

Korrosion I-II.

Korrosion von Metallen
Karakterisation der Korrosion
Korrosionsformen
Schadensfälle

➤ **IUPAC**

Korrosion ist die irreversible Grenzflächenreaktion eines Materials (Metall, Keramik, Polymer) mit seiner Umgebung, infolge der Material Abnimmt oder einen Bestandteil der Umgebung ins Material eingebaut wird.

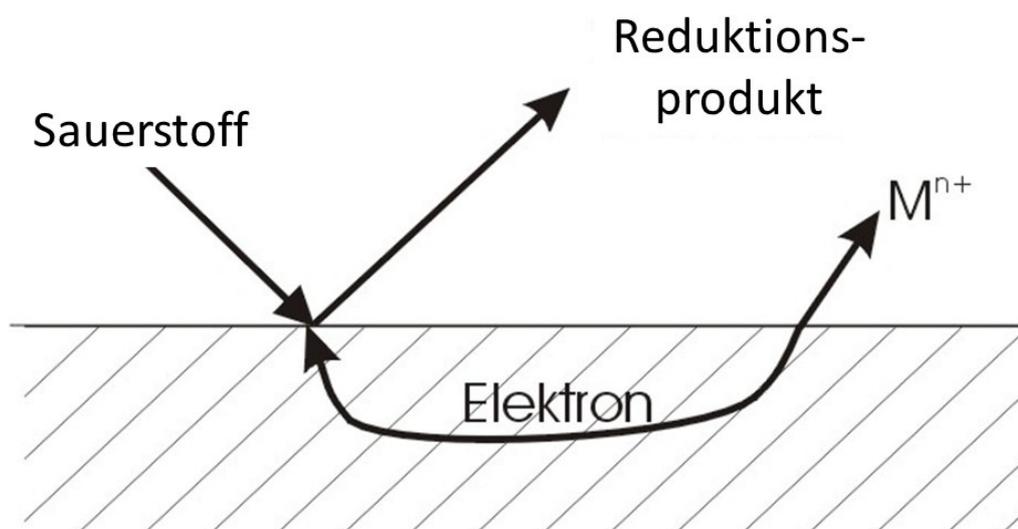
➤ **MSZ EN ISO 8044:2020**

Die Korrosion ist die physische-chemische Wechselwirkung zwischen Metall und seine Umgebung infolge der Eigenschaften der Metall verändert werden und häufig werden die funktionelle Eigenschaften des Metalls, der Umgebung und daraus bestehende technische Umgebung verschlechtert.

- Man unterscheidet bei Konstruktionsmaterial- und Umgebungswechselwirkung zwischen **elektrochemische** und **chemische** Korrosion.

Elektrochemisches Korrosion geht vor sich, wenn Metall mit ionleitendes Medium , allgemeinen mit wässrigen Elektrolyt ins Kontakt kommt, wo die Metallionen löslich sind. Das Grundprozess im jeden Fall ist mindestens einen anodische Oxidation und eine kathodische Reduktion.

- $\text{Me} \rightarrow \text{Me}^{2+} + 2\text{e}^-$ (anodische Oxidation)
Ladungsverlust der Wasserstoffionen
 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$
- Wasserzersetzung (kathodische Reduktion)
 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$
- Reduktion der im Wasser gelöste Sauerstoff im:
Säurigen Medium ($\text{pH} < 7$)
 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$
- Neutralen und laugigen Medium ($\text{pH} \geq 7$)
 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \leftrightarrow 4\text{OH}^-$
 $\text{Me}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Me}$



Elektrochemische Korrosion

- Wenn ein Metall in einer Lösung mit eigenen Ionen sinkt, dann werden vom Metall Ionen ins Lösung gehen und von Lösung tritt Reinmetall aus laut der Gleichgewichtsbedingungen.
- Zwischen Metalloberfläche und Lösung wird Potentialunterschied auftreten.
- Diese Potentialunterschied wird im Vergleich der Wasserstoffelektrode angegeben es ist der Normal- oder Standardpotential.
- Die Metalle die mehr Ionen ins Lösung bringen als Wasserstoff, lösen sich besser, und im Vergleich zur Wasserstoff werden negative Potential auf der Oberfläche haben. Diese sind mit negative Standardpotential.
- Die Metalle die weniger Ionen ins Lösung bringen als Wasserstoff, lösen sich schlechter, und im Vergleich zur Wasserstoff werden positive Potential auf der Oberfläche haben. Diese sind mit positive Standardpotential.

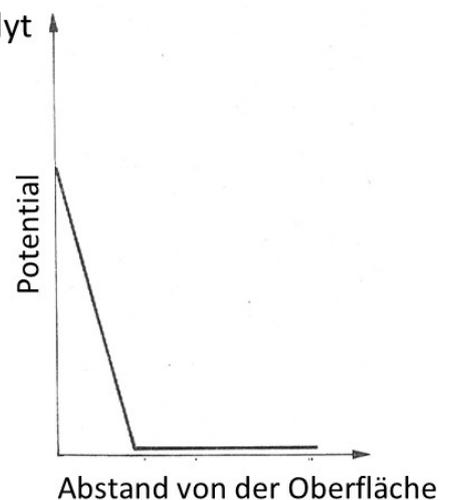
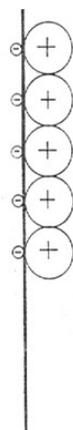
Elektrodenpotential (V)

$$E = E_0 + (RT/ZF) \cdot \ln a_{Me}$$

Elektrisches Potential zwischen Metall und Lösung mit eigene Ionen

- Im Absolutwert nicht messbar
- Die Spannung beim gleichen Elektrolyt im Kontakt mit der Elektrode und zwischen einer Vergleichselektrode im Stromkreis messbar ist

Metall Elektrolyt



Au	$\rightarrow \text{Au}^{3+} + 3e$	+1.498
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e$	$\rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
Pt	$\rightarrow \text{Pt}^{2+} + 2e$	+1.2
Pd	$\rightarrow \text{Pd}^{2+} + 2e$	+0.987
Ag	$\rightarrow \text{Ag}^+ + e$	+0.799
Hg	$\rightarrow \text{Hg}^{2+} + 2e$	+0.788
$\text{Fe}^{3+} + e$	$\rightarrow \text{Fe}^{2+} + 0.771$	
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e$	$\rightarrow 4\text{OH}^-$	+0.401
Cu	$\rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e$	+0.337
$\text{Sn}^{4+} + 2e$	$\rightarrow \text{Sn}^{2+} + 0.15$	
$2\text{H}^+ + 2e$	$\rightarrow \text{H}_2$	0.000
Pb	$\rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2e$	-0.126
Sn	$\rightarrow \text{Sn}^{2+} + 2e$	-0.136
Ni	$\rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2e$	-0.250
Co	$\rightarrow \text{Co}^{2+} + 2e$	-0.277
Cd	$\rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2e$	-0.403
Fe	$\rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e$	-0.440
Cr	$\rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3e$	-0.744
Zn	$\rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e$	-0.763
Al	$\rightarrow \text{Al}^{3+} + 3e$	-1.662
Mg	$\rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2e$	-2.363
Na	$\rightarrow \text{Na}^+ + e$	-2.714
K	$\rightarrow \text{K}^+ + e$	-2.925

Standardpotentiale der Metalle

- auf 25 °C
- 0,1 MPa Druck
- bei 1 mol/dm³ Konz.
- gegen der normalen Wasserstoffelektrode gemessen

Folie: 7

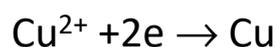
- Die Standardpotentialreihe ermöglicht, dass im elektrochemischen System vom thermodynamischen Hinsicht die Richtung der Elektrodenprozesse und die Korrosionspotential des Systems ermittelt werden können.



- Im Fall von elektrochemischen Korrosion (bei der Kontakt von zwei Metallen) das Metall mit der größeren Elektrodenpotential wird reduziert das Metall mit der niedrigeren Elektrodenpotential wird oxidiert (geht in die Lösung also wird korrodiert).



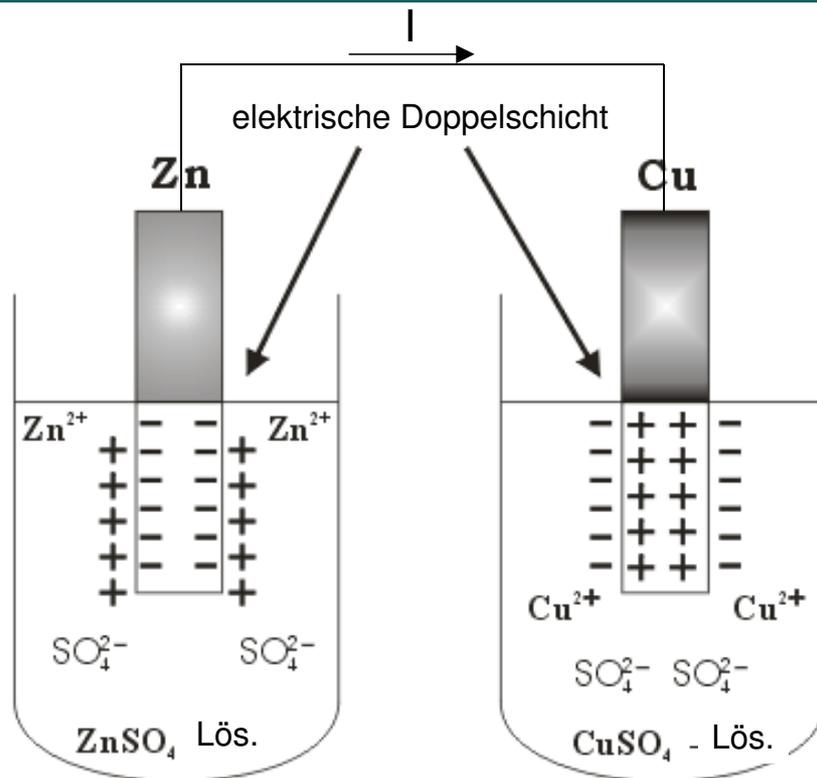
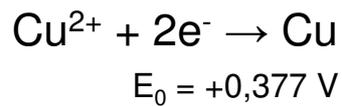
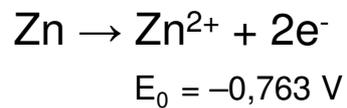
OXIDATION, ANODE



REDUKTION, KATHODE

Folie: 8

Galvanzelle:



Folie: 9

$$E_{\text{Zn}} = -0,763 \text{ V}$$

$$E_{\text{Cu}} = +0,337 \text{ V}$$

$$E_{\text{Zelle}} = E_{\text{Cu}} - E_{\text{Zn}} = 0,337\text{V} - (-0,763\text{V}) = 1,1 \text{ V}$$

Je größer elektromotorische Kraft der Galvanzelle desto schneller ist die Oxidation/Reduktionsprozess. Bei elektrochemische Korrosion entsteht also eine Galvanzelle auf der Oberfläche.

