

# Moderner Korrosionsschutz für Stahlbauten – ein Überblick in Theorie und Praxis

Ing. Stefan Kobor  
Verkaufsleitung Österreich/Schweiz/Slowenien

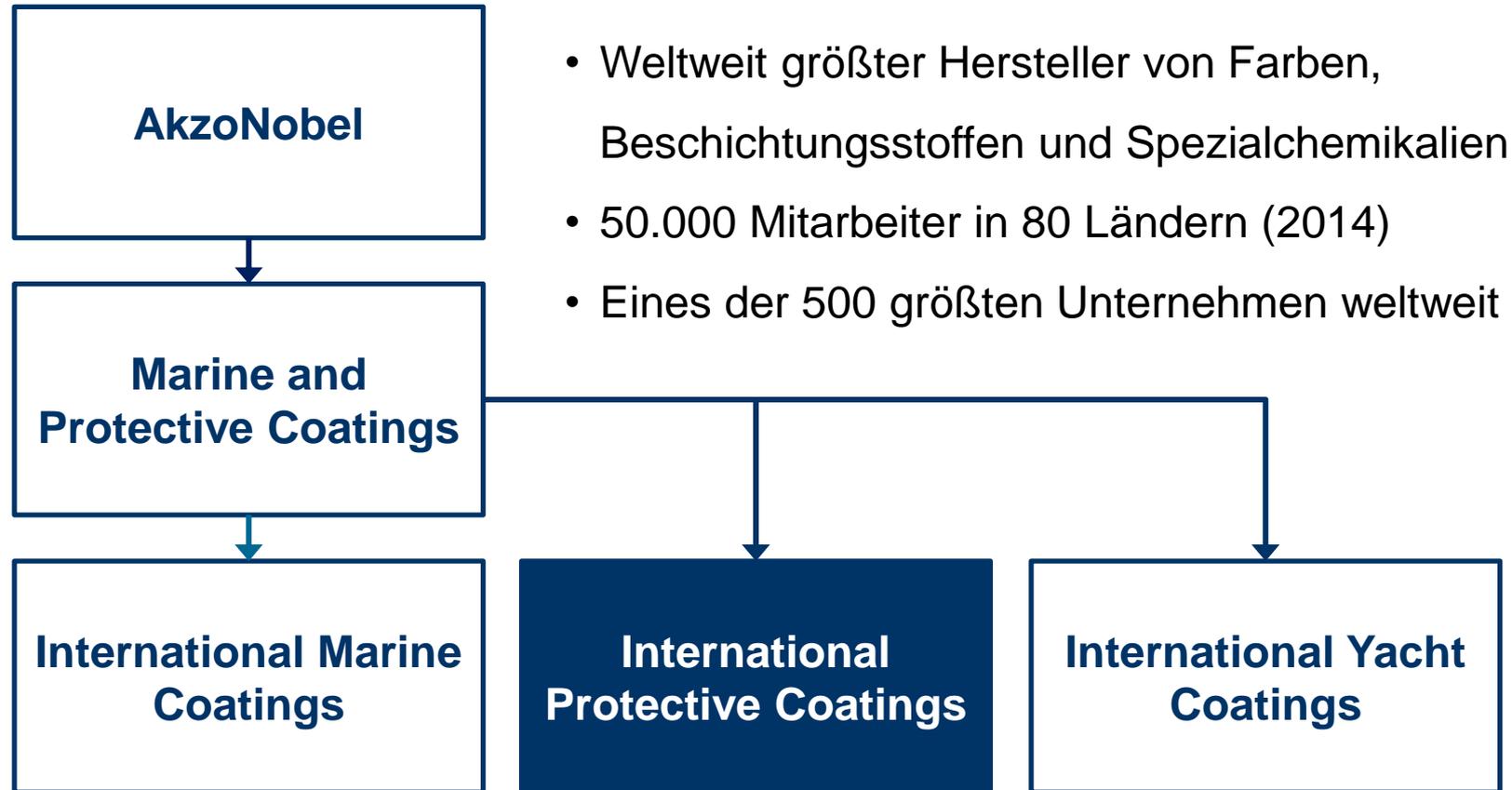


## Agenda

- Vorstellung International
- Was ist Korrosion?
- Was ist Korrosionsschutz?
- Beschichtungsstoffe und Bindemittel
- EN ISO 12944
- Spezifikationen mit Negativbeispiele
- Korrosionsschutz bei hohen Temperaturen
- Auswirkung fehlerhafter Arbeiten und Projekte



## Akzo Nobel und International Farbenwerke



## Akzo Nobel und Tochter International

- 46 Niederlassungen auf 6 Kontinenten
- 21 Produktionsstätten weltweit
- Mehr als 5.100 Mitarbeiter (2014)
- [www.international-pc.com](http://www.international-pc.com)

### International in Österreich

- Zentrale: Akzo Nobel Coatings GmbH, Elixhausen
- Zentrallager: Bergheim/Salzburg  
Lager und Farbanpassung über Chromascan-System
- Außendienst: Mitarbeiter für Verkauf und Fachberatung in der Region.
- Technik: Regional ansässige Anwendungstechniker, FROSIO- und NACE-Inspektoren.

Produktionsstätten



## International Farbenwerke: Märkte

- **Infrastruktur**



- **Bergbau und Mineralien**



- **Öl, Gas und Chemie**



## International Farbenwerke: Märkte

- Energie



- Wasser und Schmutzwasser



## Akzo Nobel: weltweites Markenportfolio



## Eine Auswahl an Referenzkunden

---

- ANDRITZ , Graz
- FLOWSERVE , Brunn/Gebirge
- HASLINGER Stahlbau, Feldkirchen
- UNGER STAHLBAU, OBERWART
- VOITH SIEMENS , St.Pölten
- SHELL, Wien
- BP, Wien
- OMV, Schwechat
- VOEST, Linz
- ZEMAN, Wien
- WAAGNER BIRO, Wien

# Was ist Korrosion?

Eisen (Fe)  
Sauerstoff (O<sub>2</sub>)  
Wasser (H<sub>2</sub>O)  
ggf. Salze (z.B. NaCl)



