlauf zeigen die nitrocarburierten Proben deutlich geringere Reibwerte als solche mit einsatzgehärteten oder verchromten Randschichten. Durch die Oxidation der Verbindungsschicht steigt der Reibwert bei den nitrocarburierten Proben an.

Im geschmierten Zustand ist der hydrodynamische Traganteil zu berücksichtigen. Mit Ausnahme der QPQ-behandelten Proben liegt aufgrund der vorhandenen Oberflächenrauigkeit ein größerer Festkörperanteil vor, so daß die Ergebnisse vermutlich im Mischreibungsgebiet liegen. Die QPQ-nitrocarburierten Proben hatten unter diesen Versuchsbedingungen von allen Varianten den geringsten Reibwert.

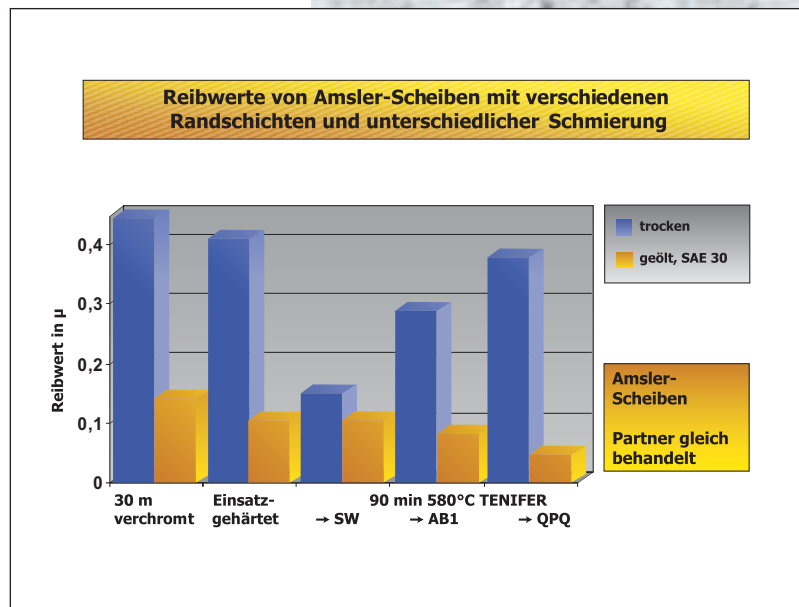
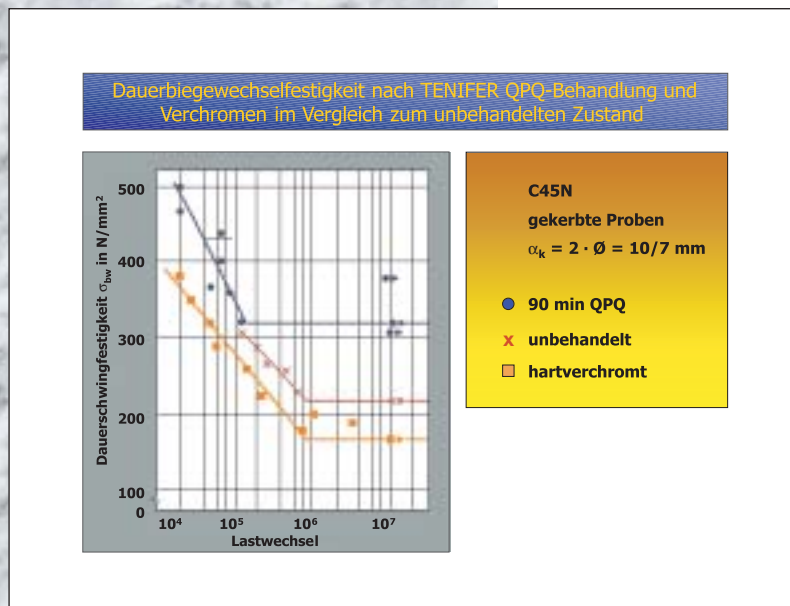


Bild 14

Die TENIFER-Behandlung erhöht die Umlaufbiege- wechselfestigkeit sowie die Wälzfestigkeit. Diese werden im wesentlichen beeinflusst durch:

- den Stickstoffgehalt in der Verbindungs- und Diffusionsschicht,
- die Dicke der Diffusionsschicht und
- den Lösungszustand des Stickstoffes bei unlegierten Stählen.