Folie: 10

$$\varepsilon = \varepsilon^0 + (RT/zF) \cdot \ln c \text{ (Nernst-Gleichung)}$$

ε – die aktuelle Elektrodpotential

ε^0 - Standardpotential der Metall

R – Universelle Gaskonstante: 8,3145 J/mol*K

T – Temperatur

z – Oxidationszahländerung der Metall

F – Faraday-Zahl: 96500 C/mol

c – Konzentration der Metallionen

Die Konstanten ins Gleichung reingesetzt und auf 10-er Logarithmus der Elektrodpotential auf 25 °C ist:

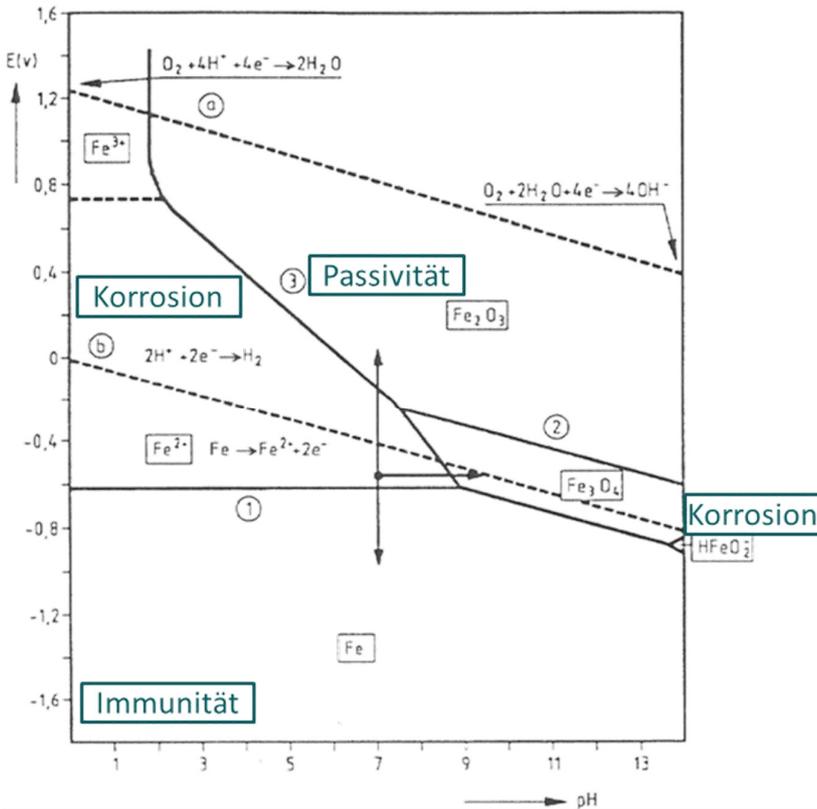
$$\varepsilon = \varepsilon^0 + (0,059/z) \cdot \ln c$$

$$E_{\text{Zelle}} = E_{\text{kathodisches Prozess}} - E_{\text{anodisches Prozess}}$$

$$E_{\text{Zellen}} = E^0_{\text{Cu/Cu}^{2+}} - E^0_{\text{Zn/Zn}^{2+}} + (R \cdot T / z \cdot F) \cdot \ln c_{\text{Cu}^{2+}} - (R \cdot T / z \cdot F) \cdot \ln c_{\text{Zn}^{2+}}$$

$$E = E^0_{\text{ZELL}} + (R \cdot T / z \cdot F) \cdot \ln [\text{Ox}] / [\text{Red}]$$

- Potentialunterschied kann verursacht werden durch:
 - Zwei verschiedene Metalle, oder gleiches Metall mit verschiedenen Kristallstruktur
 - Temperaturunterschied im gleicher Metall
 - Konzentrationsunterschied im gleicher Metall



Vereinfachtes Pourbaix Diagramm des Eisens

Ermöglicht:

- die Bestimmung der Richtung der spontanen Reaktionen
- das Erkenntnis der Zusammensetzung des Korrosionsproduktes,
- Veranschaulichung der Wirkung des Mediums auf die Korrosions-Empfindlichkeit.

! Es Charakterisiert die Korrosion ausschließlich aus thermodynamischer Hinsicht.

Folie: 13

- Egal wie große Wahrscheinlichkeit die Korrosion hat, für die Praxis ist die Geschwindigkeit des Korrosionsprozesses maßgebend.
- Die Korrosionsgeschwindigkeit zweier beliebigen Metalle in einer Flüssigkeit kann bestimmt werden, wenn nach der Einstellen der Gleichgewichtsprozesse der Strom gemessen wird und die Fläche des Anodprozesses bekannt ist.
- Die Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit erfolgt nach der Faraday-Gesetz.

$$I_{\text{korr.}} \cdot t = n \cdot F \cdot \Delta m / M$$

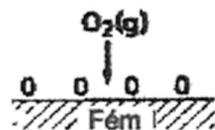
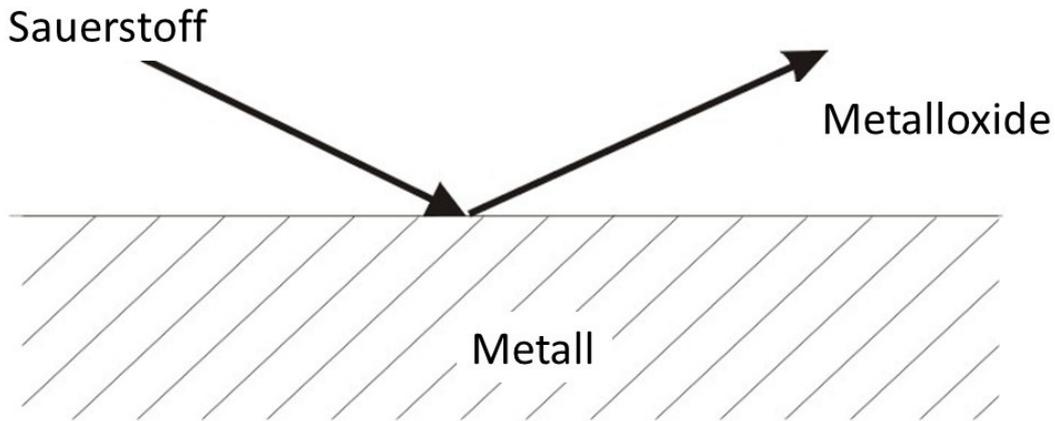
$$F: 96\,480 \text{ C/mol}$$

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s} = 26,8 \text{ A} \cdot \text{h}$$

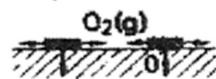
Folie: 14

Chemische Korrosion

Ist ein solche Korrosion wo kein elektrochemisches Vorgang stattfindet.



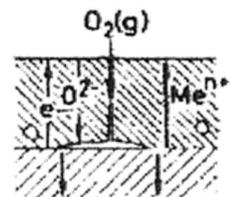
Adsorption



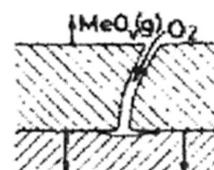
Keimbildung + Wachstum der Oxide
Sauerstoff löst sich



