



Werkzeugstähle und Korrosion

Matthias Sorg

WITg - WER WIR SIND



- 11 Menschen → 1 Team
- Partner für anwendungsorientierte Forschungsprojekte/R&D und für Schadensanalysen, QS und für individuelle Beratungen
- Bindeglied zwischen Industrie und Forschung
- Gründungsjahr 2002, Träger: „Thurgauische Stiftung für Wissenschaft & Forschung“ und Hochschule Konstanz (HTWG)

Mikroskopie:

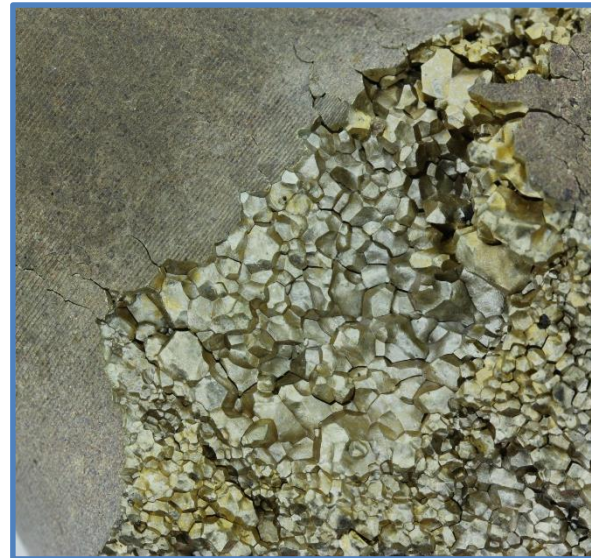
- Niedervakuum FE-REM / EDX mit Filter- und Partikelanalyse
- Auflichtmikroskop
- Stereomikroskop

Werkstoffprüfung:

- Spektralanalyse
- Makro-/Mikrohärteprüfung
- Zug-, Druck-, Biegeprüfung
- Metallographie
- Tribologie
- Kunststoffalterung in Öl

Korrosionsprüfung:

- Salzsprühnebeltest (DIN EN ISO 9227)
- Kesternich (DIN EN ISO 6988)
- Abgaskondensatprüfung (VDA 230-214)
- Klimawechselprüfung
- Elektrochemie (z.B. UI, EIS, EN)



Inhalt

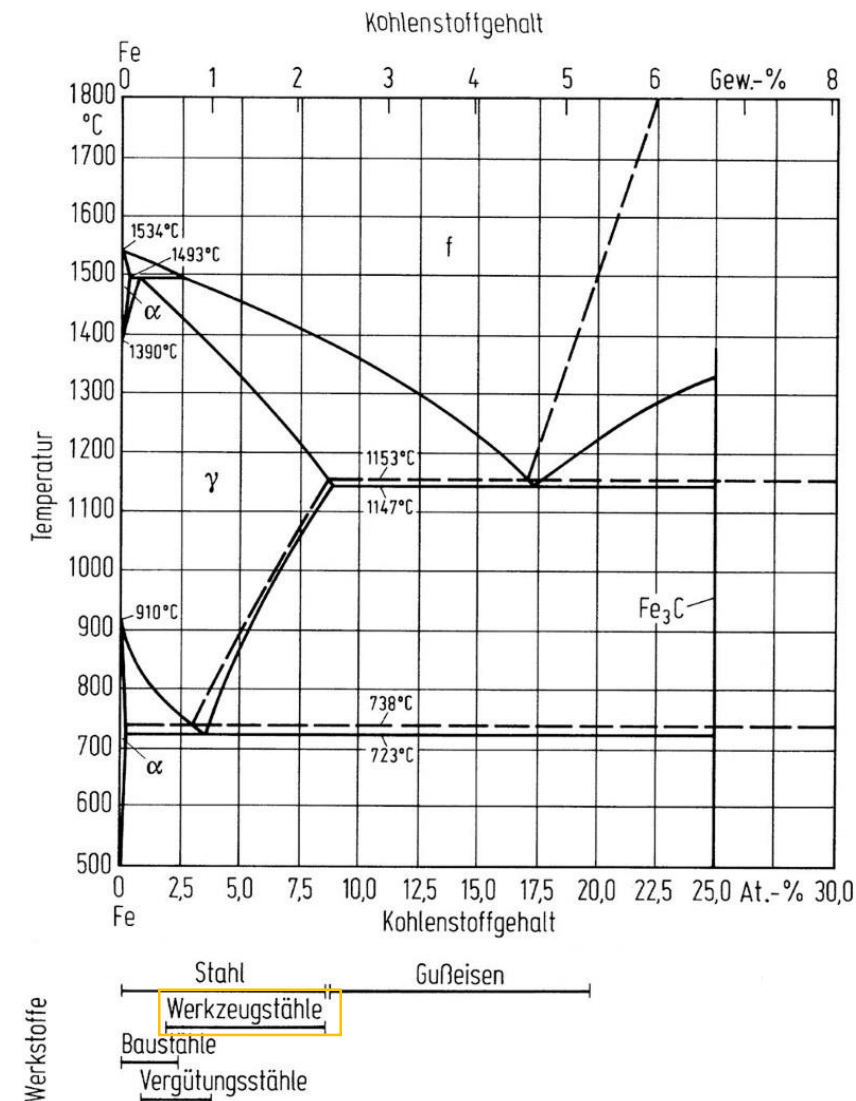
- Werkzeugstähle – Definition & Einteilung
- Werkzeugstähle – Eigenschaften
- Werkzeugstähle – Wärmebehandlung
- Korrosionsbeständigkeit von Stählen
- Korrosion und Korrosionsarten
- Korrosion in Kühl- bzw. Wasserkreisläufen
- Korrosionsschutz
- ZIM-Projekt **iTemp**

Werkzeugstähle – Definition nach DIN EN ISO 4957

Zum Be- und Verarbeiten von Werkstoffen sowie Handhaben und Messen von Werkstücken geeigneter Edelstahl, der für diese Verwendung hohe Härte und Verschleisswiderstand und/oder Zähigkeit aufweist.

Um diese Eigenschaften zu erreichen ist ein Mindestgehalt an Kohlenstoff erforderlich

je nach gewünschten Eigenschaften sind weitere Legierungsbestandteile nötig



Quelle: W.W. Seidel, F. Hahn, Werkstofftechnik: Werkstoffeigenschaften-Prüfung-Anwendung; 2018; Hanser Verlag

Einteilung – nach DIN EN ISO 4957

- **Kaltarbeitsstahl**

Unlegierter oder legierter Werkzeugstahl für Verwendungszwecke, bei denen die Oberflächentemperatur im allgemeinen unter 200 °C liegt

- **Warmarbeitsstahl**

Legierter Werkzeugstahl für Verwendungszwecke, bei denen die Oberflächentemperatur im allgemeinen über 200 °C liegt

- **Schnellarbeitsstahl**

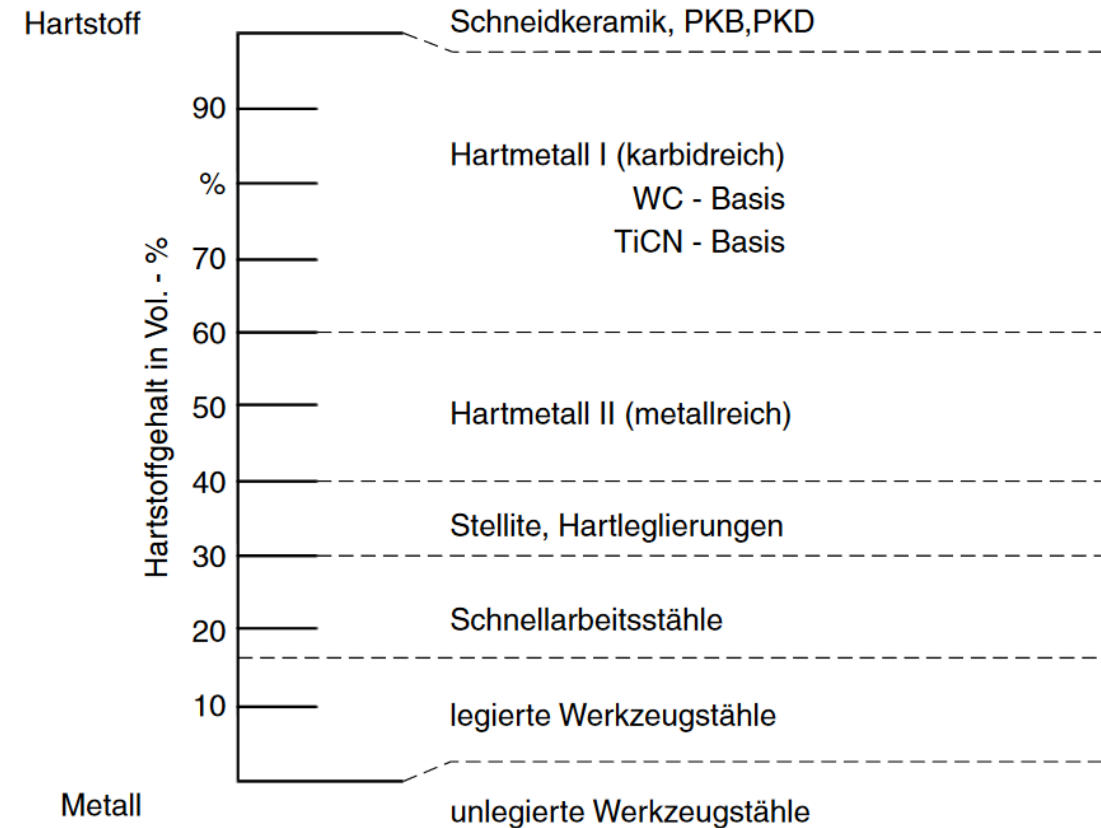
Stahl, der hauptsächlich zum Zerspanen und Umformen eingesetzt wird und der auf Grund der chemischen Zusammensetzung die höchste Warmhärte und Anlassbeständigkeit bis rund 600 °C aufweisen

- **Kunststoffformenstahl**

- keine genormte Einteilung.
- Zuordnung bestimmter Eigenschaften wie z.B. Verschleissbeständigkeit, Polierbarkeit, Zähigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Einsatztemperatur,...
- Typische Beispiele: 1.2311 / 40CrMnMo7
 1.2312 / 40CrMnMoS8-6 (geschwefelt!)
 1.2083 / X40Cr14
 1.2316 / X38CrMo16
 ...
 auch in PM (pulvermetallurgischer) Ausführung möglich

Mikrostruktur von Werkzeugstählen

- Härte und Verschleissbeständigkeit resultieren bei legierten Werkzeugstählen aus feinen und gleichmässig verteilten Hartphasen
- diese Hartphasen (meist Karbide und Nitride) bilden sich bei Werkzeugstählen infolge des Herstellprozesses und der Wärmebehandlung
- im Vergleich zu konkurrierende Werkstoffen (siehe Abbildung) ist der Hartstoffgehalt eher gering