Weiterhin sind noch der Gefügestand und die Festigkeit zu berücksichtigen. Während bei unlegierten Stählen die Steigerung der Dauerfestigkeit von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängt, liegt bei legierten Werkstoffen kein nennenswerter Einfluß der Abkühlung vor. Die möglichen Dauerfestigkeitssteigerungen nach 1-2 Stunden TENIFER-Behandlung betragen bei Teilen aus unlegierten und niedriglegierten Stählen um 100 %.



**Bild 15**

In diesem Zusammenhang sei noch darauf hingewiesen, daß durch Verchromen die Umlaufbiege- wechselfestigkeit des Grund- materials vermindert wird. Ähnliches ist vom galvanischen Verzinken bekannt. Beim Nitrocarburieren kommt es dagegen stets zu einer Erhöhung der Dauerfestigkeit.

In Bild 15 ist das Ergebnis einer Dauerfestigkeitsuntersuchung von gekerbten Proben aus dem Werkstoff C45N dargestellt. Nach QPQ-Behandlung beträgt der Dauerfestigkeitsanstieg über 50 %. Dagegen ist nach Hartverchromung die Dauerfestigkeit um 20 % reduziert.

## Praktische Anwendung des TENIFER-QPQ-Verfahrens

Die Korrosions-, Verschleiß- und Dauerfestigkeit der nach dem umweltfreundlichen QPQ-Salzbadnitrocarburier-Verfahren behandelten Bauteile wurde nach den verschiedensten Methoden untersucht. Dabei konnte die Überlegenheit gegenüber verchromten, vernickelten und anderen nitrocarburierten Randschichten festgestellt werden.

Die in Bild 16 gezeigten Teile für Schnellverschlußkupplungen zum Verbinden von Schläuchen für flüssige und gasförmige Medien wurden früher aus korrosionsbeständigen Stählen hergestellt. Durch Anwendung des QPQ-Salzbadnitrocarburier-Verfahrens war es möglich, anstelle des teuren Grundmaterials auf einen unlegierten Einsatzstahl umzustellen. In der QPQ-behandelten Ausführung wird die geforderte Korrosions- und Verschleißbeständigkeit problemlos erreicht.

Bild 17 zeigt einen Kurbelwellenabschnitt aus dem Material 42CrMo4 für Hochleistungs-Zweitaktmotoren. Durch die QP-Behandlung wurden die Anforderungen an Verschleißbeständigkeit, Dauerfestigkeit und Gleiteigenschaften erfüllt.

Die Bauteile werden automatisch in einer Hängebahnstrahlanlage mit Metallkugeln zwischenpoliert. Versuche mit gas- oder plasma-nitrocarburierten Teilen brachten nicht das gewünschte Ergebnis.



Bild 16



Bild 17



**Bild 18**

In Bild 18 sind Gasdruckdämpfer und QPQ-behandelte Kolbenstangen zu sehen. Diese werden überwiegend in Heckklappen und Motorhauben von Automobilen sowie in Gepäckklappen und Kabinentüren von Flugzeugen verbaut.

Gegenüber der früher durchgeführten Verchromung wird von einer erheblich verbesserten Korrosions- und Verschleißbeständigkeit berichtet. Die Kosten für die Behandlung dieser Teile konnten um etwa ein Drittel gesenkt werden.

Bild 19 zeigt Kleinteile wie Kofferbeschläge und Föngitter. Diese werden als Schüttgut in sehr großen Stückzahlen nach dem QPQ-Verfahren behandelt. 60 Minuten Nitrocarburierdauer sowie oxidierende Abkühlung, Zwischenbearbeitung durch Gleitschleifen und oxidierende Nachbehandlung reichen aus, um die geforderte Korrosions- und Verschleißbeständigkeit zu erreichen.