Beständiges Gemisch aus  
Eisen(II)-oxid (FeO),  
Eisen(III)-oxid (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), und  
Kristallwasser



Eduardo Chillida, Berlin (1999)

# Korrosion

## Stahl ist immer bestrebt zu korrodieren

AkzoNobel

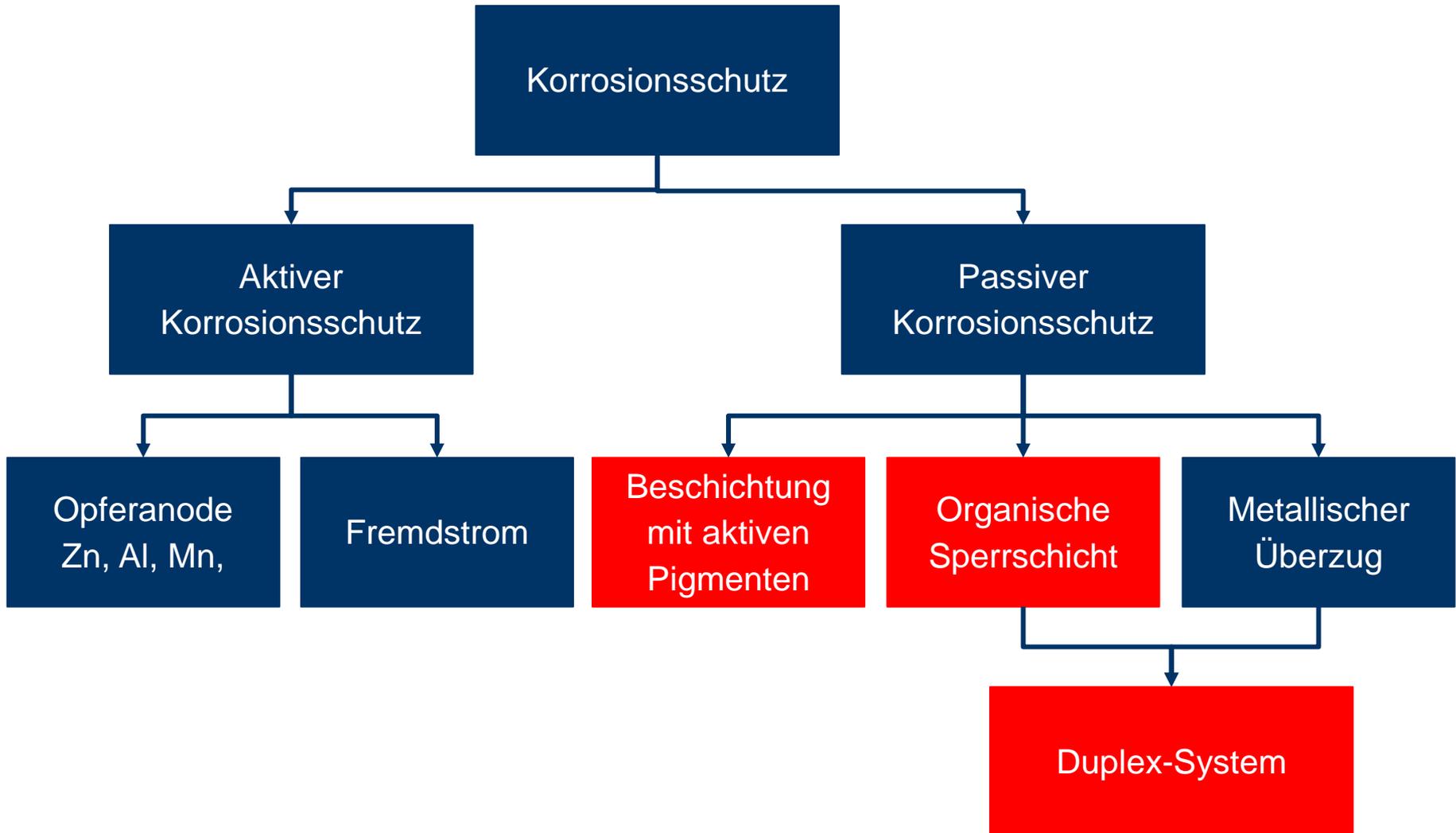


## Was fördert die Korrosion?

---

- **Hohe Luftfeuchtigkeit**
- **Hohe Temperaturen**  
Faustformel: eine Erhöhung der Temperatur um 10°C bewirkt eine Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit
- **Geringer pH-Wert** (Säure fördert Korrosion, Alkalität mindert sie)
- **Hohe Salzkonzentrationen** = hoher Elektrolytgehalt
- **Fremdkathoden** (Mischbauweise) z.B. Edelstahl

# Was ist Korrosionsschutz?



## Anforderungen an den Korrosionsschutz

---

- Erfüllung nationaler und internationaler Normen
- Erfüllung von Kundenspezifikationen
- Erfüllung definierter Qualitätsstandards
- Erfüllung ökologischer Vorgaben
- Erfüllung der Vorgaben zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz
- Wirtschaftlichkeit in Bezug auf Verarbeitung, Lebensdauer, Instandhaltung und Entsorgung

## Maßnahmen beim Korrosionsschutz

---

- Planung des Korrosionsschutzes
- Ausführung des Korrosionsschutzes
- Überwachung von Korrosionsschutzarbeiten

## Auswahl des Korrosionsschutzsystems

---

- Wo steht das zu schützende Bauwerk?  
Im Waldviertel oder mitten im Industriegebiet?  
Ganz oder teilweise im Wasser, oder im Erdreich?
- Welchen Belastungen ist das Bauwerk ausgesetzt?  
Hierzu zählen z.B. hohe Feuchte, Industrieabgase, Salze (z.B. durch Winterdienst auf Brücken), Spritzwasser (z.B. Hafenanlagen mit Wellenschlag)
- Welche Nutzungsdauer ist für das Bauwerk vorgesehen?  
2, 5 oder 40 Jahre ?
- Wie soll das Bauwerk aussehen?  
Ist der optische Eindruck eher nachrangig oder soll es farblich attraktiv gestaltet werden?