Quelle: B. Denkena, H. K. Tönshoff; Spanen; 2011; Springer Verlag

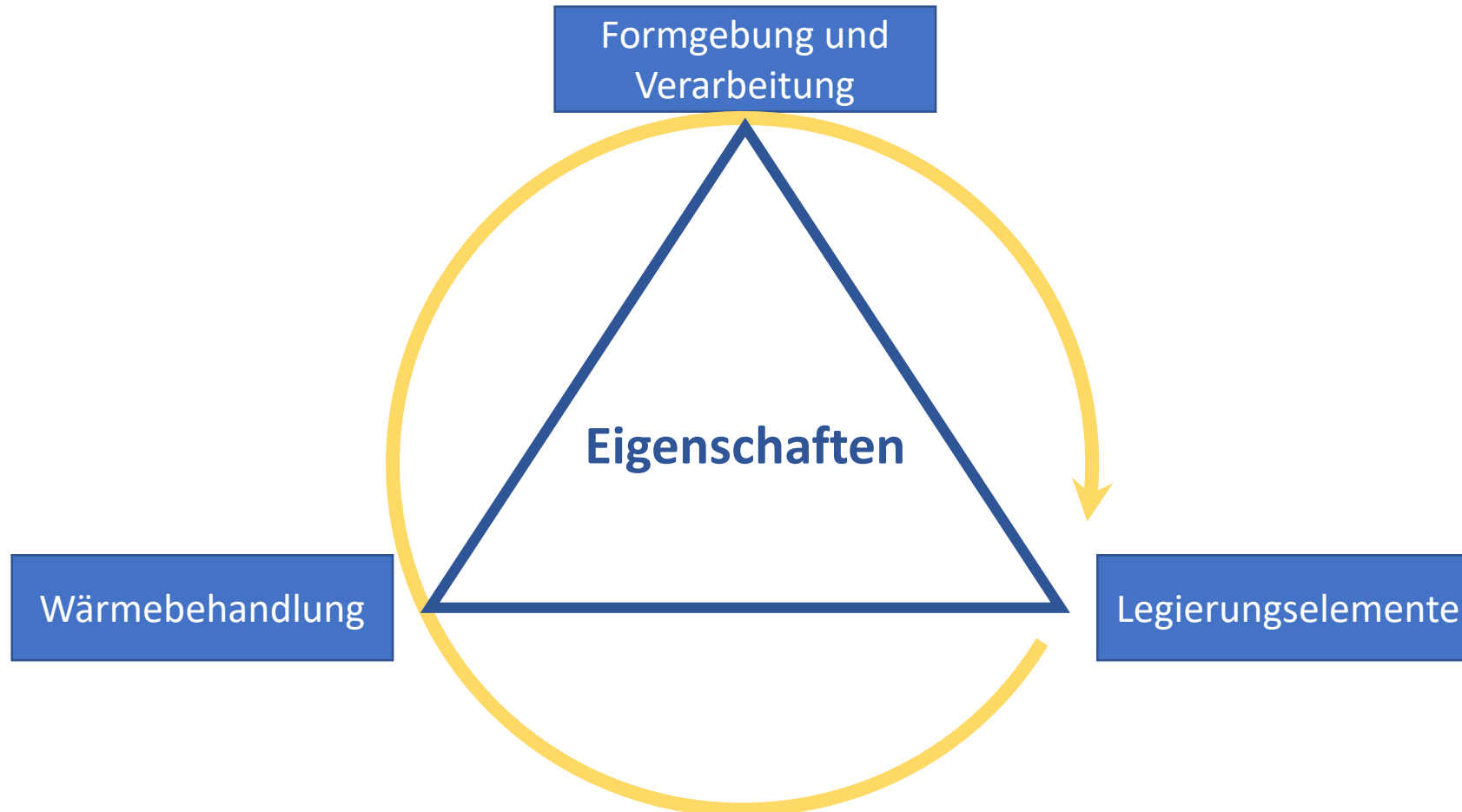
Anforderungen an Kunststoffformenstähle

neben den Anforderungen an das fertige Werkzeug, müssen verwendete Werkstoffe insbesondere für den Formenbau über ein **ausreichendes Mass an Zerspan- und Bearbeitbarkeit** verfügen

dies ist nur möglich, indem die **Herstellung** der benötigten Legierung, deren **Weiterverarbeitung**, der klassische **Werkzeugbau**, die notwendige **Wärmebehandlung** und eventuelle mechanische Nacharbeiten **aufeinander abgestimmt** sind

hinzu kommt ein **Zielkonflikt**, welcher sich durch das Zusammenspiel einzelner Legierungselemente ergibt
Bsp.: Chrom bildet mit Kohlenstoff Karbide was zu höherer Härte führen kann, gleichzeitig wird metallisches Chrom allerdings für die Korrosions- und Anlassbeständigkeit in der Legierung benötigt

Anforderungen an Kunststoffformenstähle



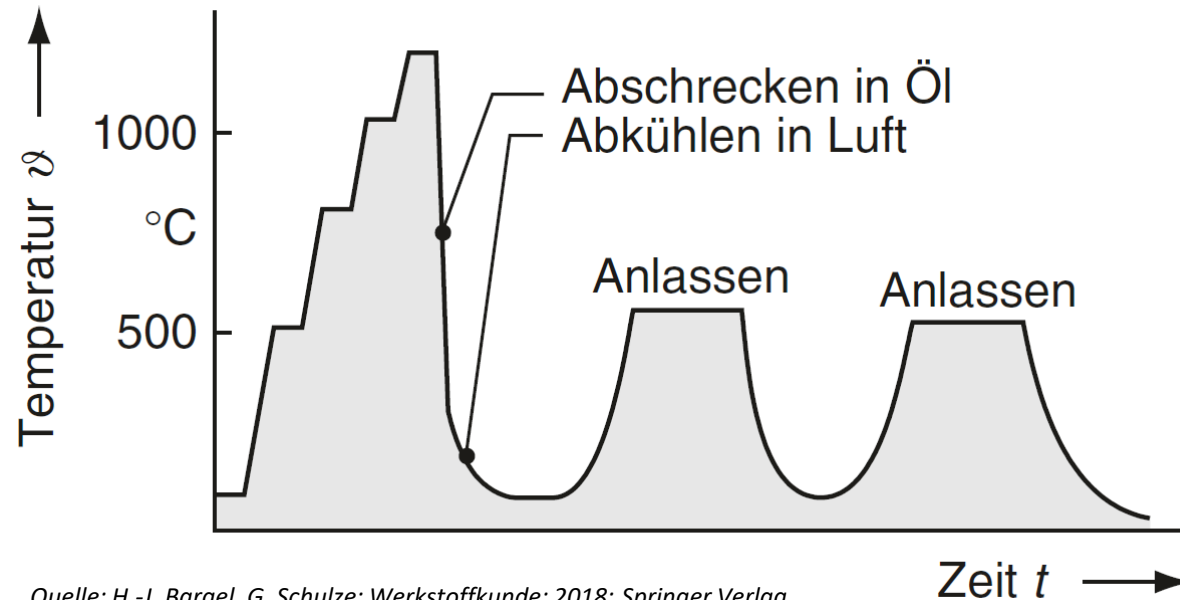
Mechanische Eigenschaften:

- Bearbeitbarkeit
 - Weichgeglühter Zustand
- Hohe Härte
 - Wärmebehandlung (Vergüten)
- Verschleissbeständigkeit
 - Bildung von Karbiden (Chromkarbiden)
- Polierbarkeit

Wärmebehandlung von Werkzeugstählen

Ziel der Wärmebehandlung ist es

- ungewünschte Einflüsse der vorhergehenden Fertigungsschritte zu reduzieren
- technische Eigenschaften des Bauteils für die Anwendung oder für eine Weiterverarbeitung einzustellen



Quelle: H.-J. Bargel, G. Schulze; Werkstoffkunde; 2018; Springer Verlag

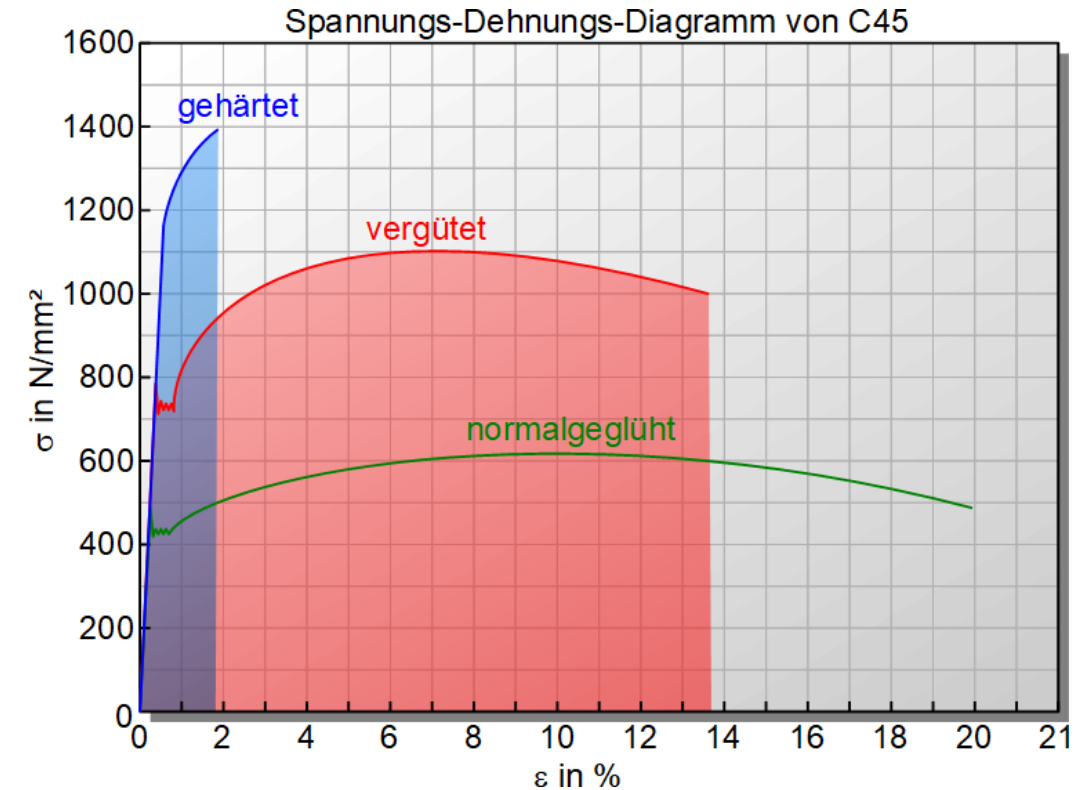
Beispiel einer Temperaturführung beim
Vergüten (Härten und Anlassen)

Im Fall der Werkzeugstähle ist das sogenannte Vergüten (Härten und nachgeschaltete Anlassen) massgeblich für die Eigenschaften in der Anwendung

Wärmebehandlung von Werkzeugstählen

um das Werkzeug mechanisch zu bearbeiten, muss der Werkstoff in einem möglichst weichem Zustand (Normalgeglüht, Lösungsgeglüht) vorliegen

das Gefüge verfügt dann über eine geringe Härte und eine geringe Festigkeit bei gleichzeitig hoher Duktilität