**Bild 19**

Die Anwendungsbeispiele könnten noch beliebig fortgesetzt werden. Stellvertretend für die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten des QPQ-Verfahrens sind in Bild 20 einige typische Bauteile abgebildet, die heute serienmäßig nach dem kombinierten Salzbad-nitrocarburier-Verfahren behandelt werden. Es handelt sich hier überwiegend um Teile aus der Automobilindustrie wie z.B. Scheibenwischerantriebsachsen, Keilriemenspanner und Ventile.

Das QPQ-Verfahren wird ebenfalls angewandt für Bauteile in der Luftfahrt, in der Off-Shore-Technik, im Anlagen- und Maschinenbau, in der Energietechnik, in der Lebensmittelindustrie sowie in der Fertigung von Textilmaschinen, Hydraulikaggregaten oder optischen Geräten.



**Bild 20**

## TENIFER® - Anlagen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Für die Auswahl von Fertigungsverfahren sind Wirtschaftlichkeit, Qualität und Umweltfreundlichkeit die wichtigsten Kriterien. Daneben ist auch einfache Bedienung und Prozeßführung von nicht unerheblichem Interesse. Die Durchführung des TENIFER-Verfahrens ist im Vergleich zu anderen Nitrocarburierverfahren sehr einfach. Die Behandlung kann sowohl in manuell betriebenen als auch in vollautomatisch arbeitenden Anlagen durchgeführt werden.

Moderne, durch Mikroprozessoren gesteuerte Anlagen sind sehr flexibel und erlauben nicht nur eine weitgehende Anpassung an schwankende Produktionsmengen, sondern auch die gleichzeitige Abwicklung von verschiedenen Programmen.

Der in Bild 21 gezeigte Salzbadautomat ist hervorragend geeignet sowohl für die TENIFER-Behandlung von Serienteilen in einer Produktionshalle als auch für die Lohnwärmebehandlung, welche aufgrund der unterschiedlichen Kundenanforderungen hohe Ansprüche an die Flexibilität einer Wärmebehandlungsanlage stellt.

Bild 22 zeigt schematisch den Aufbau einer TENIFER-Anlage, die gemäß Stand der Technik abwasserfrei betrieben wird und über eine effiziente Absaugeinrichtung mit Abluftreinigungsanlage verfügt. Mit dieser Anlagentechnik lassen sich die geltenden Umwelt- und Arbeitsplatzrichtlinien in allen Industrieländern problemlos einhalten.