## Auswahl des Korrosionsschutzsystems

- **Palmenhaus Schönbrunn**
- Erbaut 1881
- Saniert 1994
- Saniert 2015
- Fläche 7.000 m<sup>2</sup>

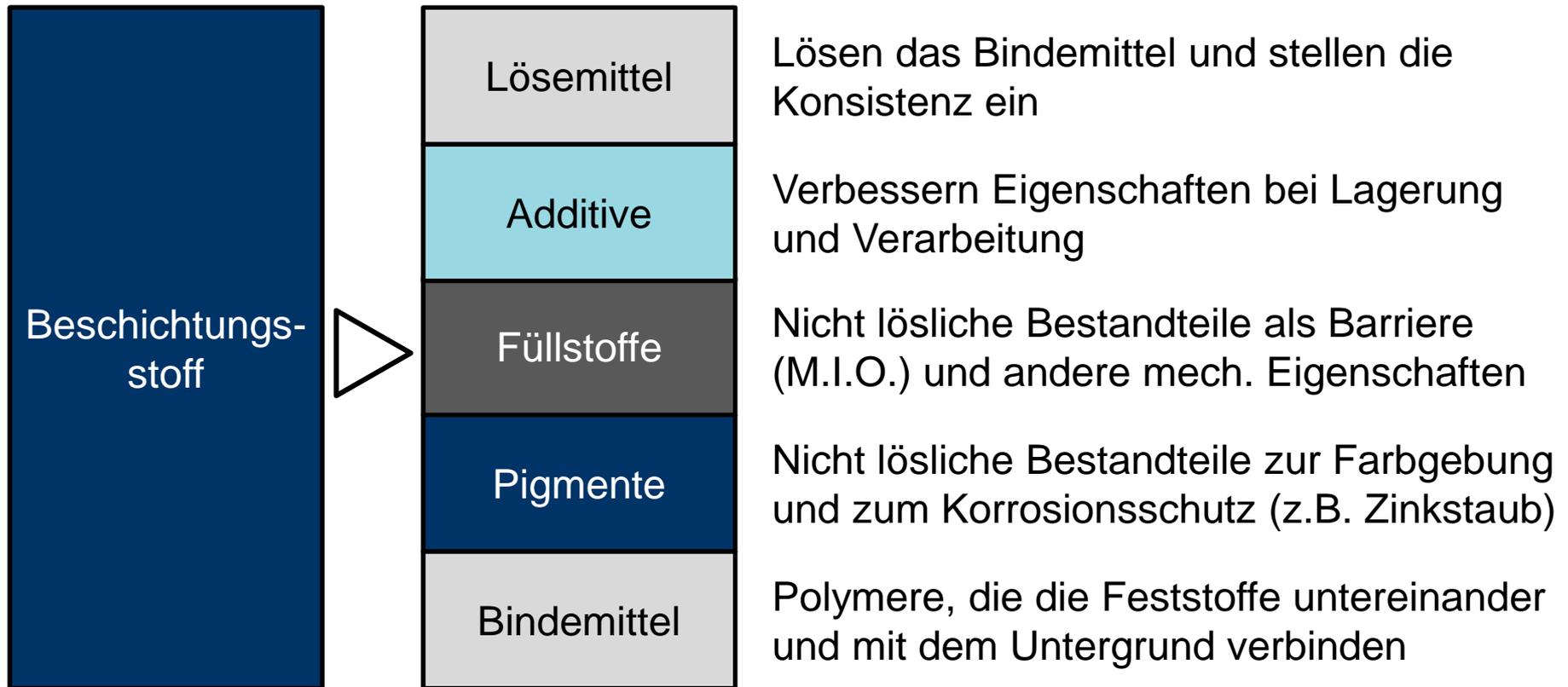


## Auswahl des Korrosionsschutzsystems

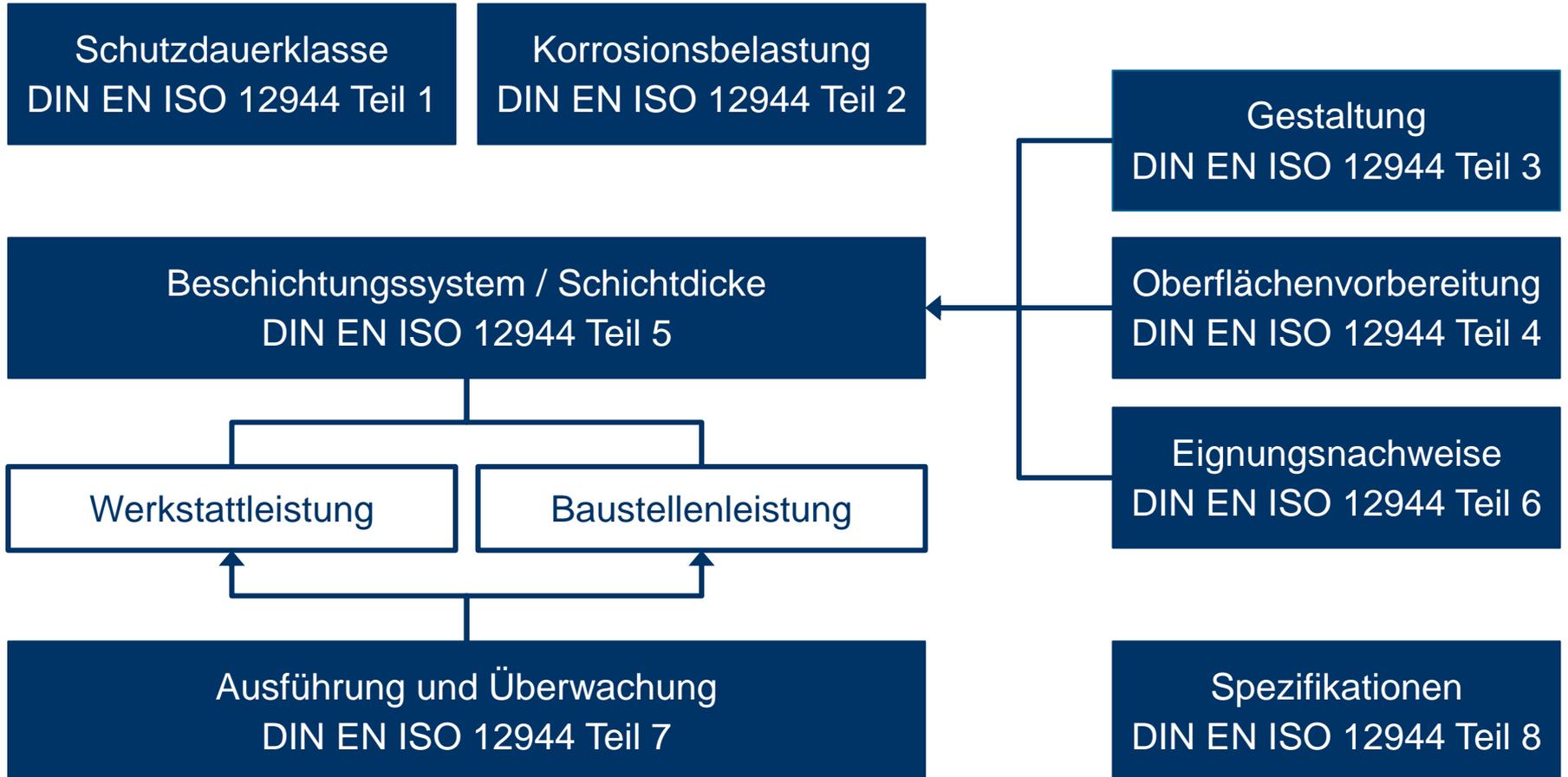
- **Druckrohrleitung Schweiz** – lösemittelfreies Beschichtungssystem
- Fläche 10.000 m<sup>2</sup>
- Standzeit bis 40 Jahre