Film / Zunder Wachstum
innere Oxidation



Kavitäten
Poren
Mikrorisse

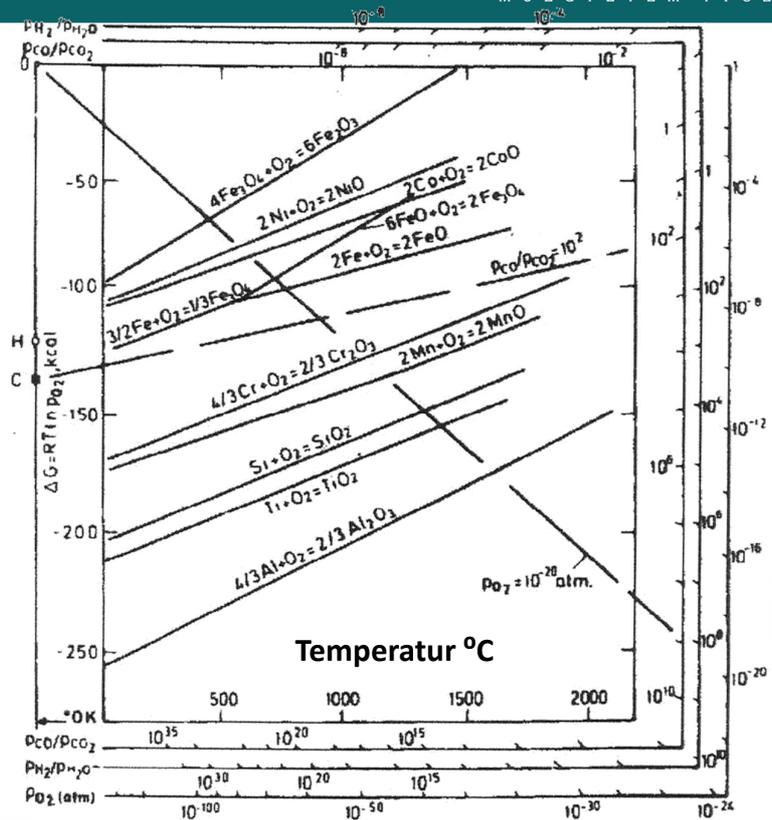


Makrorisse
Eventuell geschmolzene Oxide
oder Oxidverdampfung

Thermodynamische Bedingung zur Bildung ein Oxide ist, dass die partielle Sauerstoffdruck der Umgebungsatmosphäre größer sein soll als mit der Metall im Gleichgewicht stehende Dissotiationskonstante der Oxide.

$$p_{O_2} \geq \exp\{\Delta G_{(MeaOb)}/RT\}$$

Ellingham/Richardson Diagramm für die Oxidationsfähigkeit → einige Metalle



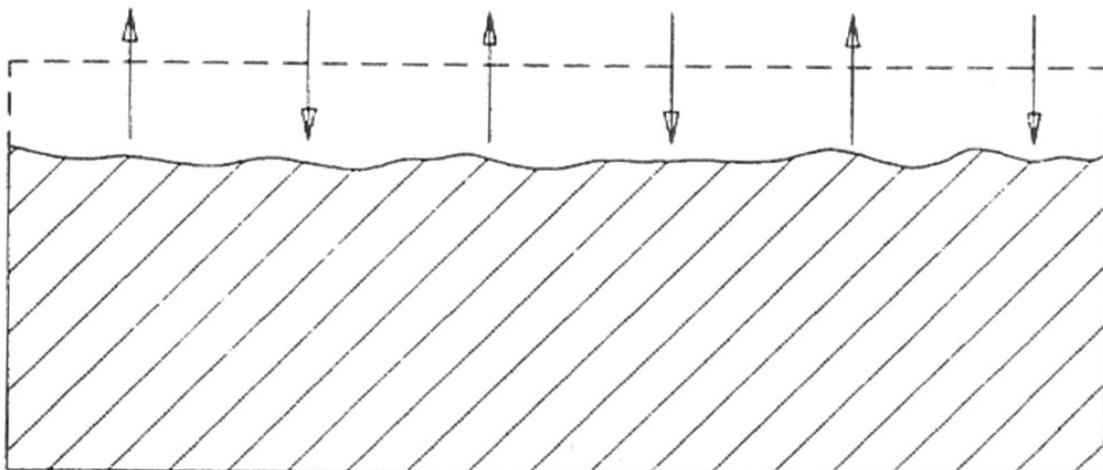
- Die Brutto-Geschwindigkeit und Mechanismus der chemischen Prozesse hängt von der Geschwindigkeit der chemischen Prozesse auf der Grenzflächen und von der Nachschubgeschwindigkeit der Reagenten ab. Dieser Nachschub erfolgt durch Diffusion.
- Beim Treffen der thermodynamischen Bedingungen die Oxidationsgeschwindigkeit wird durch die kinetischen Gesetze der Diffusion bestimmt.
- Die Oxidations- Geschwindigkeit und Mechanismus wird noch durch die Eigenschaften des Korrosionsproduktes beeinflusst.
- Die Schutzfähigkeit der Korrosionsschicht kann mit der Pilling-Bedworth-Regel charakterisiert werden: $R = V_{Oxid} / V_{Metall}$
 - Dichte, gut haftende, schützendes Oxidschicht: $1 < R < 1,5$
 - Zerbrechliche schlecht haftendes Oxidschicht: $R < 1$
 - Dicke, poröse Oxidschicht: $R > 1,5$

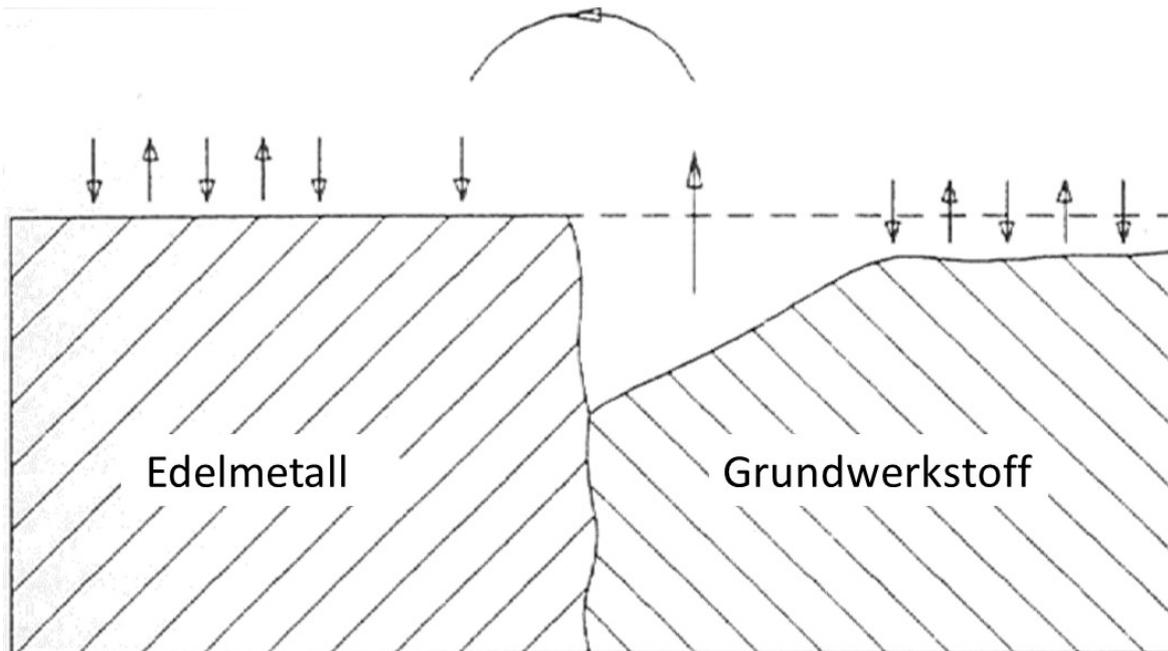
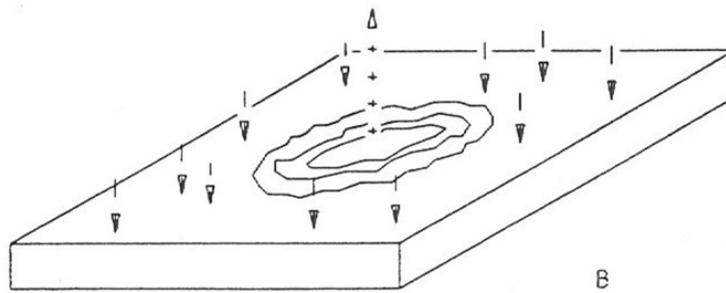
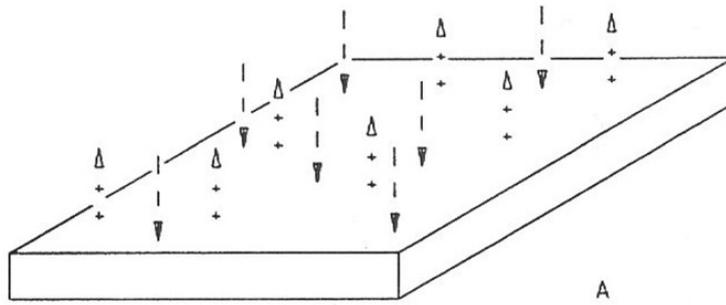
➤ Elektrochemische Korrosion