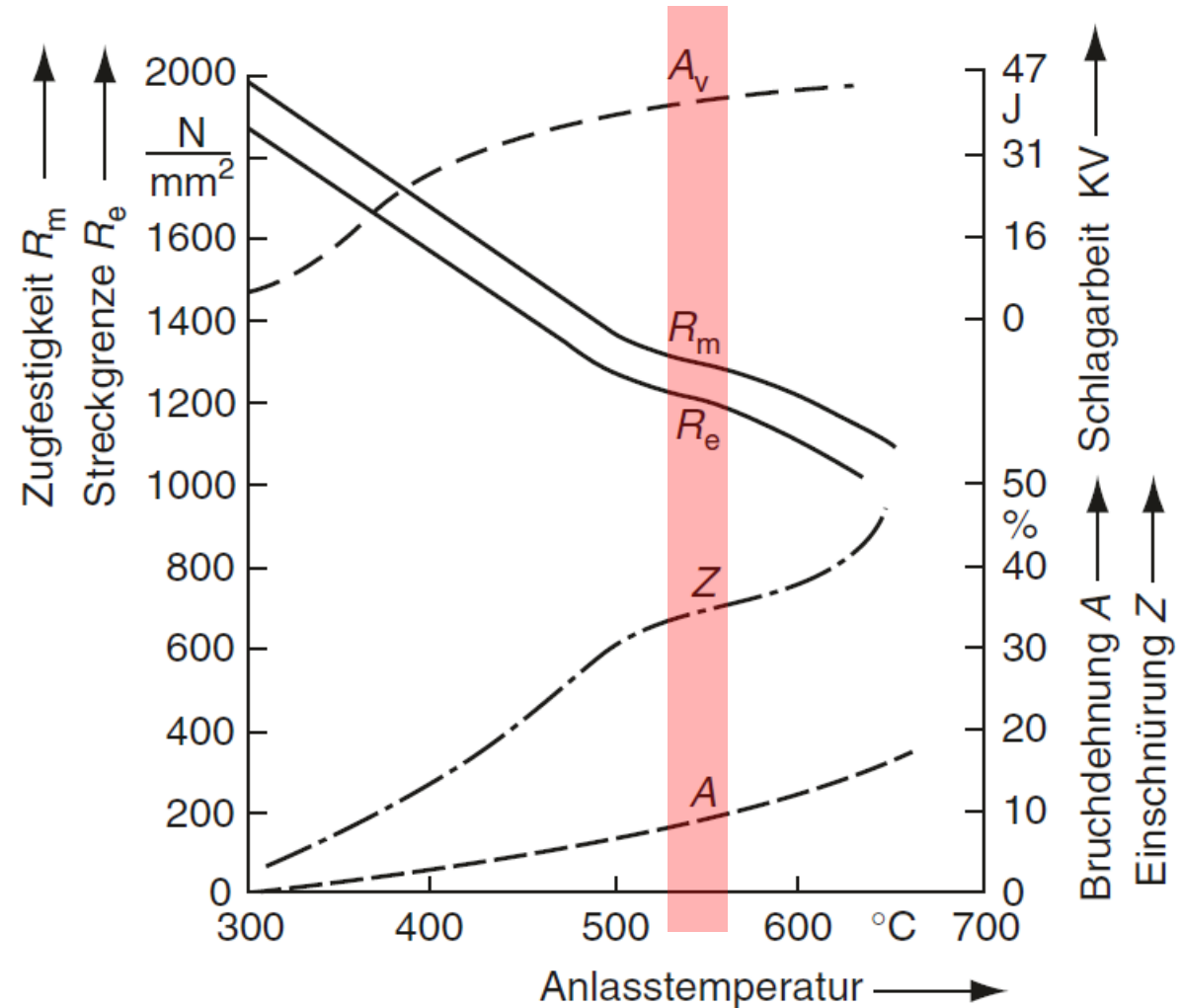
Quelle: www.tech-sicence.de

Vergütungsschaubild

neben der Härte wird durch das Anlassen auch ein Veränderung der mechanischen Eigenschaften erzielt.

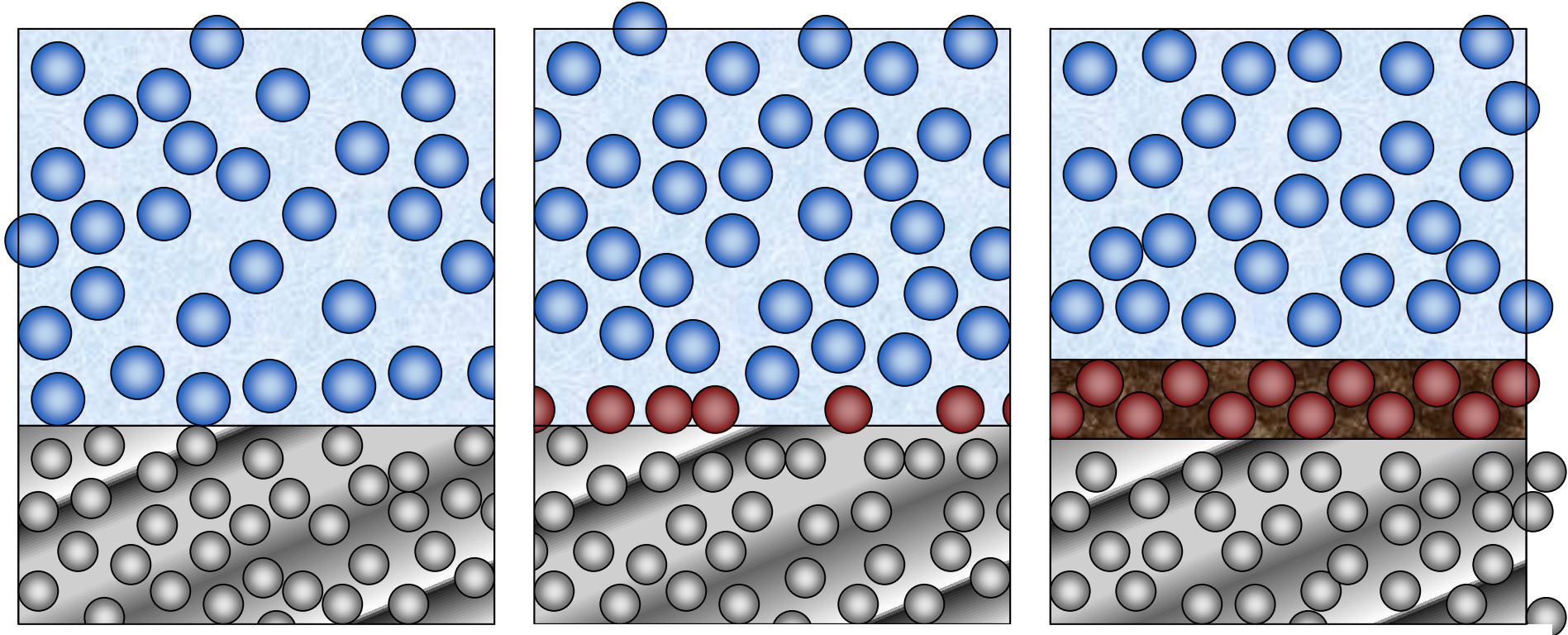
Das **Vergütungsschaubild** gibt Aufschluss über die Veränderung der **mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit der Anlasstemperatur**.

am Beispiel der Abbildung für 50Cr4V:
optimaler Kompromiss zwischen Festigkeit, Kerbschlagarbeit und Härte bei ca. 530° bis 550° C