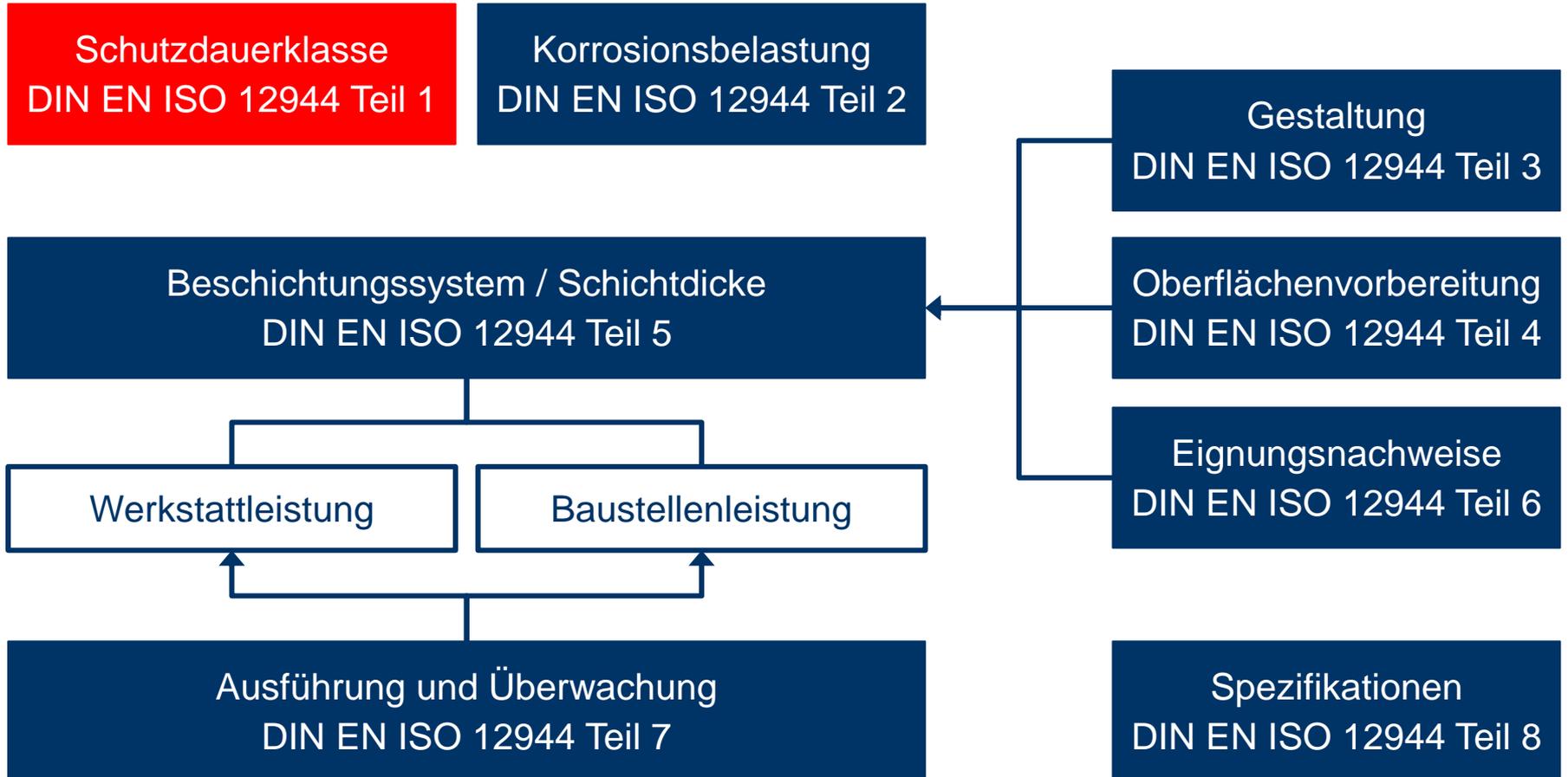
## Beschichtungsstoffe – Aufbau



## Das Regelwerk: EN ISO 12944



## Das Regelwerk: Die DIN EN ISO 12944



## DIN EN ISO 12944: Schutzdauerklassen

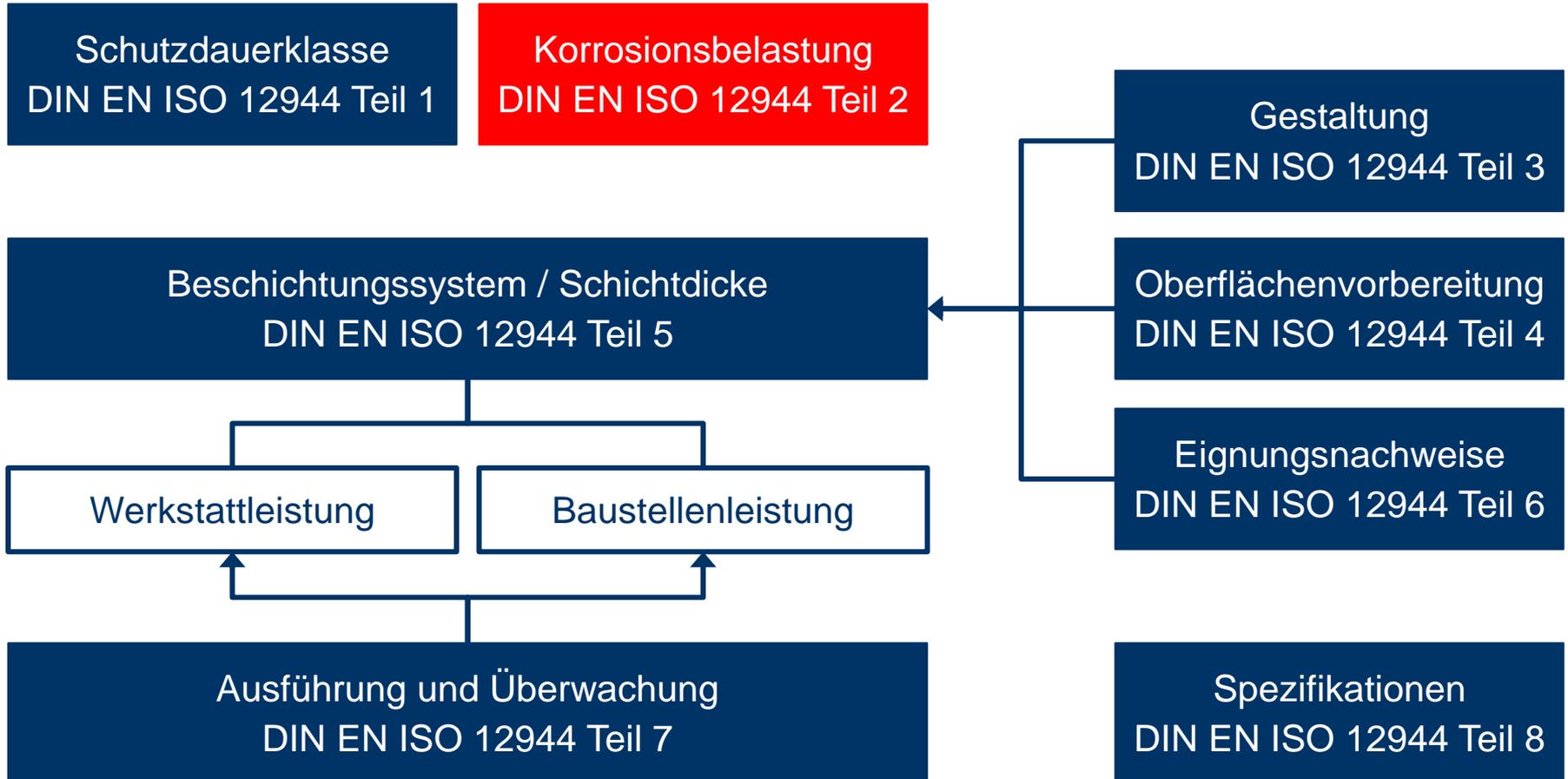
**4.4** Das Maß der Schädigung der Beschichtung vor der ersten Instandsetzungsmaßnahme ist zwischen den Vertragspartnern zu vereinbaren\*). Beschichtungsschäden sind entsprechend ISO 4628-1 bis ISO 4628-5 zu bewerten, falls nicht anders zwischen den Vertragspartnern vereinbart.

Nach dieser Norm werden bezüglich der Schutzdauer 3 Zeitspannen unterschieden:

kurz	2 bis 5 Jahre
mittel	5 bis 15 Jahre
lang	über 15 Jahre

**Die Schutzdauer ist keine "Gewährleistungszeit". Die Schutzdauer ist ein technischer Begriff, der dem Auftraggeber helfen kann, ein Instandsetzungsprogramm festzulegen. Die Gewährleistungszeit ist ein juristischer Begriff, der Gegenstand von Vertragsbedingungen ist. Die Gewährleistungszeit ist im allgemeinen kürzer als die Schutzdauer. Es gibt keine Regeln, die beide Begriffe miteinander verbinden.