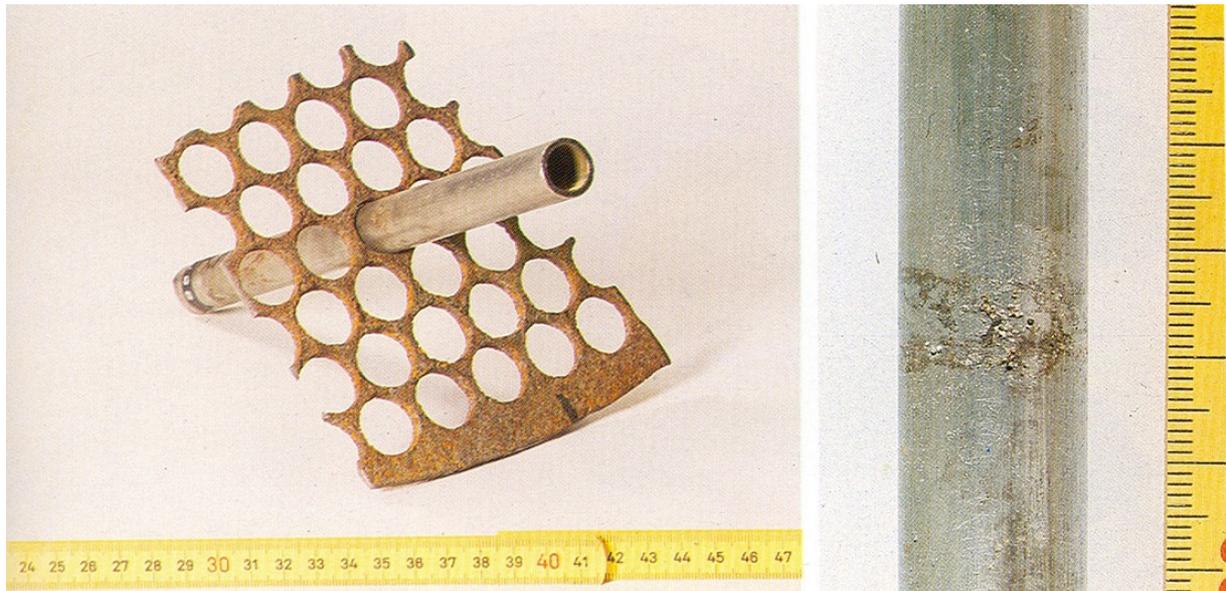
1. Gleichmäßige Korrosion
2. Zweimetall-Korrosion
3. Spaltkorrosion
4. Lochkorrosion
5. Interkristalline Korrosion
6. Selektive Korrosion
7. Korrosion mit mechanische Belastung (Erosions-, Zusammenstoß- und Kavitationskorrosion, Einfress- oder tribologische Korrosion)
8. Spannungskorrosion (auch Korrosionsermüdung)

➤ Chemische Korrosion

1. Hochtemperaturkorrosion
2. Korrosion in Salzschmelzen
3. Korrosion im flüssigen Metallen







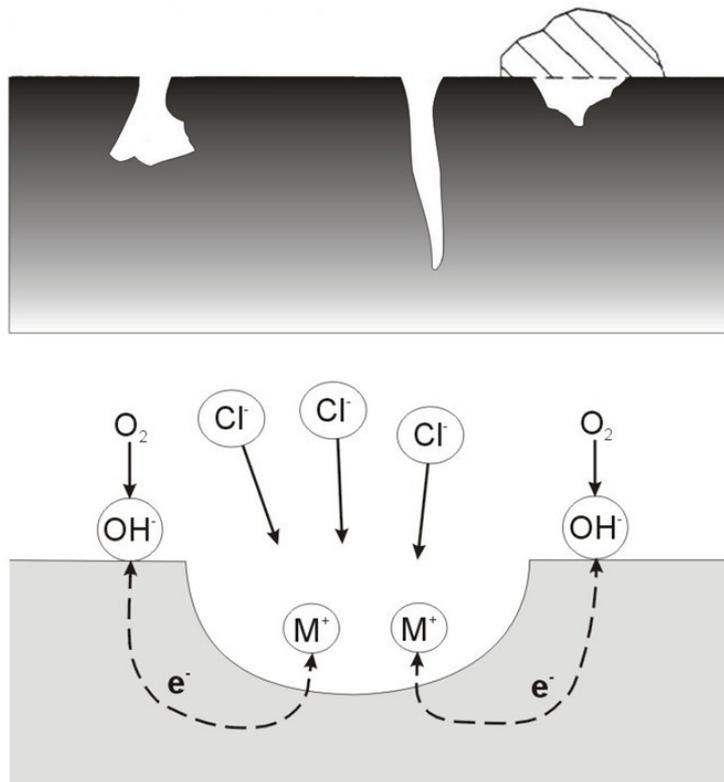
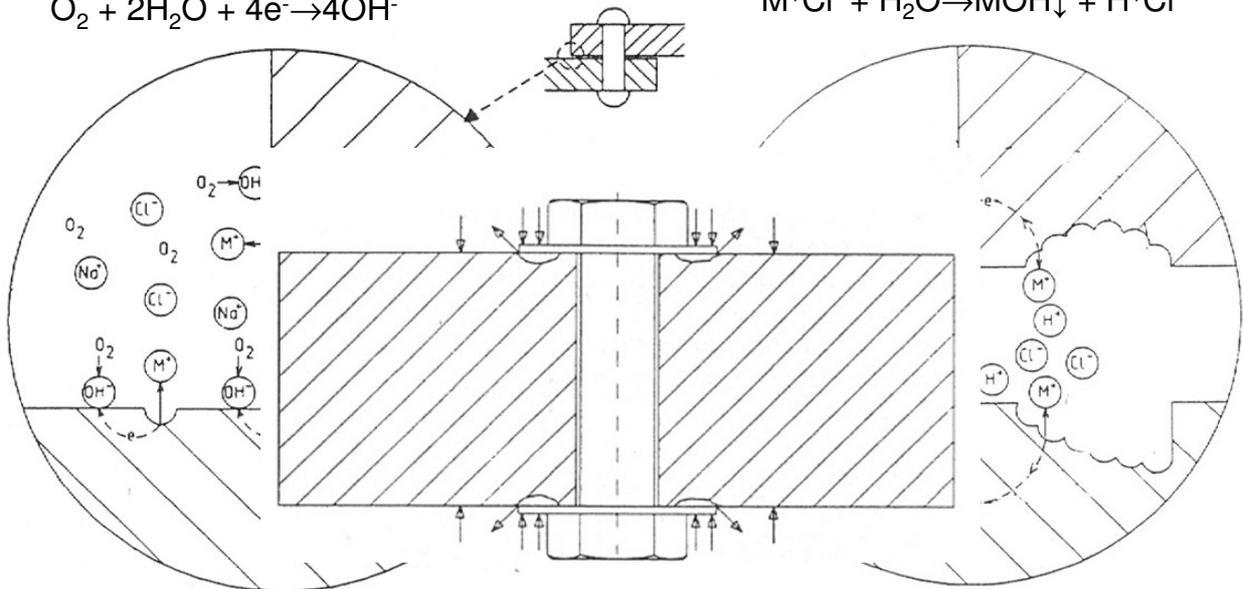
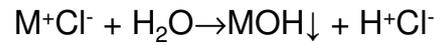
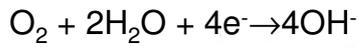
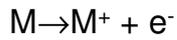
Gitter wurde aus unlegierten Stahl das Rohr aus korrosionsbeständigem Stahl hergestellt, die Pittinge auf dem Rohr sind die Folge der Cl⁻ Ionen

Folie: 23



Mit Rost verschmutzte korrosionsbeständige Stahl (lokale Galvanzelle)

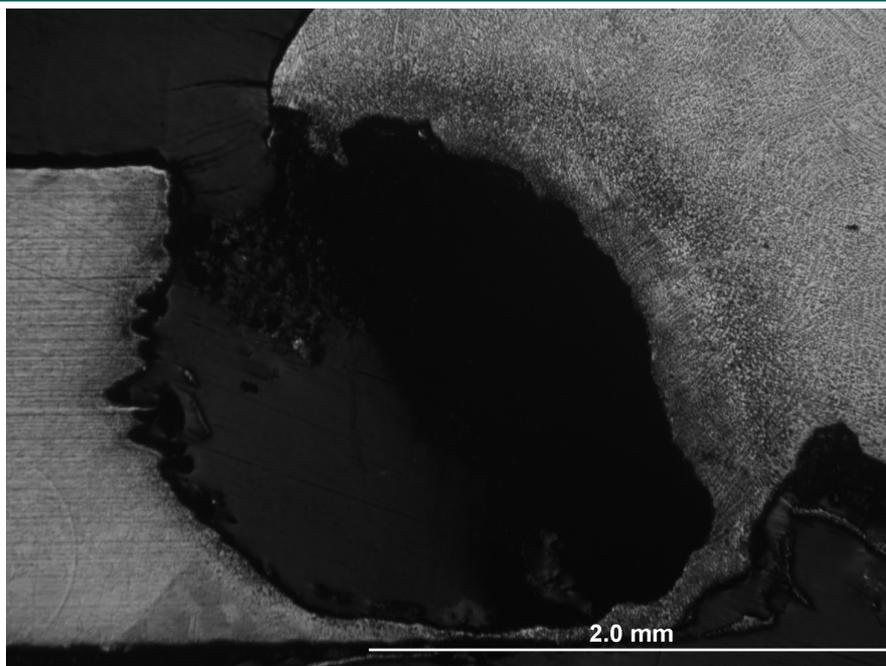
Folie: 24





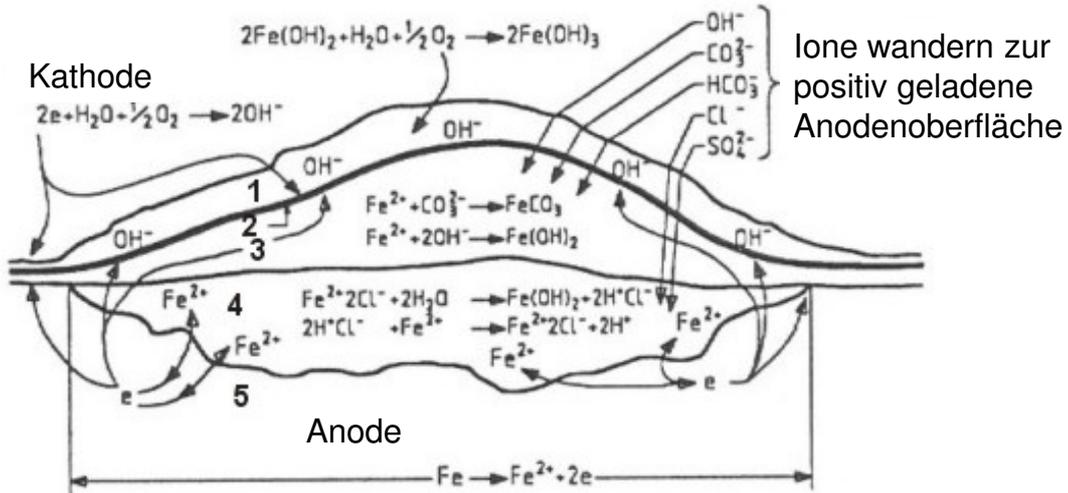
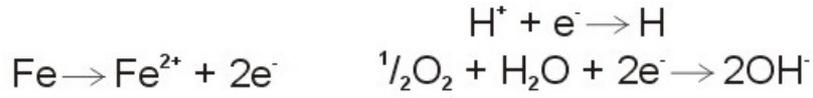
Korrosion von korrosionsbeständigen Stahl induziert durch Kloridionen, mit lokalen Rissen die auf Spannungskorrosion deuten (Cl⁻ haltiges Trinkwasser)

Folie: 27



Korrosion von korrosionsbeständigen Stahl Wasserleitung. Loch entstand neben der Schweißnaht zwischen zwei Druckproben! Druckprobe hatte man mit Cl⁻ haltiges Trinkwasser gemacht und in Zwischenzeit die Leitungen entleert.