Quelle: H.-J. Bargel, G. Schulze; Werkstoffkunde; 2018; Springer Verlag

Rosten von Stählen

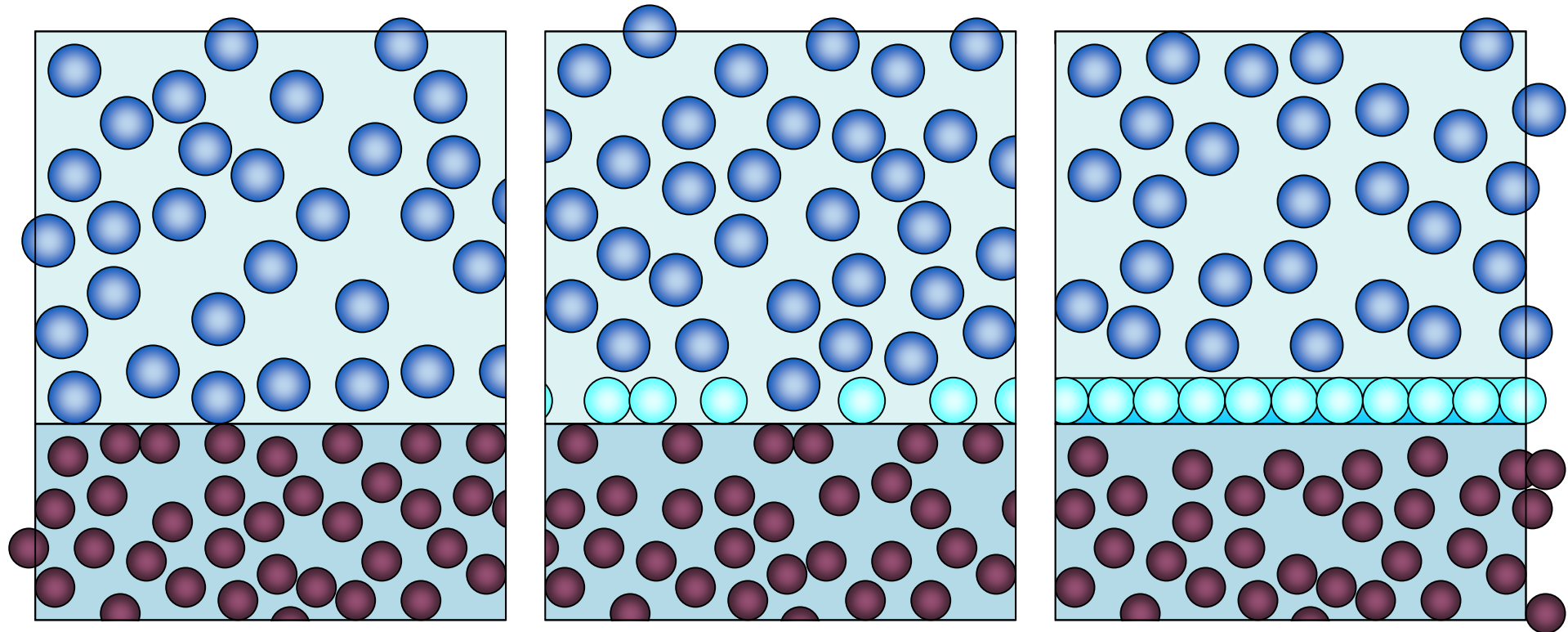


Ausgangszustand

Reaktion des Eisen mit der
Feuchtigkeit der Luft,
beginnende Rostbildung

Lockere, durchlässige
Rostschicht

Selbstpassivierung von nichtrostenden Stählen

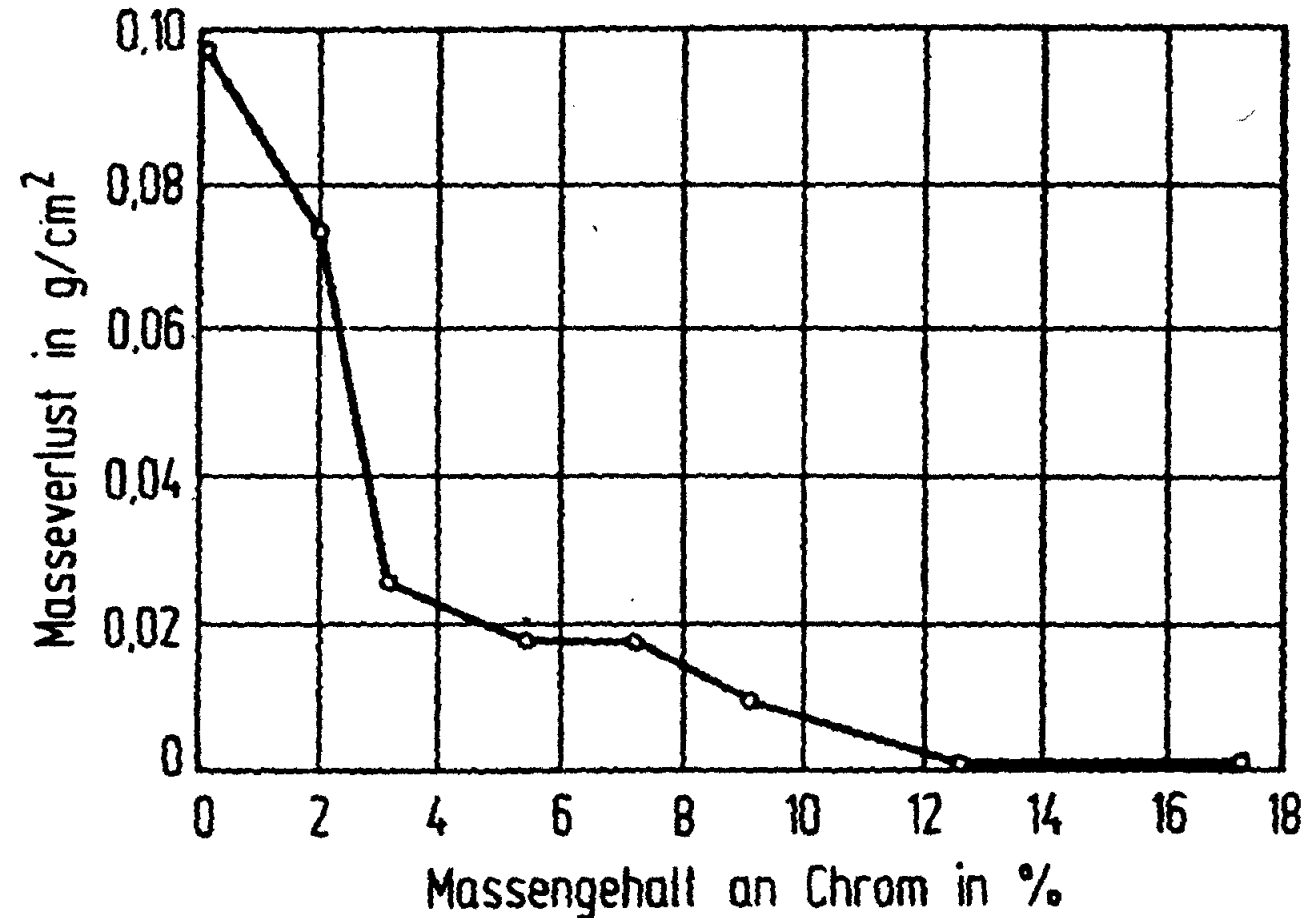


Ausgangszustand

Reaktion des Chrom mit dem
Sauerstoff der Luft,
beginnende Passivschichtbildung

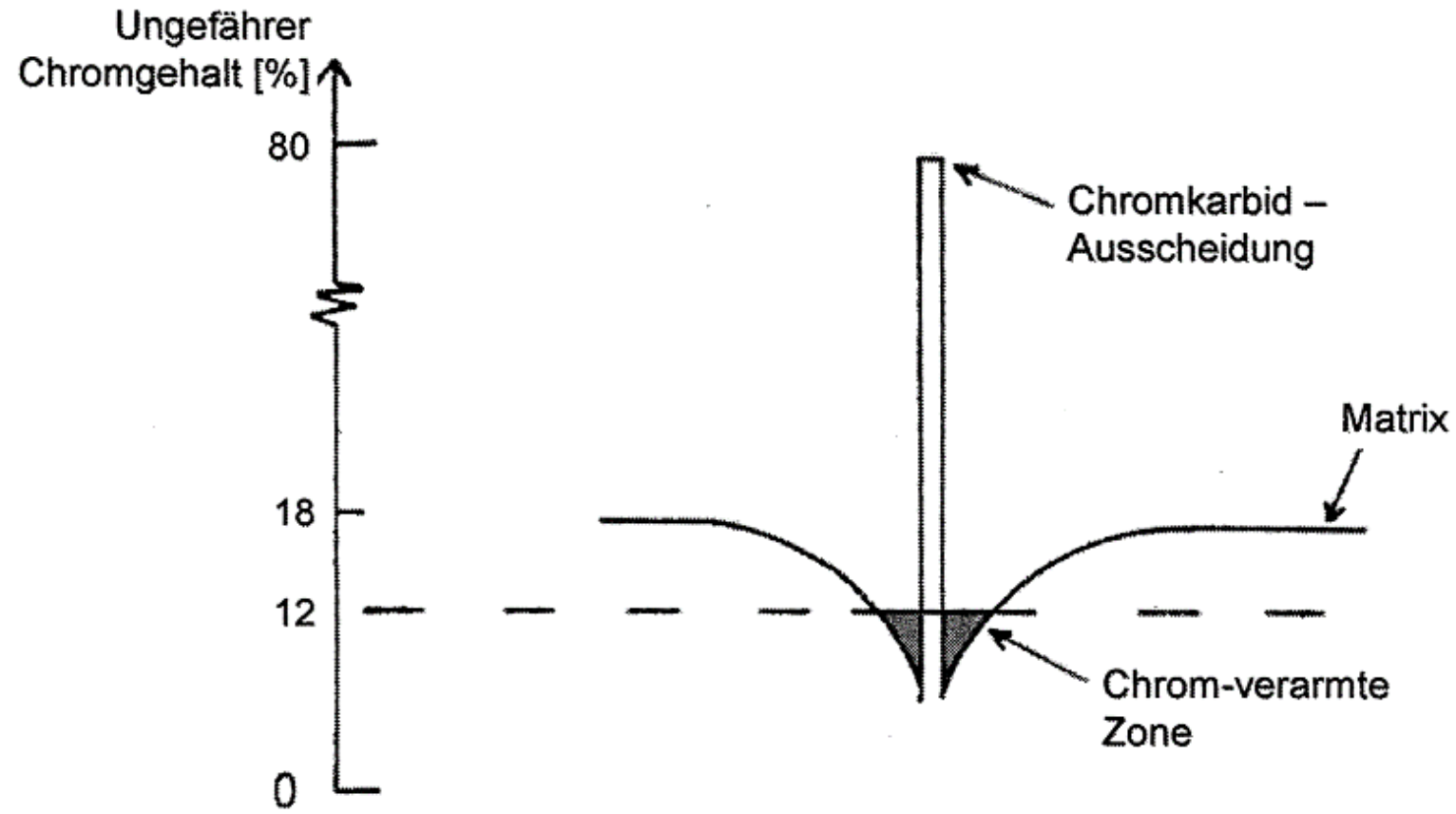
Feste, undurchlässige
Passivschicht

Passivität – Abhängigkeit vom Chromgehalt



Quelle: Paul Gümpel: Rostfreie Stähle – Grundwissen, Konstruktions- und Verarbeitungshinweise, expert verlag, Renningen, 2016

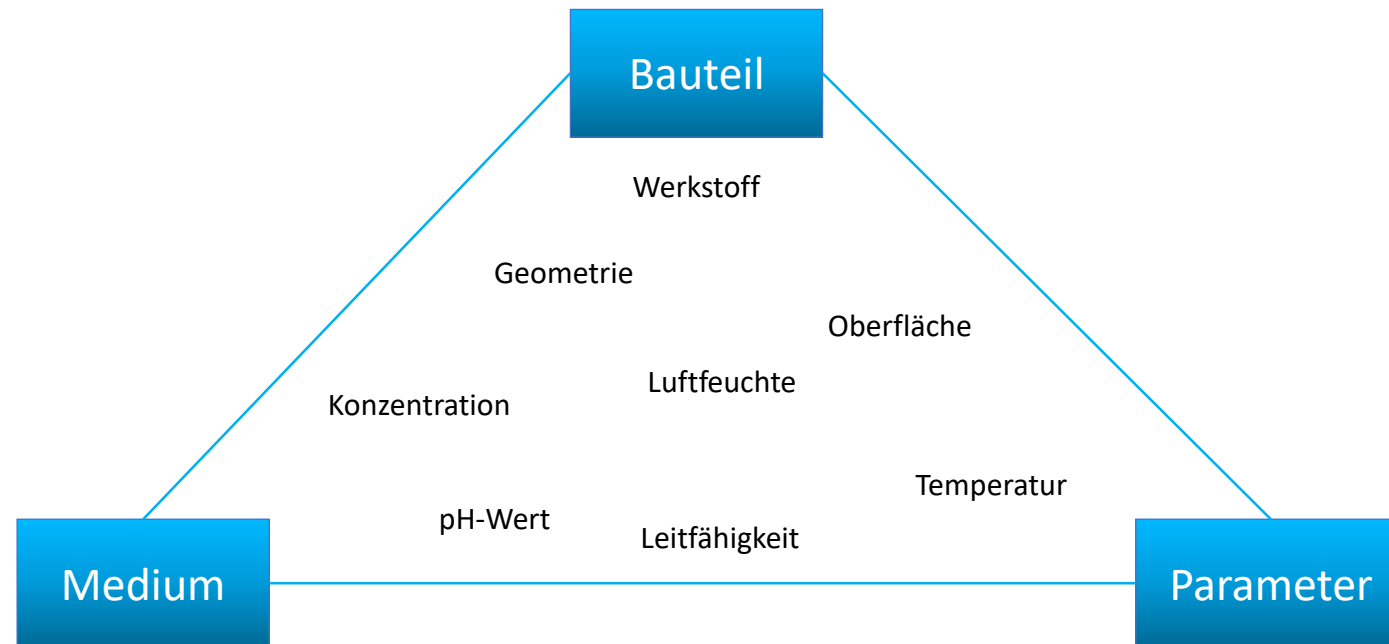
Passivität – Schwächung durch Chromverarmung (Chromkarbidbildung)



Quelle: Paul Gümpel: Rostfreie Stähle – Grundwissen, Konstruktions- und Verarbeitungshinweise, expert verlag, Renningen, 2016

Korrosion ist eine Systemeigenschaft – keine Werkstoffeigenschaft

→ es gibt keinen korrosionsbeständigen Werkstoff



Elektrochemische Korrosion

Korrosion = Oxidation eines Metalls (Reduktionsmittel)