**

## Das Regelwerk: Die DIN EN ISO 12944



## DIN EN ISO 12944: Korrosionsbelastung

### 5 Einteilung der Umgebungsbedingungen

#### 5.1 Korrosivitätskategorien für atmosphärische Umgebungsbedingungen

5.1.1 Für die Zwecke von ISO 12944 werden atmosphärische Umgebungsbedingungen in sechs Korrosivitätskategorien eingeteilt:

C1	unbedeutend
C2	gering
C3	mäßig
C4	stark
C5-I	sehr stark (Industrie)
C5-M	sehr stark (Meer)

5.1.2 Um die Korrosivitätskategorie zu bestimmen, wird eine Auslagerung von Standardproben dringend empfohlen. In Tabelle 1 werden die Korrosivitätskategorien auf der Grundlage von Massenverlusten oder Dickenabnahmen solcher Standardproben aus niedriglegiertem Stahl und/oder Zink nach dem ersten Jahr der Auslagerung definiert. Bezüglich weiterer Angaben über Standardproben und deren Behandlung vor und nach der Auslagerung siehe ISO 9226. Es ist nicht zulässig (und bringt auch keine verlässlichen Ergebnisse), den Massenverlust von einer kürzeren Zeitspanne auf ein Jahr hochzurechnen oder ihn von längeren Zeitspannen zurückzurechnen. Die für Standardproben aus Stahl und Zink erhaltenen Massenverluste bzw. Dickenabnahmen können zu unterschiedlichen Korrosivitätskategorien führen. In solchen Fällen ist die höhere Korrosivitätskategorie anzunehmen.