Folie: 28



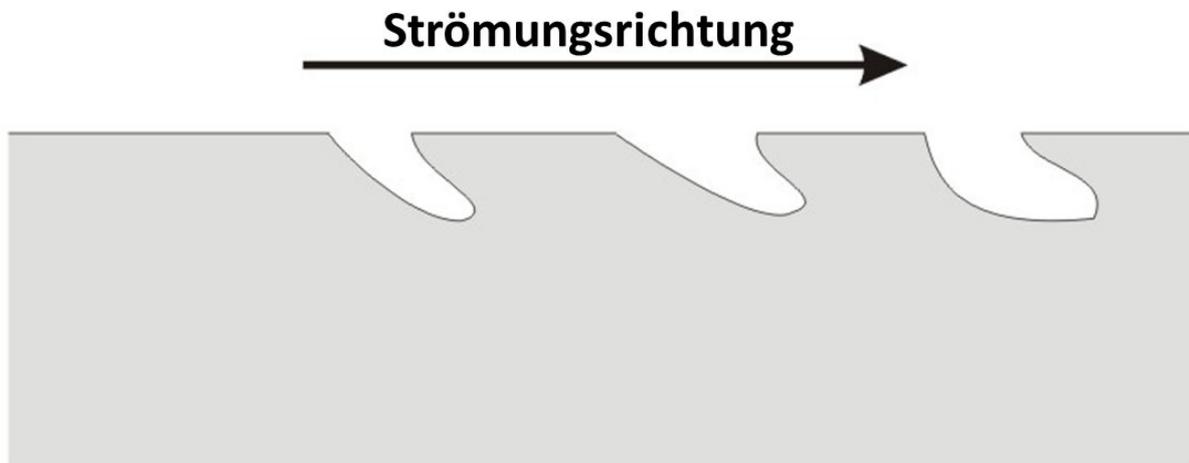
Interkristalline Korrosion einer ferritische korrosionsbeständigen Stahl



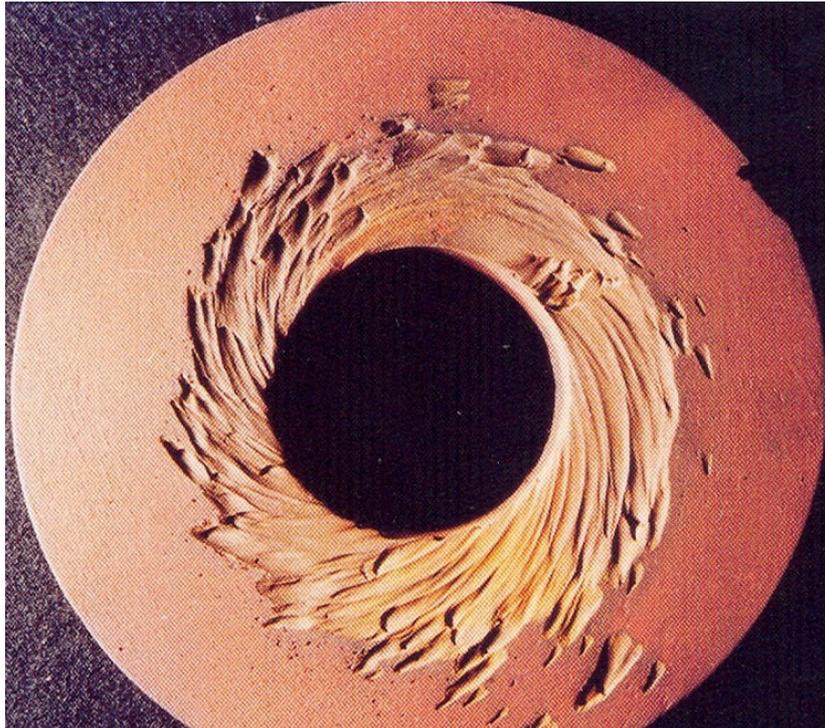
Kleines Zn-haltigen Messing (Cu+Zn) in säurigen Medium
Verminderung der Zn-Gehalt unter die Ablagerung



Gusseisen Trinkwasserleitung
Matrix im Gusseisen wurde ausgelöst Grafit blieb $R_m=0$ MPa