Oxidation = Abgabe von Elektronen

Anodische Reaktion

Reduktion = Aufnahme von Elektronen

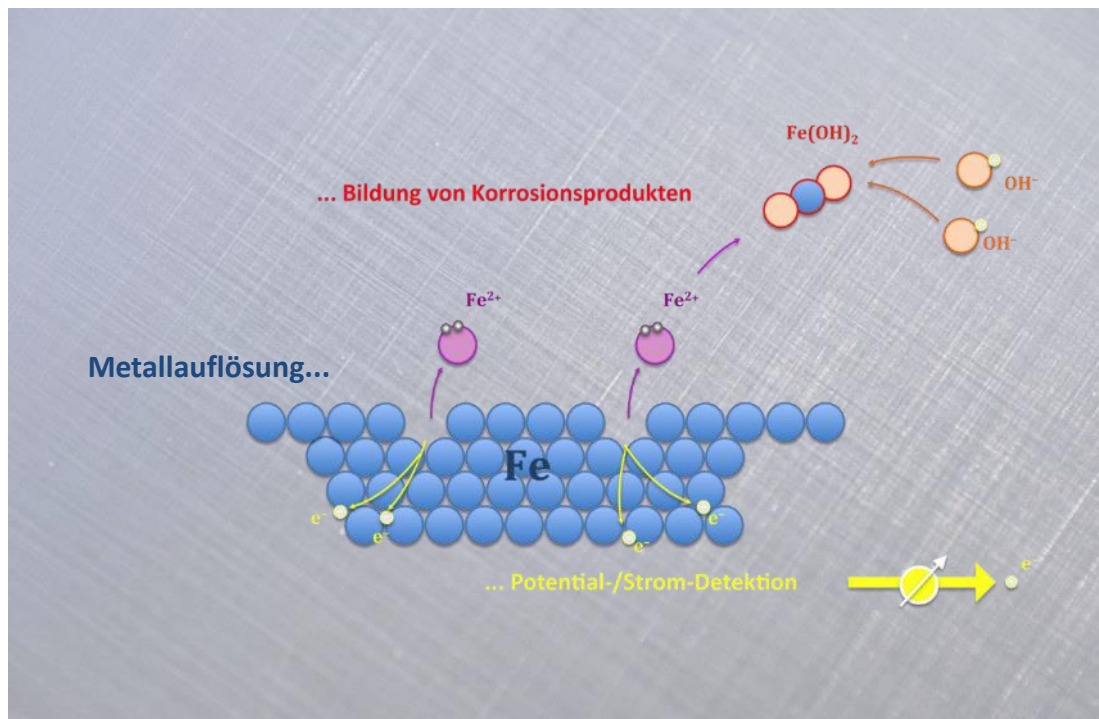
Reduktion eines Oxidationsmittels

Kathodische Reaktion

→ Beide Teilreaktionen laufen gleichzeitig ab

→ Nicht zwingend am gleichen Ort

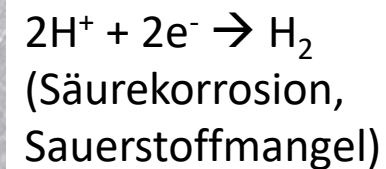
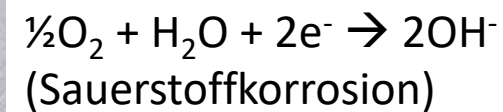
Elektrochemische Korrosion



Anodische Teilreaktion:



Kathodische Teilreaktion:



Korrosionsarten

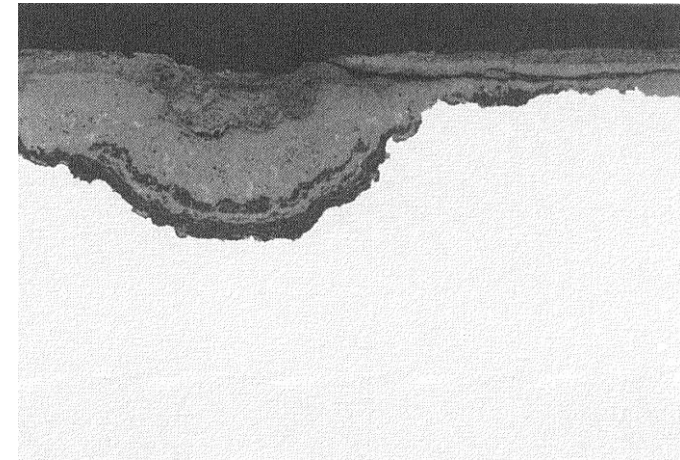
- Ohne mechanische Belastung
 - **Allgemeine Korrosion**
 - **Muldenkorrosion**
 - **Lochkorrosion**
 - **Spaltkorrosion**
 - Interkristalline Korrosion
 - **Galvanische Korrosion**
 - Mikrobiologische Korrosion
- Mit mechanischer Belastung
 - Spannungsrisskorrosion
 - Schwingungsrisskorrosion

Allgemeine Korrosion (Flächenkorrosion)

- Definition nach DIN EN ISO 8044:
Korrosion, die auf der gesamten Oberfläche des dem Korrosionsmedium ausgesetzten Metalls abläuft
- Überwiegend bei aktiven Werkstoffen
- In der Praxis eher selten:
Geometrische, werkstoff- oder medienbedingte Inhomogenitäten
oder Ausbildung von Deckschichten führen zu muldenförmigem oder
narbigen Angriff.

Muldenkorrosion

- Örtlich begrenzter Abtrag, bei dem der Durchmesser des Angriffes grösser ist als die Tiefe.
- Bei un- und niedriglegierten Stählen.
- Bildung von Konzentrations- oder Belüftungselementen, meist durch Deckschichtbildung, führt zu ungleichmässigem Abtrag.

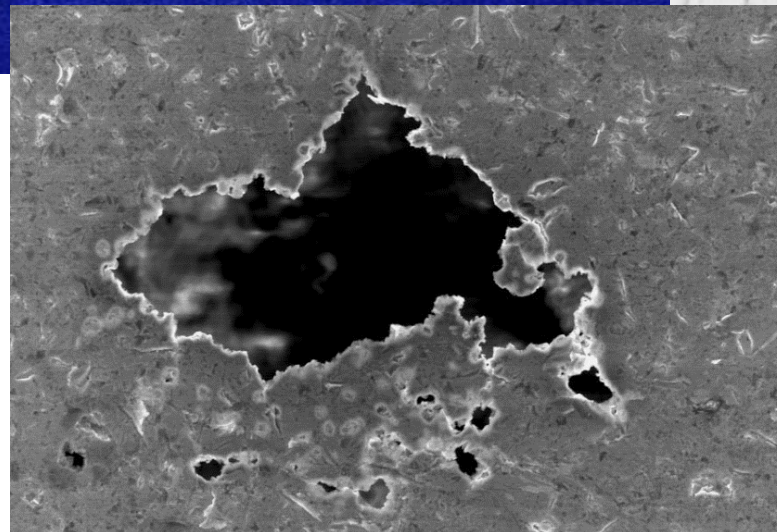
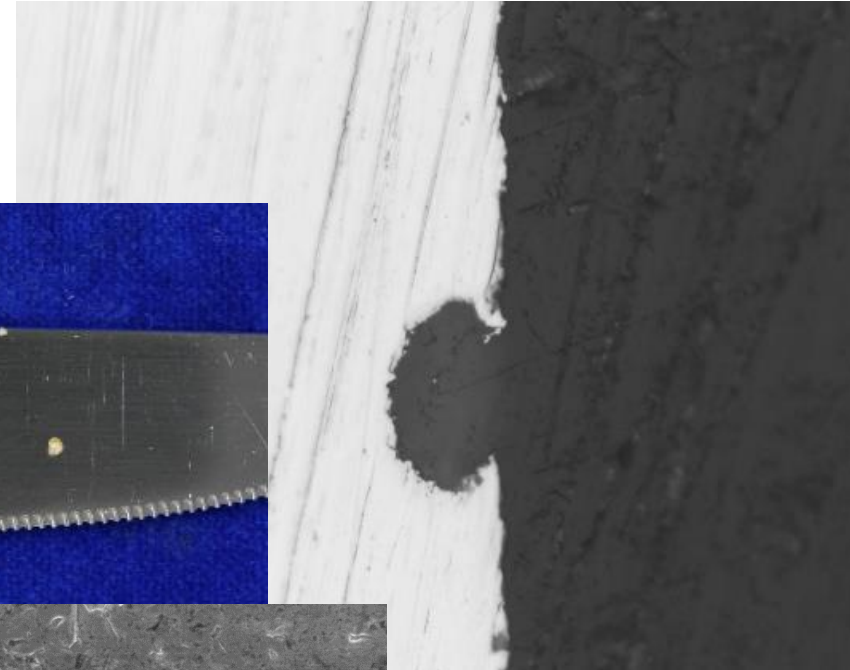


Quelle: Karl-Helmut Tostmann: Korrosion – Ursachen und Vermeidung, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2001

Lochkorrosion

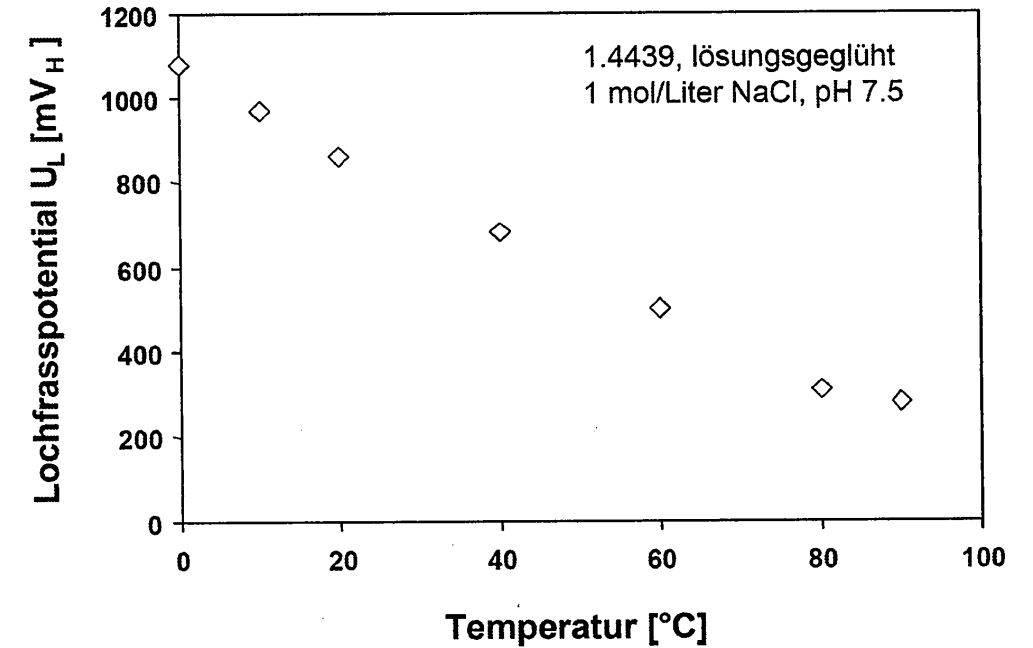
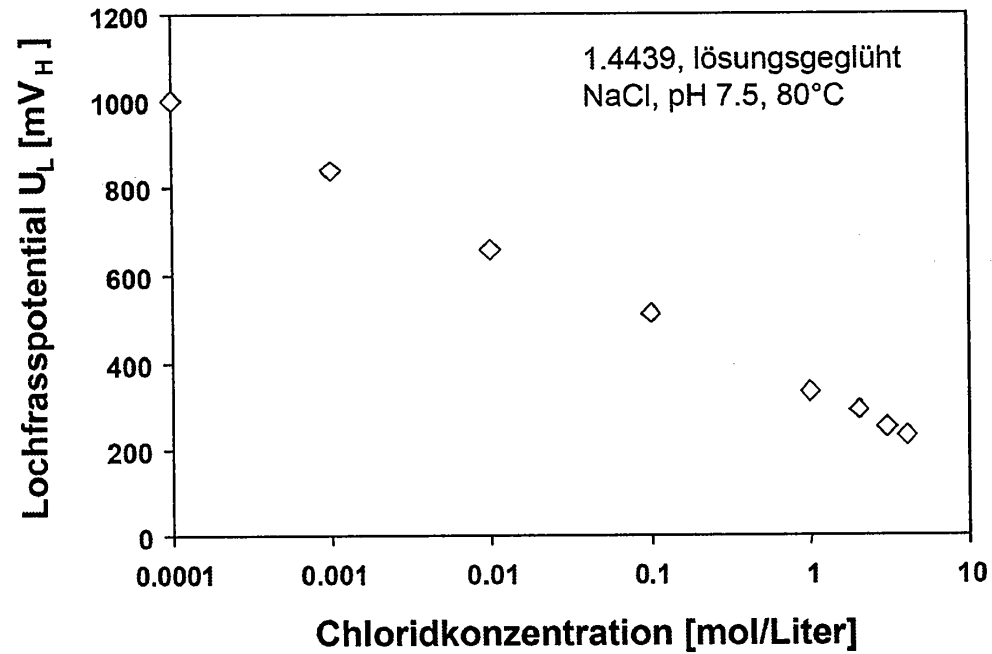
- Definition nach DIN EN ISO 8044:
örtliche Korrosion, die zu Löchern führt, d.h. zu Hohlräumen, die sich von der Oberfläche in das Metallinnere ausdehnen
- Voraussetzungen:
Passiver Werkstoff (nichtrostender Stahl, Aluminium, Titan, Nickel)
Lokale Schwächung der Passivschicht, z.B. durch Oberflächen-
inhomogenitäten, Ausscheidungen, Korngrenzen, ...
Vorhandensein von Halogenidionen (Chloride, Bromide,...)