Bild 21

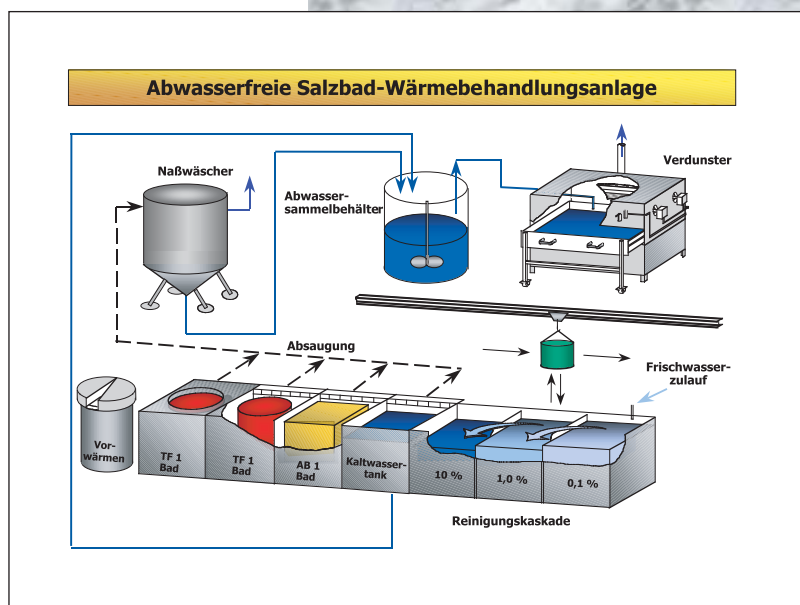


Bild 22

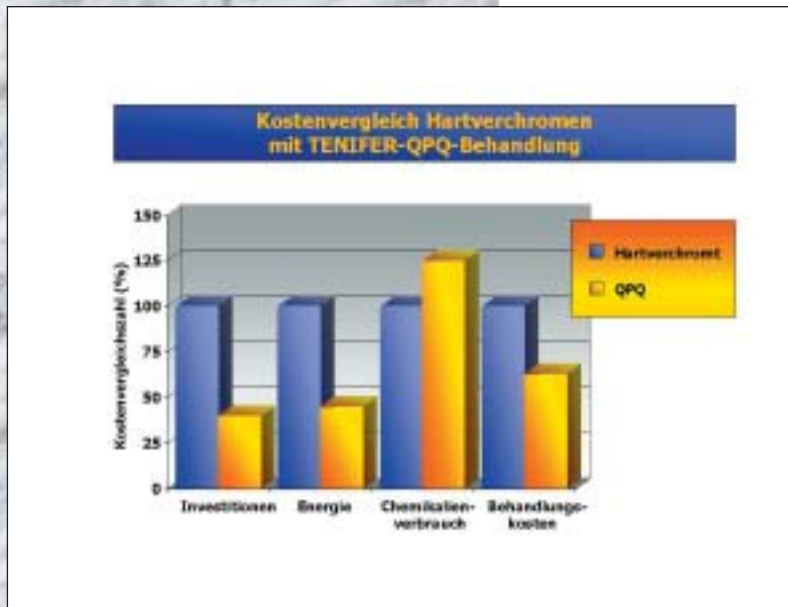


Bild 23

Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit des Verfahrens im Vergleich zu anderen Oberflächenbeschichtungen ergaben ebenfalls günstige Aspekte. So wurden bei Kostenvergleichen, die von verschiedenen Anwendern durchgeführt wurden, wesentliche Einsparungen festgestellt. Als Beispiel sei der Kostenvergleich von Bild 23 geführt.

Vorteilhaft auf die Wirtschaftlichkeit haben sich die geringeren Investitions- und Energiekosten ausgewirkt. Gegenüber der Hartverchromung war mit dem QPQ-Verfahren eine Einsparung von 37 % möglich.

## Fazit

Neben den Eigenschaftsverbesserungen wie Verschleißschutz, Dauerfestigkeit und Gleiteigenschaften führt die TENIFER-Behandlung mit oxidativer Abkühlung bzw. Nachbehandlung zu einer wesentlichen Steigerung der Korrosionsbeständigkeit. Untersuchungsergebnisse und praktische Anwendungen zeigen, daß die Qualität der behandelten Bauteile häufig galvanischen Schichten aber auch anderen Nitrocarburierverfahren überlegen ist. Damit eröffnet sich für das TENIFER-Verfahren ein weites Feld von Anwendungen, wobei oft auch kostenintensive Werkstoffe ersetzt werden können.

Aufgrund seiner Verfahrensmerkmale wie sehr guter Reproduzierbarkeit auf hohem Qualitätsniveau, einfacher Handhabung und hoher Flexibilität findet es weltweit eine immer größere Verbreitung in der metallverarbeitenden Industrie. Die Prozeßführung gestaltet sich sehr einfach und erfordert keine komplizierte Anlagentechnik. Die Behandlung von Bauteilen kann sowohl in manuell bedienten Anlagen als auch in PC-gesteuerten Automaten durchgeführt werden. Die Anlage selbst wird abwasserfrei betrieben. Das Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Umweltverträglichkeit aus. Entsprechend lassen sich Umweltauflagen problemlos einhalten.

Das TENIFER-QPQ-Verfahren wird in englischsprachigen und asiatischen Ländern TUFFTRIDE-QPQ und in Nordamerika MELONITE-QPQ genannt. TENIFER®, TUFFTRIDE® und MELONITE® sind eingetragene Marken der Durferrit GmbH.



## NOTIZEN:



**Durferrit GmbH**

Industriestrasse 3 · D-68169 Mannheim

Phone +49 (0) 621 / 3 22 24-0

Fax +49 (0) 621 / 3 11 32-0

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

E-Mail: [info@durferrit.com](mailto:info@durferrit.com)