Gesättigte Dampf verursachte Zusammenstoßkorrosion, 2 MPa Druck

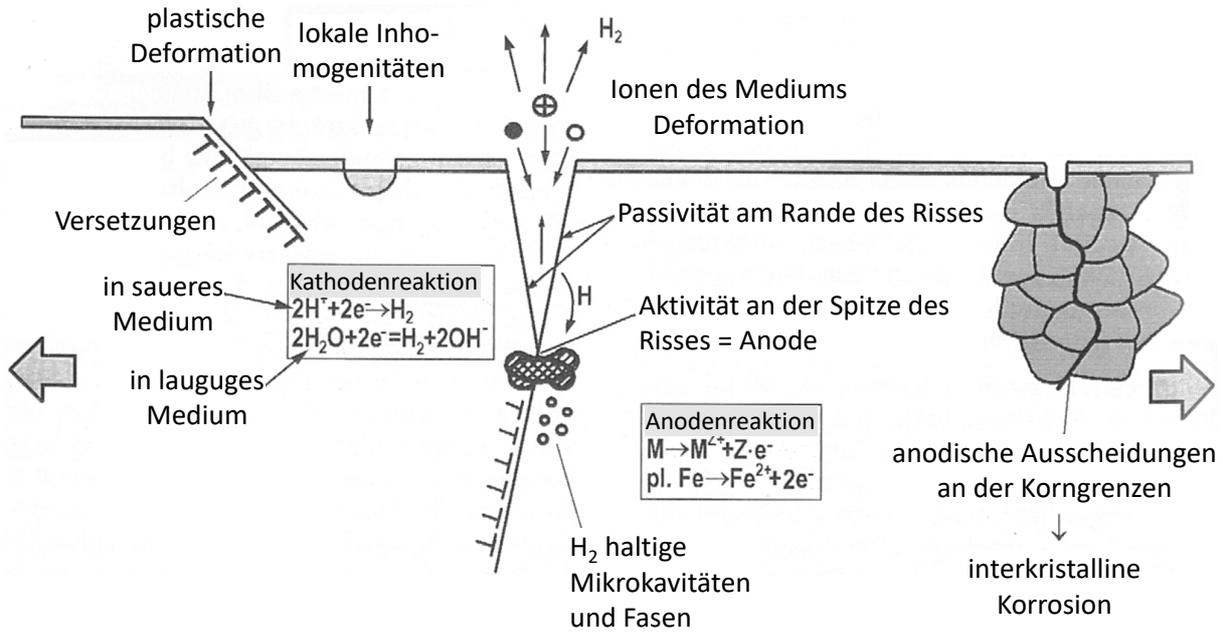


Errosionskorrosion von Karbonstahl nach 4,5 Monaten Betrieb, Kesselwasserpumpe



Kavitationskorrosion von Karbonstahl, durch reduziertes Dampf mit 0,15 MPa Druck

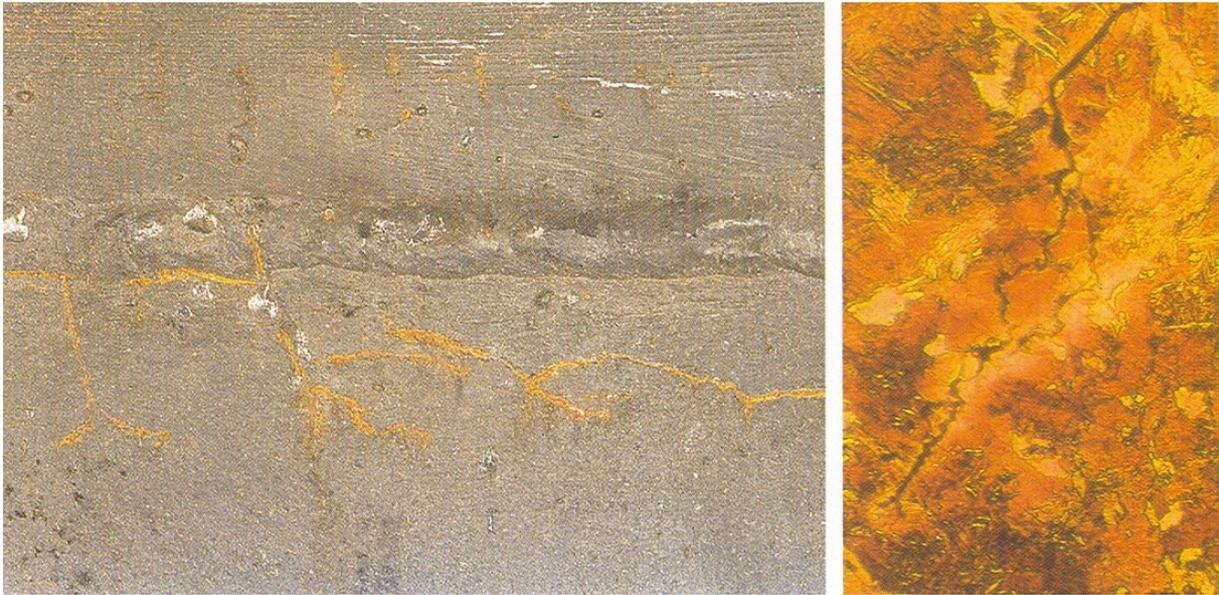
Lokales Durchbrechen der Schutzfilm



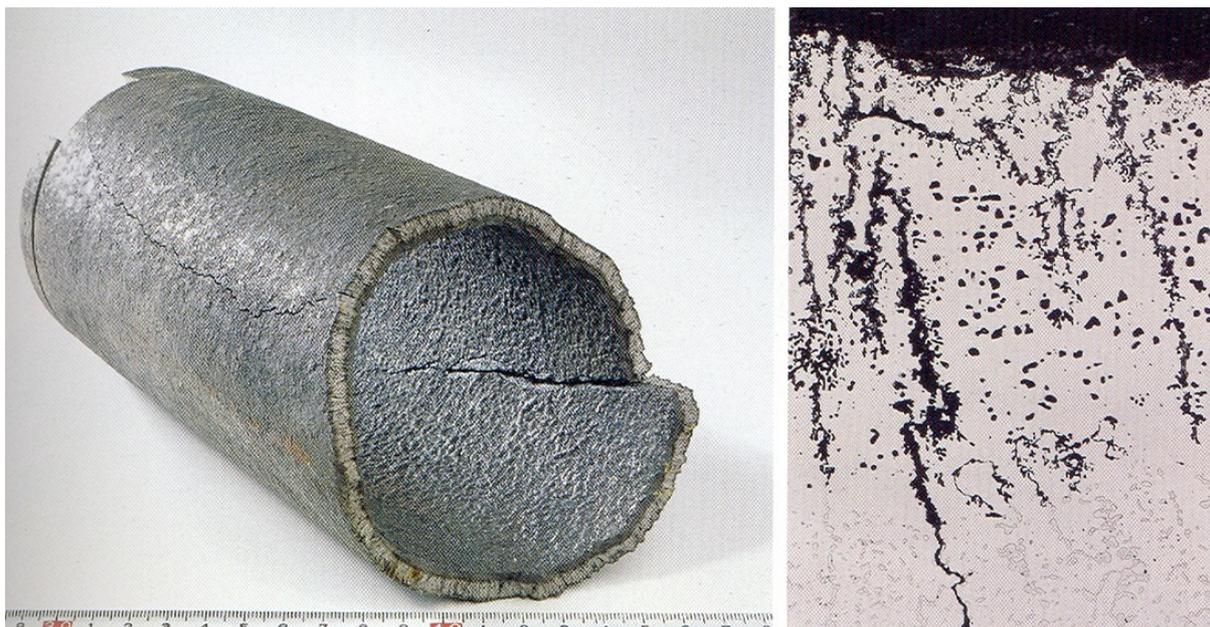
Entstehung der Riss bei Spannungskorrosion, Szteklóv Model



Spannungskorrosionsrisse in der Nähe der Schweißnaht im Karbonstahl nach 15 Jahre Betriebszeit in einer Entgaser



Interkristalline Korrosion von Karbonstahl in Folge Laugen



Hochtemperaturoxidation auf 1000-1050°C im inneren strömte Sauerstoff außen Rauchgas in 4 Jahren 3-5 mm Wanddickenverlust (T66 wärmebeständigen Stahl)



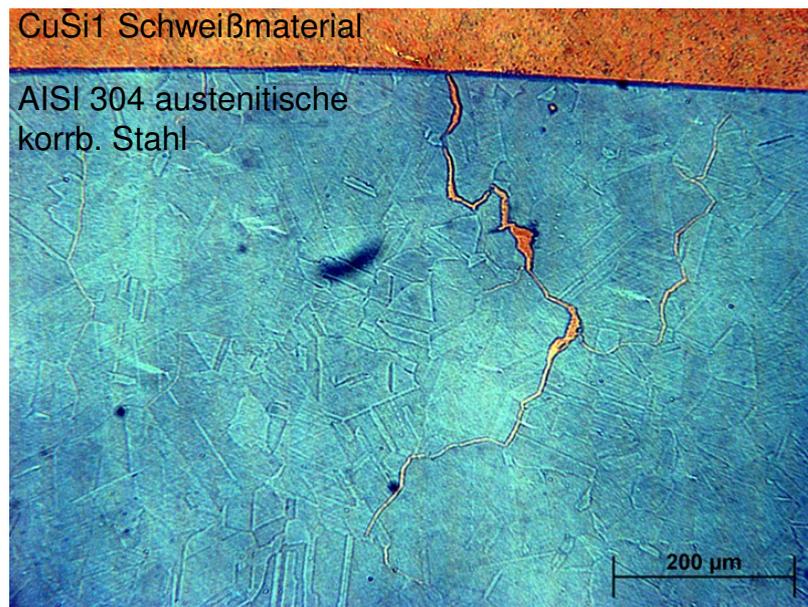
Hochtemperaturkorrosion infolge Wasserstoff
Perlitausscheidung und Mikrorisse im Mikrostruktur (Kohlenstahl)

Folie: 41



Interkristalline Riss im Wärmeeinflusszone der Schweißnaht In den Rissen wurden Kupferausscheidungen detektiert. Infolge der Schweißen dringte Kupfer zwischen die Austenitkörner und verursachte dort Risse.

Folie: 42



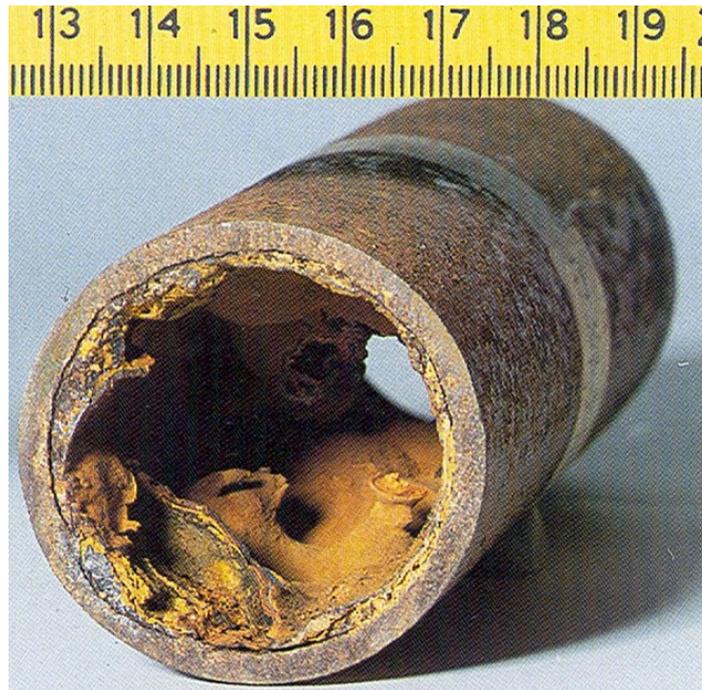
Schweißmaterial löst sich entlang der Korngrenzen in AISI 304 austenitische korrosionsbeständigen Stahl

Folie: 43



Die Wanddicke von der 8,9 mm Dicke ist örtlich auf 0,57 mm gesunken.
Anzahl der aneorobe Bakterien 35 000 daraus sulfatreduzierend 30 000

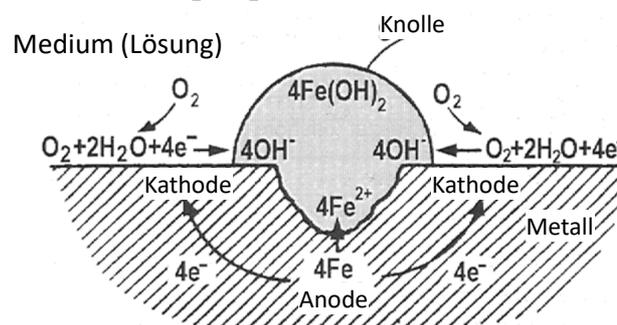
Folie: 44



Mikrobiologische Korrosion von Karbonstahl in Trinkwasser durch sulphatredutierende Bakterien (identifiziertes Korrosionsprodukt)

Bildung differential lüftende Elemente, oder chemische Konzentrationszellen

- Teil unter Bioschicht wird armer an Sauerstoff
- Eisen wird ausgelöst $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
- Gelostes Sauerstoff wird reduziert $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$
- Unlösliche Eisenhydrid wird gebildet $3\text{Fe}^{2+} + 6\text{OH}^- \rightarrow 3\text{Fe}(\text{OH})_2$
- Eisenoxidation wird im Präsenz von Bakterien schneller, es kann $\text{Fe}(\text{OH})_3$ gebildet werden
- Wenn im Medium Chloride auch präsent sind, lokale Säurigen kann vorkommen und sehr aggressive $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ kann gebildet werden.