Lochkorrosion



Lochkorrosion

- Kritischen Lochkorrosionspotential (CPP)



Quelle: Paul Gümpel: Rostfreie Stähle – Grundwissen, Konstruktions- und Verarbeitungshinweise, expert verlag, Renningen, 2016

Spaltkorrosion

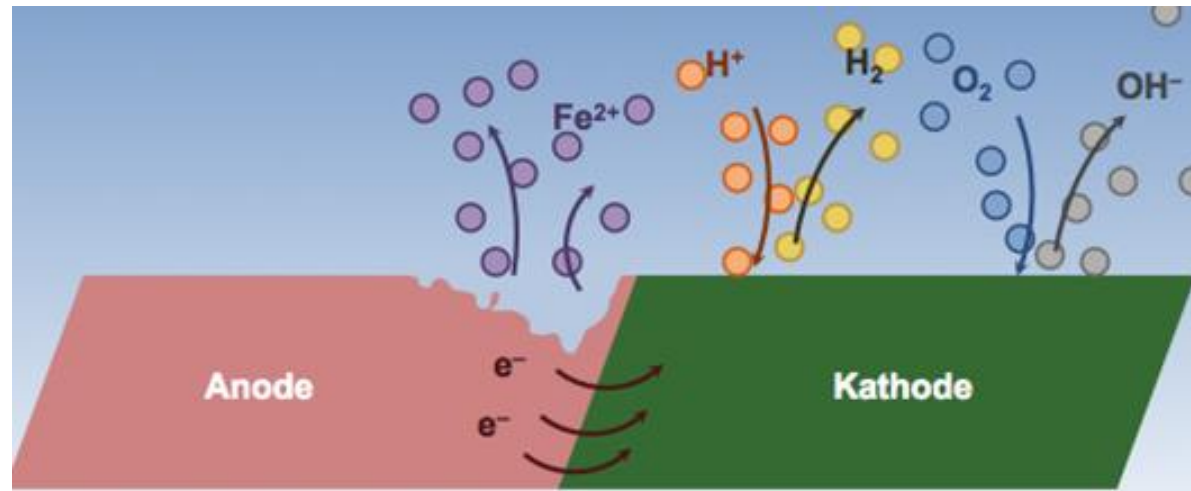
- Definition nach DIN EN ISO 8044:
örtliche Korrosion in Zusammenhang mit Spalten, die in bzw. unmittelbar neben einem Spaltbereich abläuft, der sich zwischen der Metalloberfläche und einer anderen Oberfläche (metallisch oder nichtmetallisch) ausgebildet hat
- Austausch von Sauerstoff und Elektrolyt wird behindert
- Bildung eines Belüftungselements bzw. Konzentrationselements
- Chloride führen zu kritischeren Bedingungen als bei Lochkorrosion
- Kritische Stellen:
Gewinde, Dichtungen, Konstruktive Spalte, Schweisskonstruktionen

Spaltkorrosion

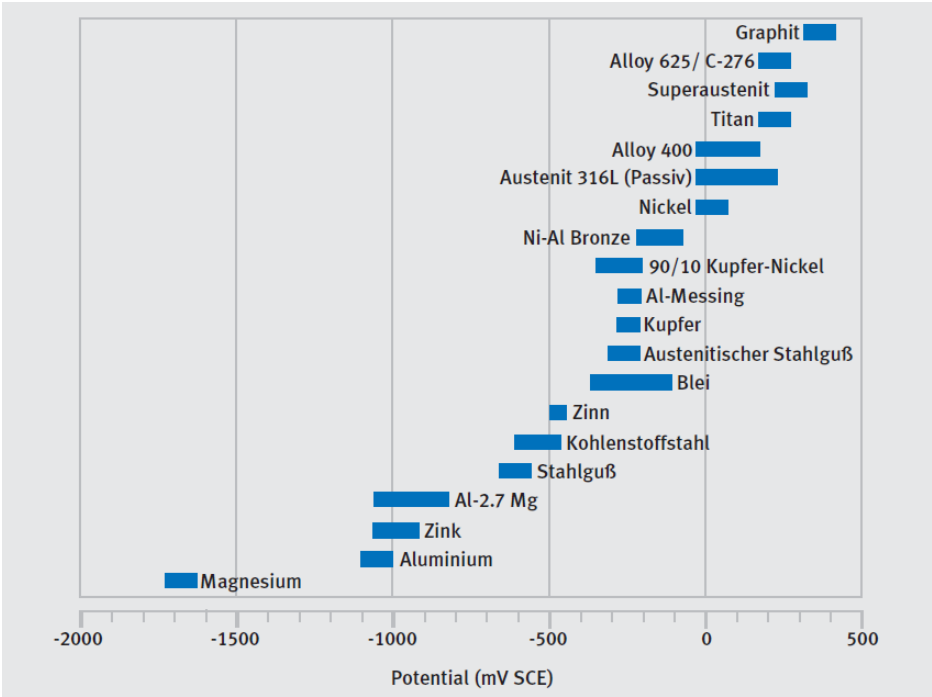


Galvanische Korrosion / Bimetallkorrosion

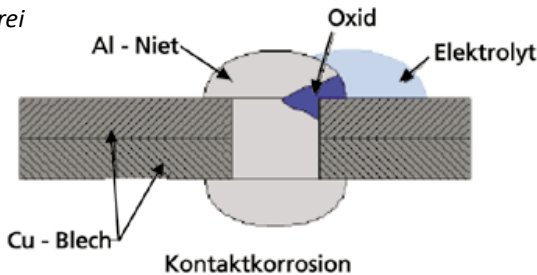
- Definition nach DIN EN ISO 8044:
galvanische Korrosion, bei der die Elektroden von unterschiedlichen Metallen gebildet werden
- Verbindung von verschiedenen Metallen, Bildung von galvanischen Elementen durch Potentialunterschiede



Galvanische Korrosion / Kontaktkorrosion



Quelle: Merkblatt 829 - Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei



Un- und niedriglegierte Stähle - Sauerstoffgehalt

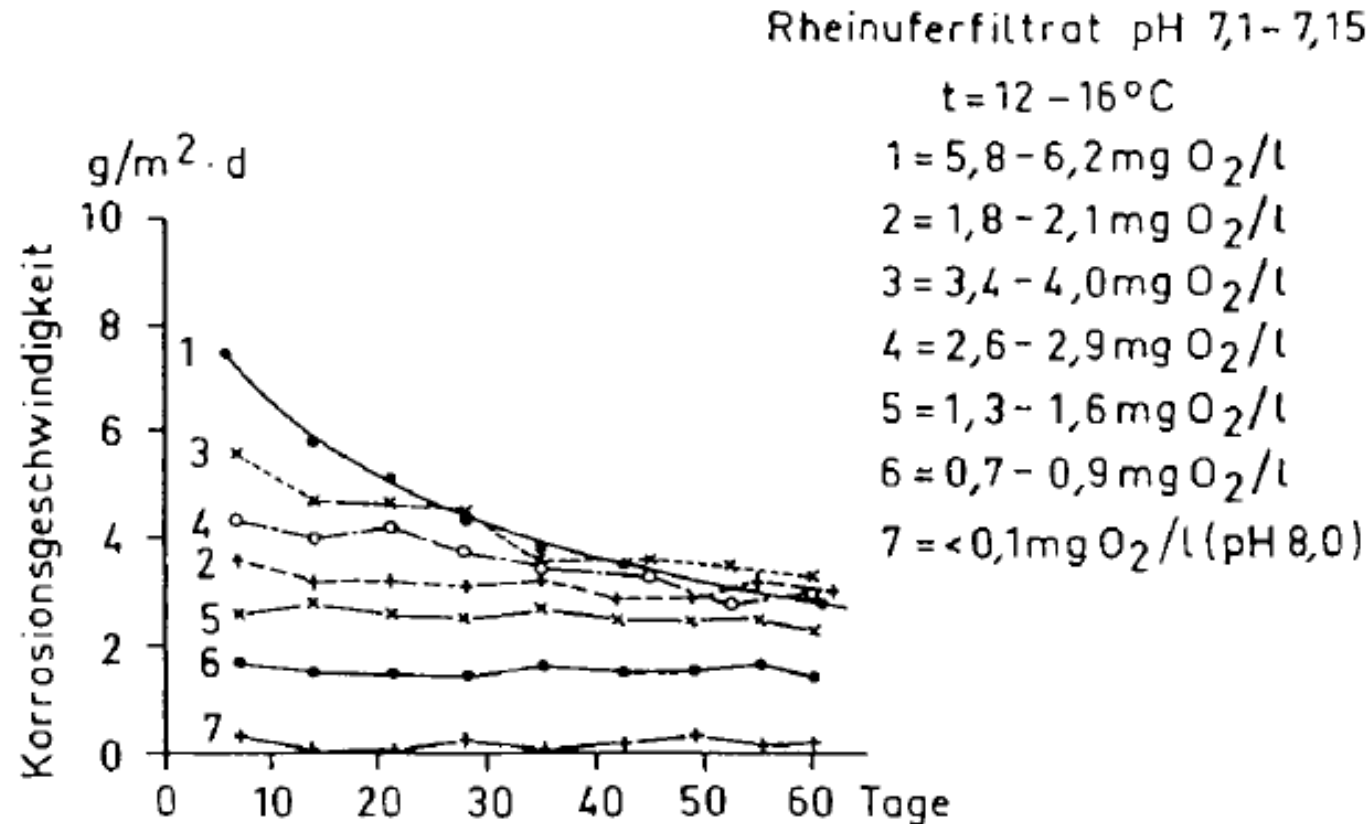


Abb. 4 Einfluß der Sauerstoff-Konzentration auf Korrosion von unlegiertem Stahl

Quelle: Egon Kunze (Hrsg.): Korrosion und Korrosionsschutz, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2001