# DIN EN ISO 12944: Korrosionsbelastung

## 5.2 Kategorien für Wasser und Erdreich

Die Korrosion von Bauten, die sich in Wasser oder im Erdreich befinden, hat im allgemeinen örtlichen Charakter. Korrosivitätskategorien können daher nur schwer definiert werden. Dennoch werden für die Zwecke dieser Internationalen Norm verschiedene Umgebungen beschrieben. In Tabelle 2 werden drei unterschiedliche Kategorien aufgeführt und bezeichnet. Wegen weiterer Einzelheiten siehe 4.2.

ANMERKUNG: In vielen Fällen wird kathodischer Korrosionsschutz angewendet, was zu beachten ist.

**Tabelle 2: Kategorien für Wasser und Erdreich**

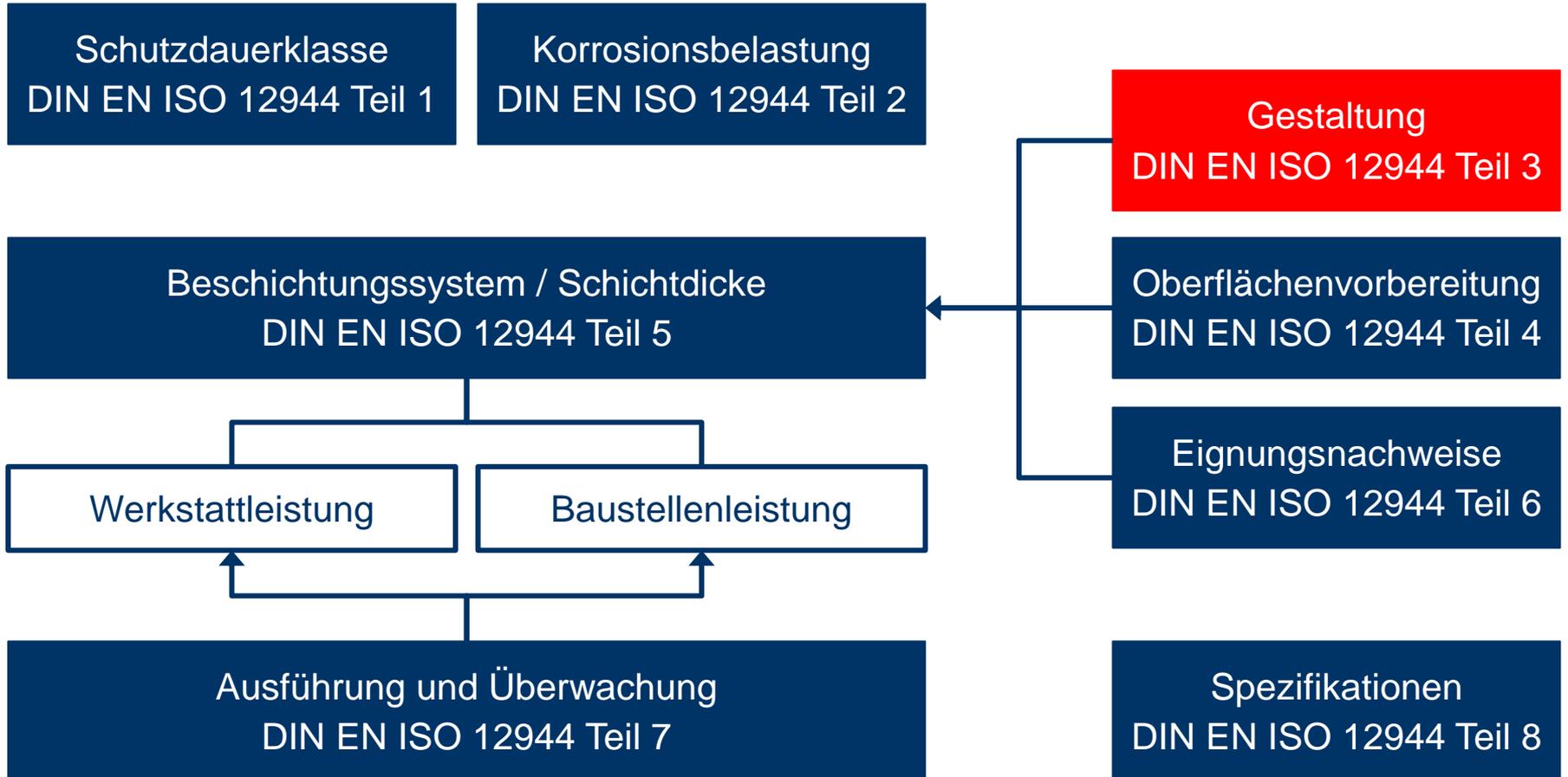
Kategorie	Umgebung	Beispiele für Umgebungen und Stahlbauten
Im1	Süßwasser	Flußbauten, Wasserkraftwerke
Im2	Meer- oder Brackwasser	Hafenbereiche mit Stahlbauten wie Schleusentore, Staustufen, Molen; Offshore-Anlagen.
Im3	Erdreich	Behälter im Erdreich, Stahlspundwände, Stahlrohre