➤ **Bildung von Sulphiden unter sauerstofffreien Bedingungen**

➤ Anodenreaktion



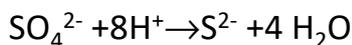
➤ Wasser Dissotiation



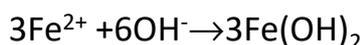
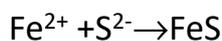
➤ Kathodenreaktion



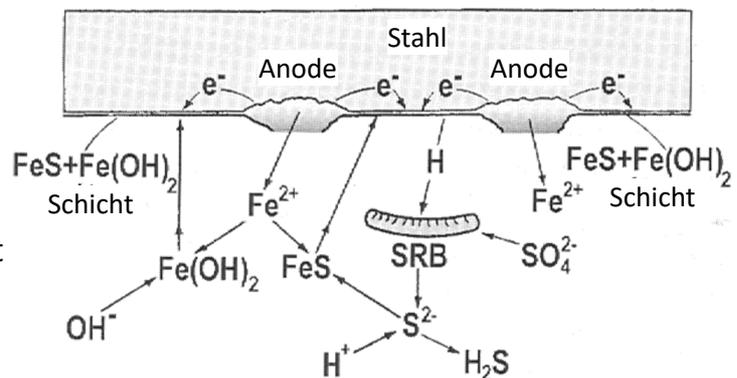
➤ Kathodische Depolarisation mit sulphatreduzierende Bakterien



➤ Bildung der Korrosionsprodukt



➤ **Korrosion verursacht durch Sulphatreduzierende Bakterien**



➤ Bildung von organischen oder anorganischen Säuren als Nebenprodukt der Stoffwechsel (schwefeloxidierende Bakterien können sogar 10%-igen Schwefelsäure herstellen).

➤ Mehr solche Mikroorganismen sind bekannt, die nicht den Metall sondern dessen Schutzschicht zerstören.

➤ Der abgelöste Schutzfilm kann dann als Futter für andere Bakterien dienen, die Säuren produzieren und so Korrosion verursachen.

Korrosionsschutz

Auswahl des entsprechenden Materials ist die kostbarste aber die effektivste Maßnahme gegen Korrosion, wobei sehr viele Faktoren eine Rolle spielen

- Fertigungstechnologie,
- Anwendungsgebiet,
- Typus der Anlage (Pumpe, Wärmeaustauscher, Behälter, Reaktor oder Ofen),
- Formkoeffizienten,
- Zugänglichkeit,
- Preis,
- Sicherheit,
- Umwelt Parameter,
- Wartungspraxis,
- Lebensdauer,
- Vorschriften der zuständigen Behörden.

Korrosionsschutz im Planungsstadium beruht auf die unbedingte Zusammenarbeit der Planer, Materialingenieuren, Betriebstechnologen und Anlagebauer.

Die entsprechende Form, Herstellungsmethode und Ausführungsform kann viel zur Korrosionsbeständigkeit einer Metallkonstruktion beitragen.

Zu vermeiden sind:

- schlecht belüftete, schwer zugängliche Zusammenbauten
- Galvankorrosion-generierende Zusammenbau von mehreren Metallen

Die Beschichtungen können nur nach den technisch vorgeschriebenen Oberflächenbehandlungen aufgetragen werden.

Oberflächenbeschichtung

Auftragen von harten Materialien	Auftragen von Eisen- und Nichteisen-Materialien
chemische Gasphasenabscheidung (CVD) physische Gasphasenabscheidung (PVD) thermisches Spritzbeschichten Plasma Spritzbeschichten Auftragschweißen (Plattieren) Kombinierte Verfahren	chemisches Metallabscheiden elektrochemisches Metallabscheiden Feuer-Metallbeschichtung Emailieren (zománcozás) Phosphatisieren anodische Oxidation Bemahlen

- Mit der entsprechende Technologie die Verwendung von Beschichtungen ist eine sehr effektive Methode der Korrosionsschutz.
- Nach der chemische Eigenschaften können diese organische Schichten (Farben, Kunststoff-Folien), anorganische Beschichtungen (Email zománc) und metallische Beschichtungen sein.
- Die Beschichtungen binden sich meistens mit adhäsiven Kraft auf die Oberfläche und verändern die Eigenschaften der oberen Schichten des Grundmaterials nicht. Dagegen die Oberflächenmodifizierende Korrosionsschutzmethoden verändern die Eigenschaften der oberen Schichten des Grundmaterials und binden sich allgemein mit sehr starken kohesiven Kräften auf die Metalloberfläche.

Oberflächenmodifizierende Verfahren			
Mechanische Verfahren	Thermische Verfahren	Thermochemische Verfahren	Implantierende Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Strahlende Verfahren ➤ Druckplattieren ➤ Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Flammenhärten ➤ Induktionshärten ➤ Laserstrahlhärten ➤ Laserstrahlumschmelzen ➤ Laserstrahllegieren ➤ Elektronenstrahl Verfahren ➤ kombinierte Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aufkohlen ➤ Aufsticken ➤ Karbonitrieren ➤ Borieren ➤ Sulfidieren ➤ Chromieren ➤ Vanadieren ➤ Silizieren ➤ Aluminieren ➤ Oxidieren ➤ kombinierte Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ionenimplantation ➤ Ionenstrahlvermischen

- In 80% allen Fällen wird für Oberflächenschutz Farbe aufgetragen.
- Die Farben bestehen immer aus mehreren Schichten, mindestens eine Grundfarbe mindestens eine Zwischenschicht und ein Deckschicht (Kompatibilität).
- Zusammensetzung: filmbildende Schicht, Pigment, Lösungsmittel (Farben mit Wasserbasis).
- Die Pigmente haben verschiedene Farben, sind feinkörnig, aus natürliche Herkunft, oder synthetisch hergestellt; anorganisch oder organische Verbindungen in Pulverform die in der Lösungsmittel der Farbe nicht löslich sind, also sind im filmbindende Lösung in dispergierten Zustand sind.
- Die Bindungsmaterialien bestehen aus Makromoleküle oder aus organische Verbindungen die sich während Filmbindung in Makromoleküle umwandeln und mit entsprechenden Zusatzmaterialien Umhüllmaterial bilden.

- Die Lösungsmittel sind solche flüchtig (illékony), auf Raumtemperatur flüssige Verbindungen die die Verbindungsmaterial der Farbe in Lösung halten können ohne mit diese in chemische Wechselwirkung zu treten.
- Von der Lösungsmittel müssen wir die Verdüner unterscheiden die nur vor der Anwendung der Farbe ins System gebracht werden um das Auftragen der Farbe zu erleichtern.
- Andere Komponente der Farbe:
 - Weichmacher (lágyító)
 - Setzungshemmer (ülepedésgátlók),
 - Benetzungsmittel (nedvesítőszerek),
 - Fließbarkeitverbesserer (terülésjavítók),
 - Trockner.

- Die Kunststoffpulver sind aus chemischer Sicht Polimere.
- Nach der Aufbau können Kunststoffpulver als disperse Festkörper oder kontinuierliche System deren Konglomerate charakterisiert werden.
- Unter bestimmten Bedingungen (Temperatur und Zeit) auf die Oberfläche aufgebrauchte Pulverteilchen haften aneinander und bilden ein zusammenhängende Schicht.
- Beschichtungsbildung kann durch eine Lösungsmittel-Einwirkung auf die Pulver auch erreicht werden.
- Verschiedene Kunststoffteilchen können aufgetragen werden: im Pulverform mit Spritzen, mit Flammenspritzen, mit Sintern, mit Gusstechnologie und als Aufbau von Blech oder Fliesen- (Csempe) Beschichtung.

- Allgemein die auf Temperatur weichende Kunststoffe (Thermoplaste) können bis 100°C verwendet werden, die auf Temperatur härtende Kunststoffe (Duroplaste) können bis 140°C verwendet werden (mit einiger Ausnahmen siehe z.B. Teflon).
- Für Kunststoffbeschichtungen werden allgemein Thermoplaste z.B. auf Kaprolaktambasis wie Poliamid 6 Typ Materialien oder auf Diamin und Dikarbonsäurebasis Poliamid 6,6 Typ und Poliamid 11 Typ Materialien benutzt.
- Tetrafluoretilen (Teflon) Beschichtung ist chemikalienbeständig, verschleißfest und wärmebeständig. Gute elektrische Isolator. Kann zwischen 150-200°C verwendet werden. Auf 400°C schmilzt während ersetzen, aber brennt nicht.

- Wir nennen Email (zománc) solche anorganische Beschichtungen, welche grundsätzlich glasartig sind, und die Bindung wird über 425°C gebildet.
- Die Sprödeheit von der Glasartigkeit der Beschichtung wird mit entsprechenden Konstruktion und mit kleineren Schichtdicken kompensiert.
- Im Fall von herkömmliche Emailtechnologie wird erstens auf die Metalloberfläche ein Grundemailschicht aufgebrannt und darauf kommt die Deckemailschicht.
- Im letzten Jahrzehnten wurde eine Direktemail Technologie entwickelt worden.

- Wichtigste Bestandteil der Emailen ist die von Metakovasäure (aus H_2SiO_3) mit Wasserverlust entstehende Orthokovasäure (SiO_2) was als Netzbilder genannt wird. Es besteht in kristallinen form aus $[\text{SiO}_4]$ -Tetraedern im Glaszustand aus ungeordnete Vernetzung von $[\text{SiO}_4]$ -Tetraedern.
- In Emailen ist das SiO_2 Gehalt zwischen 40-50%. Bei kleineren Mengen wird kein Glaszustand gebildet, die Vernetzung hat Risse.
- Ähnlich zur SiO_2 sind B_2O_3 und P_2O_5 Vernetzung bildende Bestandteile.
- Einen Teil der Emailbestandteil-Materialien z.B. Quarz, Kaolin, Feldspat und andere Mineralen erhöhen die Schmelztemperatur, andere Teile erleichtern das Schmelzen: Soda, Fluoride, Flußspat Borax, Titandioxid.
- Emailen beinhalten immer modifizierende Matereialien, die in ersten Linie die Schmelzpunkt, Wärmeausdehnung, und Elastizität der Email beeinflussen. Die sind Seltenerden und Alkalierden-Oxide.