Un- und niedriglegierte Stähle – Einfluss von Salzen, Deckschichtbildung & Fließgeschwindigkeit

- Chloride erhöhen Wahrscheinlichkeit für lokale Korrosion
- Härte hat Einfluss auf Deckschichtbildung
- Deckschichten erhöhen Wahrscheinlichkeit für lokale Korrosion
- Stagnierende Wässer erhöhen Wahrscheinlichkeit für lokale Korrosion → Wasser sollte bewegt werden

Hochlegierte Stähle

- Chloride erhöhen Wahrscheinlichkeit für lokale Korrosion
- Sauerstoffarmut erschwert Repassivierung
- Besonders anfällig für Spaltkorrosion
- Deckschichten erhöhen Wahrscheinlichkeit für lokale Korrosion
- Stagnierende Wässer erhöhen Wahrscheinlichkeit für lokale Korrosion → Wasser sollte bewegt werden

Korrosionsschutzgerechtes Konstruieren

- Vermeidung von Spalten und Fugen
- Fügeverbindungen abdichten
- Ansammlungspunkte für Flüssigkeiten vermeiden, ggfls.
Abflussmöglichkeiten schaffen
- Mischverbindungen, wenn möglich vermeiden oder separate
Schutzmaßnahmen einplanen

Wasserqualität

- Teilenthärtung
- Kontrolle Sauerstoffgehalt & pH-Wert
- Vermeidung von Biofilmen
 - Biozide auf Materialverträglichkeit prüfen
 - **Keine** Chlorverbindungen!
- Vermeidung von stehenden Kühlwasser, ggfls. Leitung entleeren

Projekttitle

- Intelligentes Temperiergerät für Spritzgießwerkzeuge zur Verbesserung der Beständigkeit gegen Korrosion – **iTemp**

Projektidee

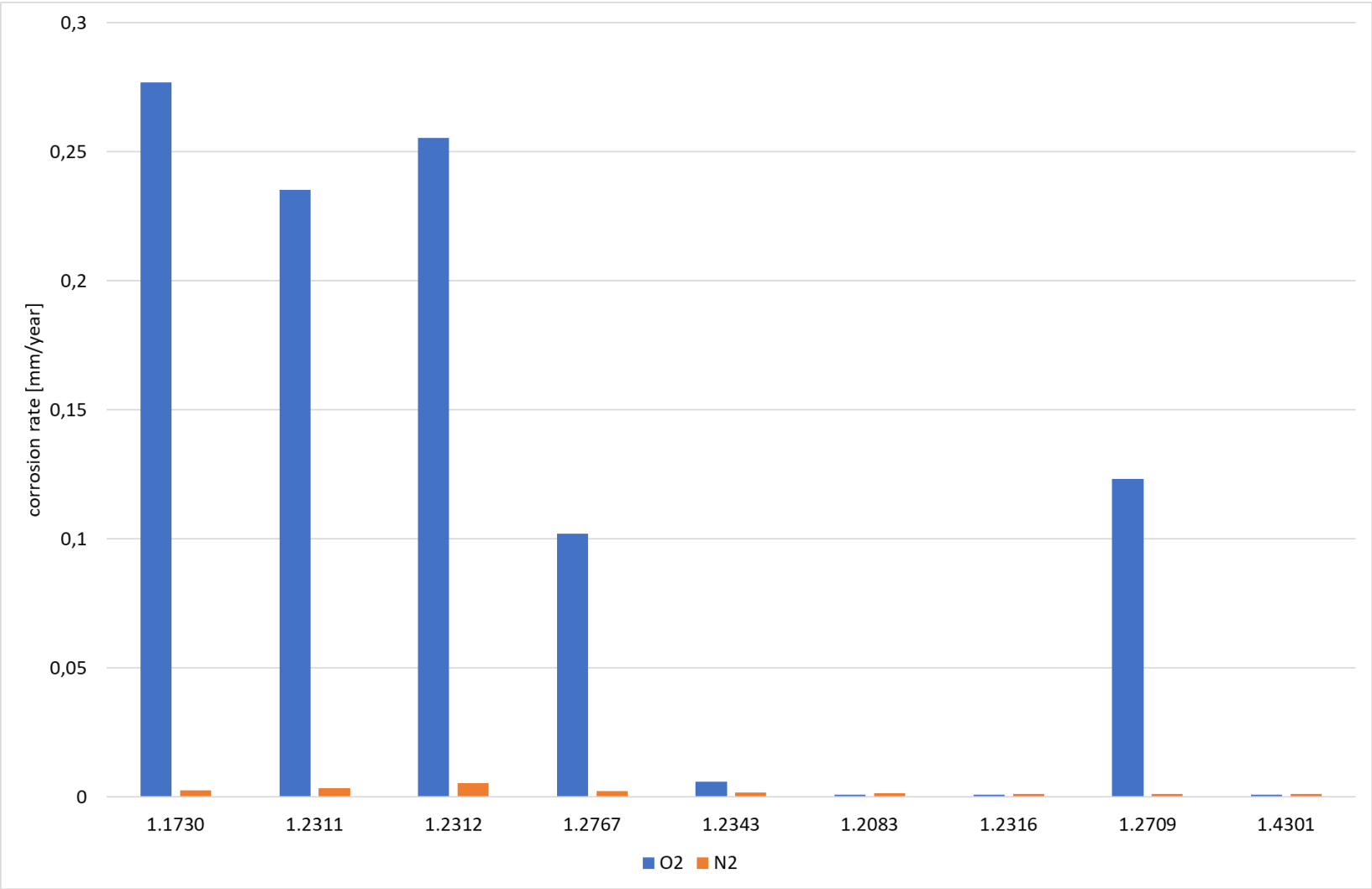
- Korrosionsschutz durch kontrollierten Sauerstoffgehalt im Kreislaufwasser

Werkstoffe

Proben- bezeichnung	Werkstoffnummer	
A	1.1730	C45W
B	1.2311	40CrMnNiMo8-6-4
C	1.2312	40CrMnNiMoS 8-6-4
D	1.2767	45NiCrMo16
E	1.2343	X37CrMoV5-1
F	1.2083	X40Cr14
G	1.2316	X38CrMo16
H	1.2709	X3NiCoMoTi19-9-5
I	1.4301	V2A