# Warum Korrosionsschutz?

Korrosivitäts- kategorie	Flächenbezogener Massenverlust/Dickenabnahme (nach dem ersten Jahr der Auslagerung)				Beispiele für typische Umgebungen in einem gemäßigtem Klima (nur zur Information)	
	Unlegierter Stahl		Zink		außen	innen
	Massenverlust g/m <sup>2</sup>	Abnahme Dicke µm	Massenverlust g/m <sup>2</sup>	Abnahme Dicke µm		
C1 unbedeutend	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1		geheizte Gebäude mit neutralen Atmosphären, z.B. Büros, Läden, Schulen, Hotels.
C2 gering	> 10 bis 200	> 1,3 bis 25	> 0,7 bis 5	> 0,1 bis 0,7	Atmosphären mit geringer Verunreinigungen. Meistens ländliche Bereiche.	Ungeheizte Gebäude, wo Kondensation auftreten kann, z.B. Lager, Sporthallen.
C3 mäßig	> 200 bis 400	> 25 bis 50	> 5 bis 15	> 0,7 bis 2,1	Stadt- und Industrielatmosphäre, mäßige Verunreinigungen durch Schwefeldioxid. Küstenbereiche mit geringer Salzbelastung	Produktionsräume mit hoher Feuchte und etwas Luftverunreinigung, z.B. Anlagen zur Lebensmittelherstellung, Wäschereien, Brauereien, Molkereien.
C4 stark	> 400 bis 650	> 50 bis 80	> 15 bis 30	> 2,1 bis 4,2	Industrielle Bereiche und Küstenbereiche mit mäßiger Salzbelastung	Chemieanlagen, Schwimmbäder, Bootsschuppen über Meerwasser.
C5-I sehr stark (Industrie)	> 650 bis 1.500	> 80 bis 200	> 30 bis 60	> 4,2 bis 8,4	Industrielle Bereiche mit hoher Feuchte und aggressiver Atmosphäre.	Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung.
C5-M sehr stark (Meer)	> 650 bis 1.500	> 80 bis 200	> 30 bis 60	> 4,2 bis 8,4	Küsten- und Offshorebereiche mit hoher Salzbelastung.	Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung.

Anmerkung: In Küstenbereichen mit warmfeuchtem Klima können die Massenverluste oder Dickenabnahmen die Grenzen der Kategorie C5-M überschreiten. Beschichtungssysteme für Bauten in solchen Bereichen sind deshalb besonders sorgfältig auszuwählen.

## Das Regelwerk: Die DIN EN ISO 12944



## Das Regelwerk: Die DIN EN ISO 12944

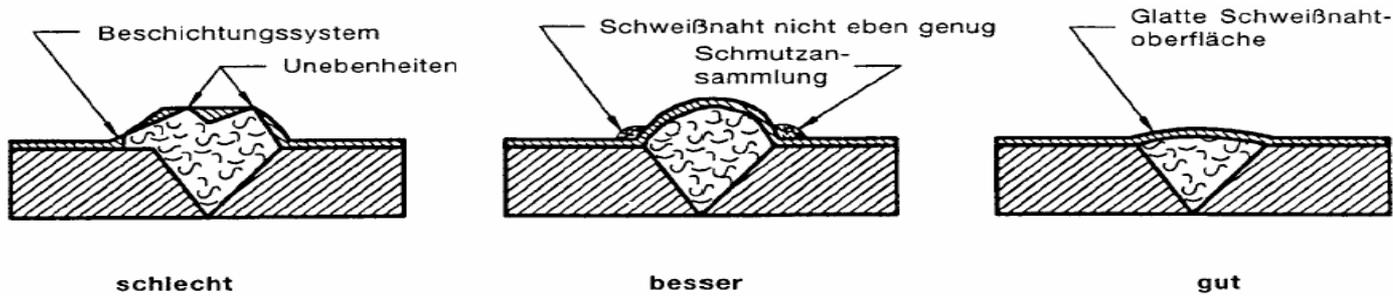
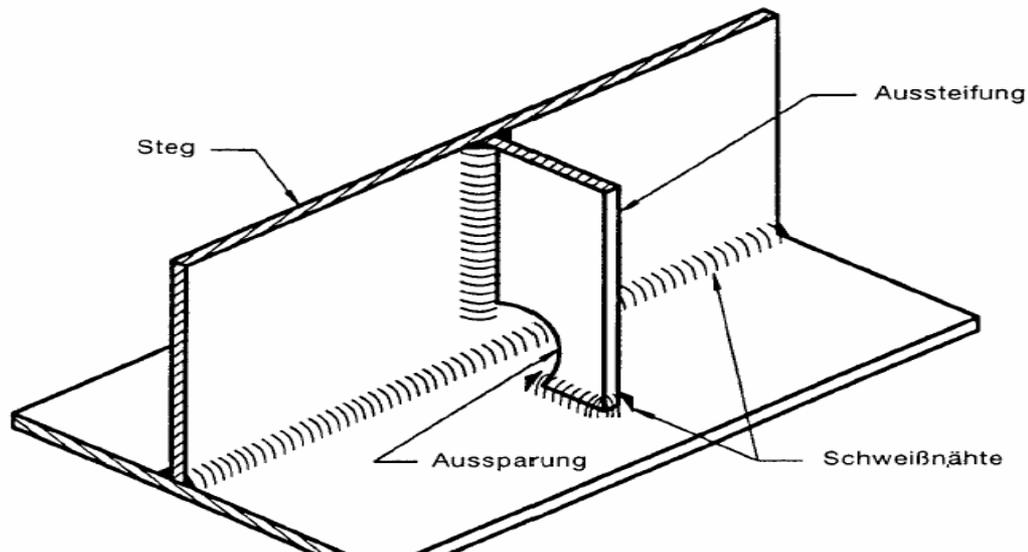
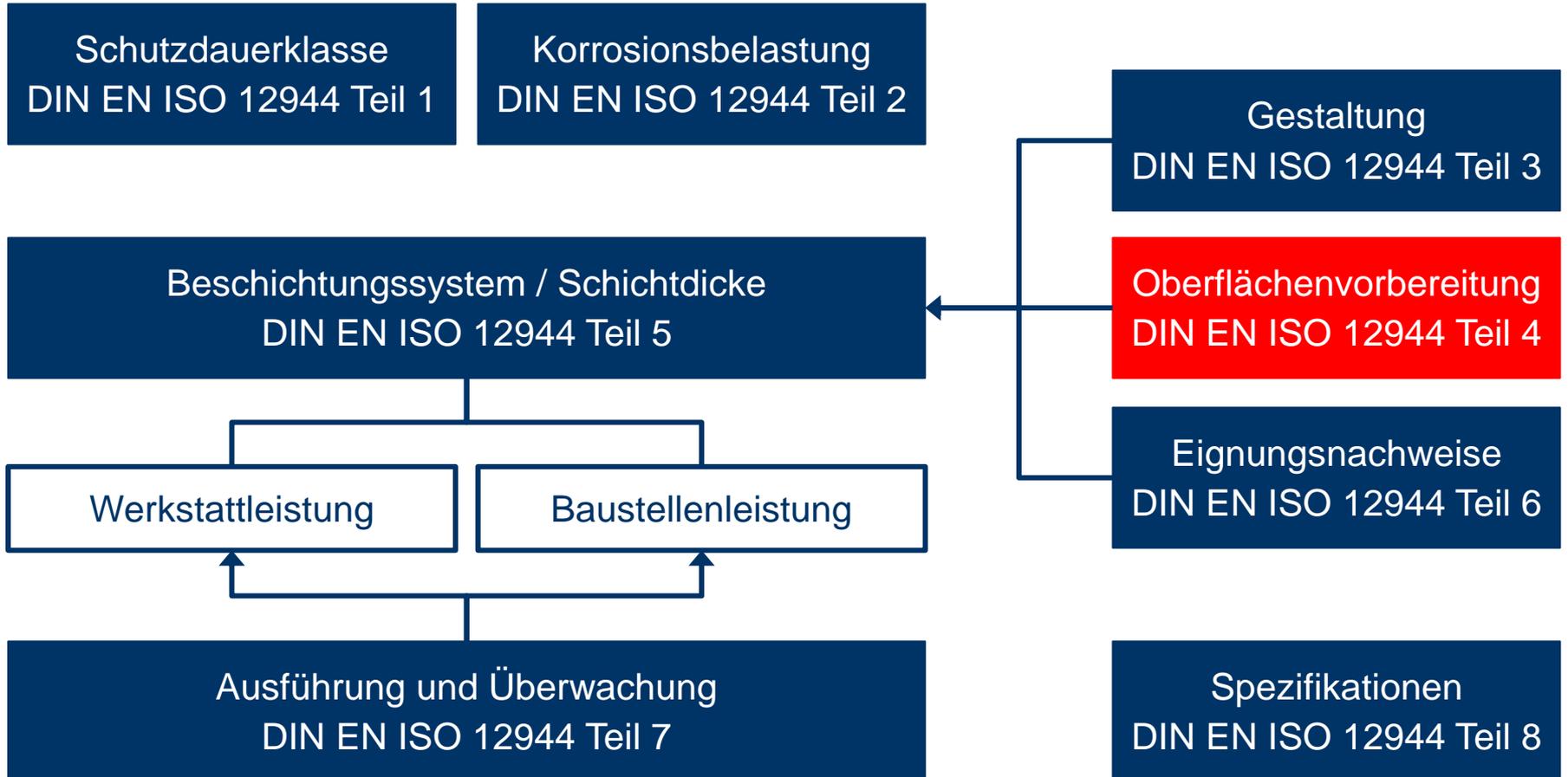