- Zur Emailen benutzt man Emailfritte mit bestimmten Zusammensetzung. Fritte wird mit der Mischung der aufgelisteten Materialien und mit der Schmelzen im Glasschmelzofen, rasches Abkühlen und Zermahlen auf entsprechende Größe hergestellt.
- Emailen werden gewöhnlich im Kugelmühle nass oder trocken zermahlt.
- Zur Emailverfahren, sowie für alle Beschichtungen die Oberfläche muss vorbereitet werden:
 - Entfetten
 - Beizbehandlung (Pácolás)
 - Abscheiden einer Ni-Schicht (Direkemailen)
 - Auftragen der Emailschrift Schicht (Eintauchen, Spritzen, elektrostatische Methode, mit Vakuum, elektroforetische Technik)
 - Einbrennen der nassen Emailschrift (kontinuierliches Aufwärmen, Troknen, Einbrennen)

- Metallbeschichtungen können mit thermischen, chemischen oder mit elektrochemischen Verfahren.
- Die **thermische Metallbeschichtungsverfahren** werden in **Thermo-diffusions-** und **thermo-mechanischen** Verfahren gruppiert.
- Die Thermo-diffusionsverfahren beruhen alle auf die Diffusionsvorgänge, und diese Bedingung bestimmt auch die Eigenschaften der so hergestellten Metallschichten.
- Die **Thermo-diffusionsverfahren** können folgenderweise unterteilt werden:
 - Metallbeschichtung im festen Medium: **Einbetten im Metallpulver**
 - Metallbeschichtung im flüssigen Medium: **Eintauchen in Metallschmelze, Raufschmelzen**
 - Metallbeschichtung im Gasmedium: **Diffusionsbehandlung und Thermo-Reduktion**
 - Die **thermo-mechanischen** Verfahren können folgenderweise unterteilt werden:
 - Metallbeschichtung mit **Metallspritzen**,
 - Metallbeschichtung mit **Vakuumverdampfen**
 - Metallbeschichtung mit Kathoden Zerstreuerung,
 - Metallbeschichtung mit **Plattieren**.

Auf **chemischen Weg** kann man nach zwei Methoden Metallschichten erzeugen: mit **Ionenaustausch** und **chemische Reduktion**.

- In beiden Fällen wird der zu beschichtende Gegenstand in eine Lösung mit der Ionen der Beschichtungsmetall getaucht und ohne die Verwendung äußere Stromquelle wird Metall abgeschieden.
- Wenn ein Metall in einer Metallsalzlösung getaucht wird was nach der elektrochemischen potentialreihe positiver ist, dann wird das eingetauchtes Metall sich Lösen während von der Lösung die Metallionen mit positivere Elektronenpotential ihre Ladung verlieren und sich auf die Metalloberfläche abscheiden (z.B. Beschichtung von Eisen mit Kupfer).

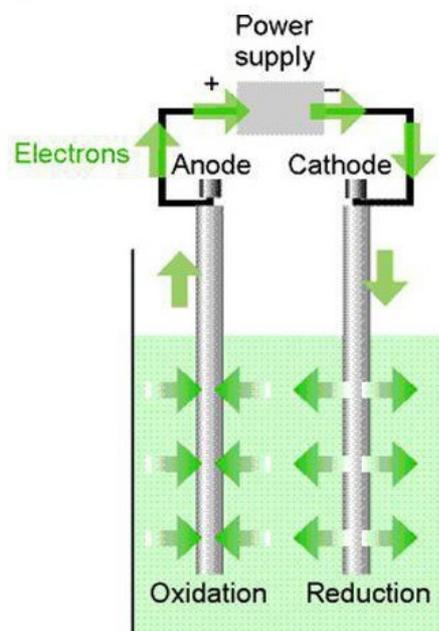
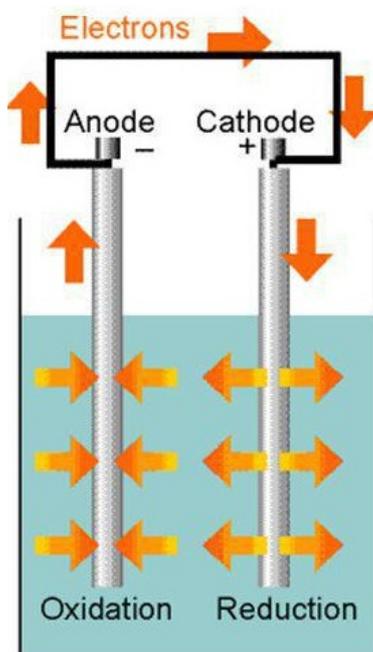
Anwendungsmöglichkeiten der **Metallabscheidung mit Ionenaustausch:**

- auf Eisen und Stahloberflächen Cu, Sn, Ni,
 - auf Kupfer und Messingoberflächen Ag, Sn, Au, Ni,
 - auf Aluminiumoberflächen Cu, Cd und Ni
 Beschichtungen können erzeugt werden.

- Mit Ionenaustauschmethode erzeugte Beschichtungen dienen in ersten Linie ästhetische Zwecke, oder als Vorbehandlung für Bindungsverbesserung (z.B. Vernickeln vor Direktmailen). Ihre mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit ist gering.

Galvanzelle: spontane Reaktion findet statt, elektrische Strom wird hergestellt.

Elektrolyse: durch äußere elektrische Stromzufuhr wird der Vorgang Erzwungen,



- Beim **chemischen Reduktionsverfahren** die Lösung beinhaltet neben der Salz der Metallbeschichtung auch Reduktionsmittel was oxidiert wird und so Elektronen abgibt.
- Mit chemischen Methoden können allgemein gut haftende, dichte Schichten erzeugt werden, obwohl die Qualität des Schicht hängt sehr von der Qualität des zu beschichtendes Metalls und die Technologieparameter.

Die Vorgänge beim **galvanischen Metallbeschichtung** beruhen auf die Gesetzmäßigkeiten der Elektrolyse.

- Mengenzusammenhänge auf der Elektrode umwandelte Material werden vom Faraday-Gesetz beschrieben.
- I. Faraday-Gesetz sagt, dass beim Elektrolyse entstehende oder umwandelnde Materialmenge ist proportional mit der Ladungsmenge die durch der Elektrolyt geht.
- II. Faraday-Gesetz sagt, dass beim gleichen Strom abgeschiedene oder umgewandelte Materialmengen stehen in einer Proportionalität miteinander wie deren chemische Gleichwertmassen. Zur Abscheidung eines Materials mit 1g Gleichwertsmasse ist 96 500 C (26,8 Ah) nötig.
- Von Galvanisierungsmethoden sind nennenswert; Verkupferung, Vernickeln, Verchromen, Verzinken, Verzinnung, Kadmiumbeschichten Abscheiden von verschiedenen Edelmetallen, und Herstellung von Legierungsbeschichtungen.

Änderung der physischen und chemischen Eigenschaften der Umgebung

- Meist benutzte Änderungen sind die Sauerstoffentfernung vom System und / oder Erhöhung der pH, oder Verwendung von Inhibitoren. In vielen Fällen werden diese Methoden mit Temperaturregelung, mit der Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit, oder mit der Detektion der Kriechströme ergänzt.
- Die Inhibitoren verändern den Kinetik der elektrochemischen Vorgänge die grundlegend die Korrosion bestimmen. Die Inhibitoren können gruppiert werden ob die die anodische, kathodische oder beide Prozess Hemmen.
- Die kathodische Inhibitoren blokieren das Metall damit verhindern die Wasserstoffabtrennen.
- Die anodische Inhibitoren hemmen die Lösung des Metalls, es wird oft mit Film- und Komplexbildung verwirklicht (z.B. Kromate Nitride).

Folie: 67

Veränderung der Mechanismus der Reaktionen

- Es ist besonders bei elektrochemischen Reaktionen gewöhnlich einzugreifen, mit kathodischen Schutz oder mit anodischem Schutz (z.B. im Fall von korrosionsbeständigen Stählen).
- Im Fall von kathodischen Schutz das Metall wird auf ein äußere Stromquelle geschaltet, oder wird mit einer Metall verbunden was edler ist, und dann wird das edlere Metall korrodieren. Letztere Methode wird als Galvan-anodische Schutz bezeichnet. Anode kann Al, Mg oder Zn sein.
- Im Fall von anodischen Schutz mit einer Potentiostat wird das Metall im passiven Bereich gebracht.

Folie: 68

Veränderung der Herstellungstechnologie

- Für die ganze Produktion mit umfassenden Eingriff (Anlauf, Prozessabstellung) und mit kontinuierlichen Überwachung der Korrosionsgrad (Monitoring) und mit Wartung in bestimmten Zeiträumen kann die vom Korrosionssichtpunkt sichere Zustand der Produktionsanlage für lange Zeit erhalten bleiben.
- Korrosionsschutz beginnt mit wohldurchdachte Materialauswahl, und setzt sich mit vorsehbare Ausführung fort, mit der Verhinderung der Eindringen von Korrosionsagenten und schließlich die Monitoring endet nicht bis der Konstruktion im Betrieb bleibt.

Danke für die Aufmerksamkeit!