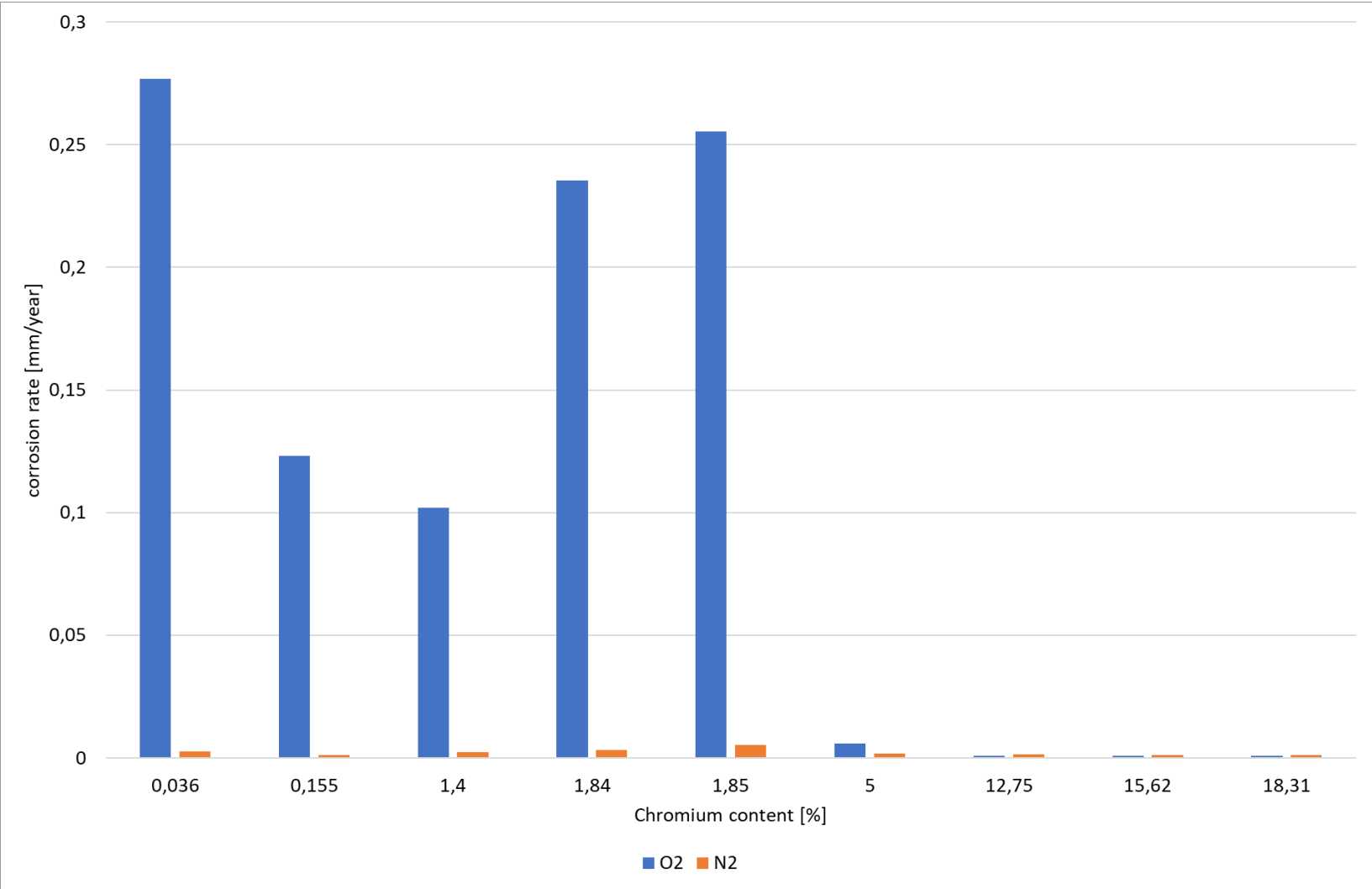


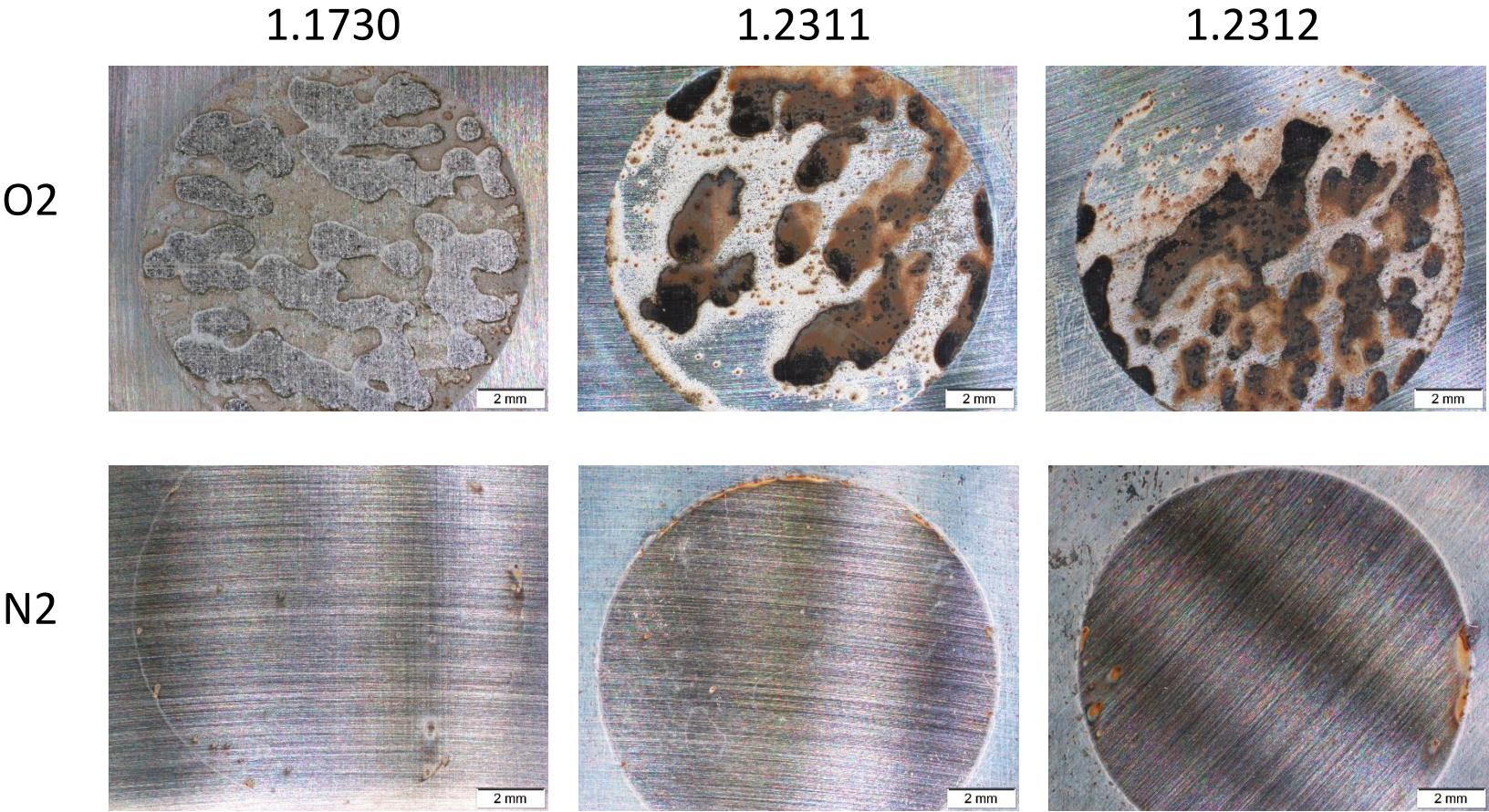
Korrosionsraten in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt

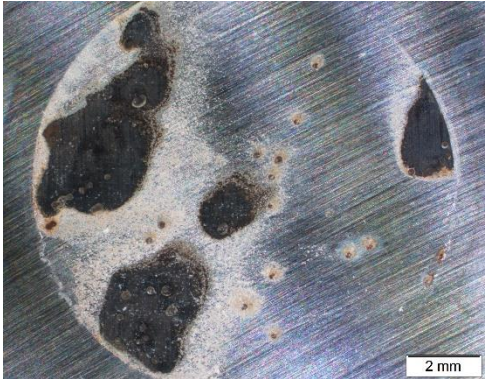
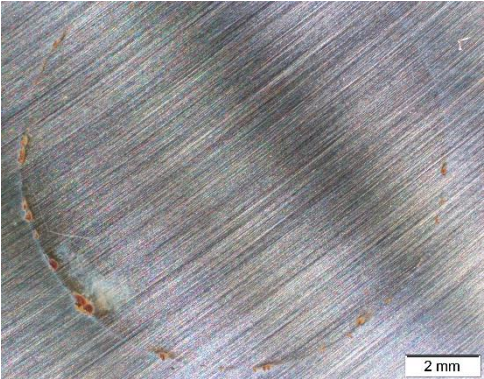
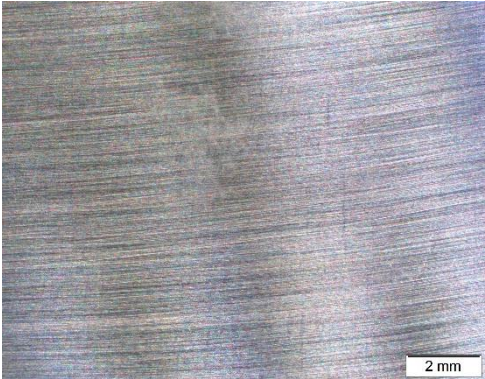
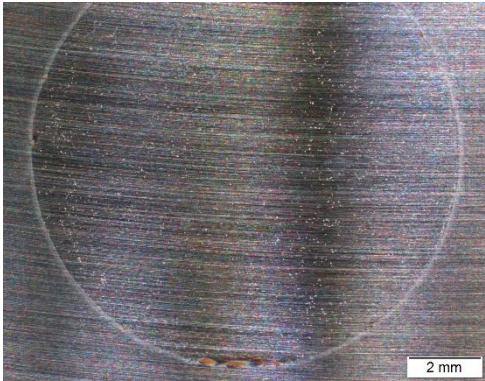
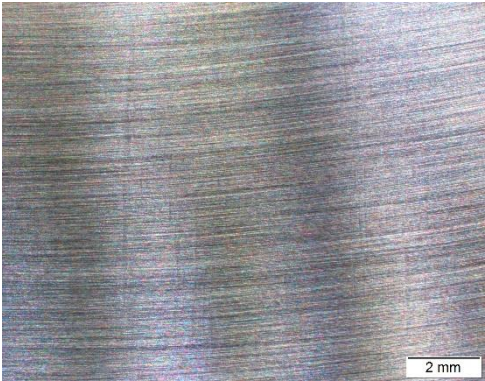


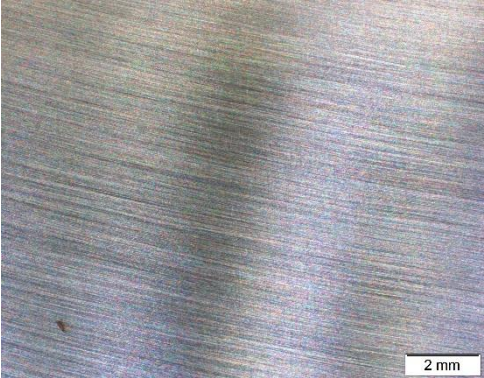
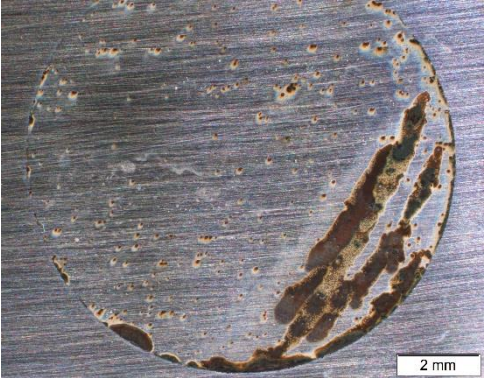
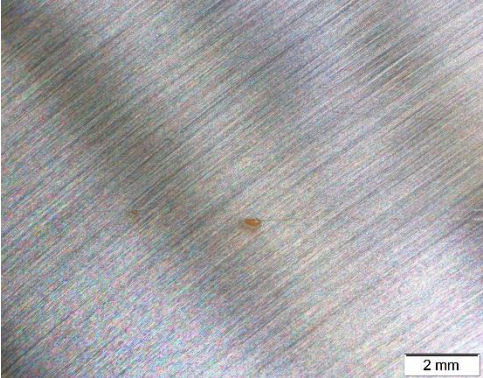
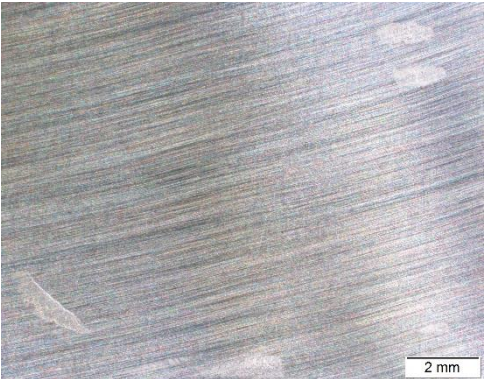
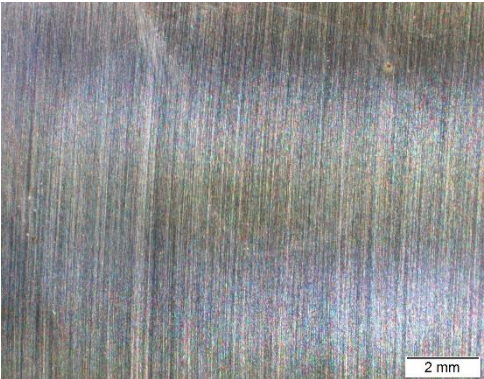
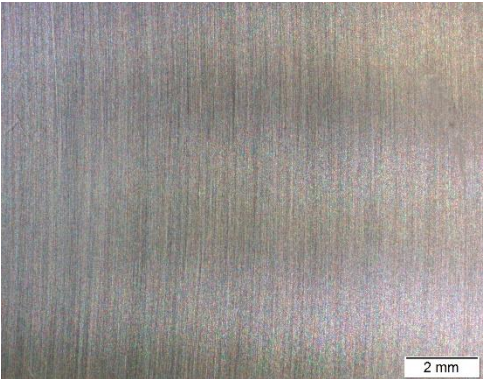


Korrosionsraten in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt





	1.2767	1.2343	1.2083
O2			
N2			

	1.2316	1.2709	1.4301
O2			
N2			

Fragen?

wir freuen uns über einen **unverbindlichen** und **persönlichen** fachlichen Austausch mit Ihnen!



Matthias Sorg, Dipl.-Ing. (FH)
angewandte Forschung, Korrosion, Elektrochemische
Untersuchungen, Oberflächentechnik

m.sorg@witg.ch

Telefon 0041 71 666 42 07



Torsten Bogatzky, Dipl.-Ing. (FH)
operative Leitung des WITg, Schadensanalytik,
Elektronenmikroskopie und wissenschaftliche Begleitung
von Projekten

t.bogatzky@witg.ch

Telefon 0041 71 666 42 04