Bild D.6: Vermeiden von Oberflächenfehlern an Schweißstellen



## Das Regelwerk: Die DIN EN ISO 12944



## DIN EN ISO 12944: Oberflächenvorbereitung

---

### Arten vorzubereitender Oberflächen nach DIN EN 12944-4

- Nicht beschichtete Oberflächen
- Oberflächen mit thermisch gespritztem Überzug aus Zink, Aluminium oder deren Legierungen,
- feuerverzinkte und galvanisch verzinkte Oberflächen, sherardisierte Oberflächen
- Oberflächen mit Fertigungsbeschichtungen
- Anders beschichtete Oberflächen

## DIN EN ISO 12944: Oberflächenvorbereitung

### Oberflächenvorbereitung nach DIN EN 12944-4

- Reinigung mit Wasser oder verschiedenen Reagenzien
- Abbeizen
- Strahlen: verschiedene Arten von Nass- und Trockenstrahlen

- Zeitpunkt!



in Ordnung



nicht in Ordnung

## DIN EN ISO 12944: Oberflächenvorbereitung

### Details zur Oberflächenvorbereitung durch Strahlen

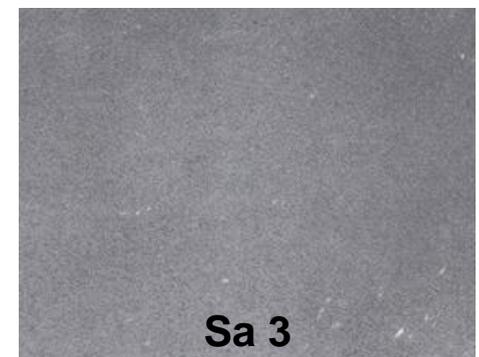
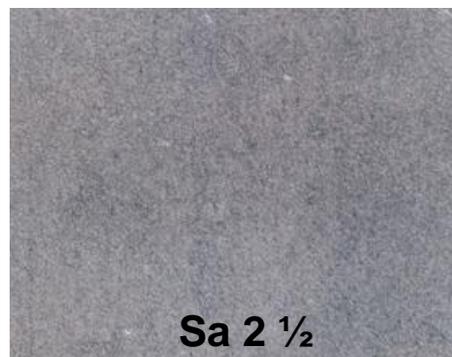
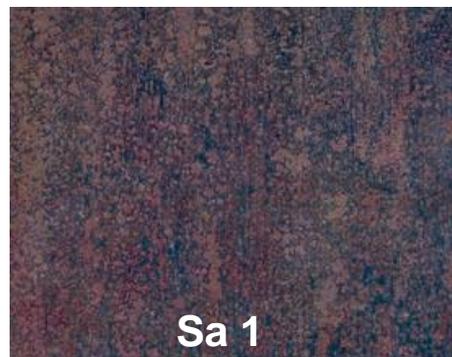
- Bestimmung des Rauheitsgrades mit einem Strahlstandard (*steel surface roughness comparator*) nach ISO 8503-1 für GRIT (kantiges Korn) und SHOT (rundes Korn)
- **fein**: über oder gleich Segment 1, aber unter Segment 2
- **medium**: über oder gleich Segment 2, aber unter Segment 3
- **grob**: über oder gleich Segment 3, aber unter Segment 4



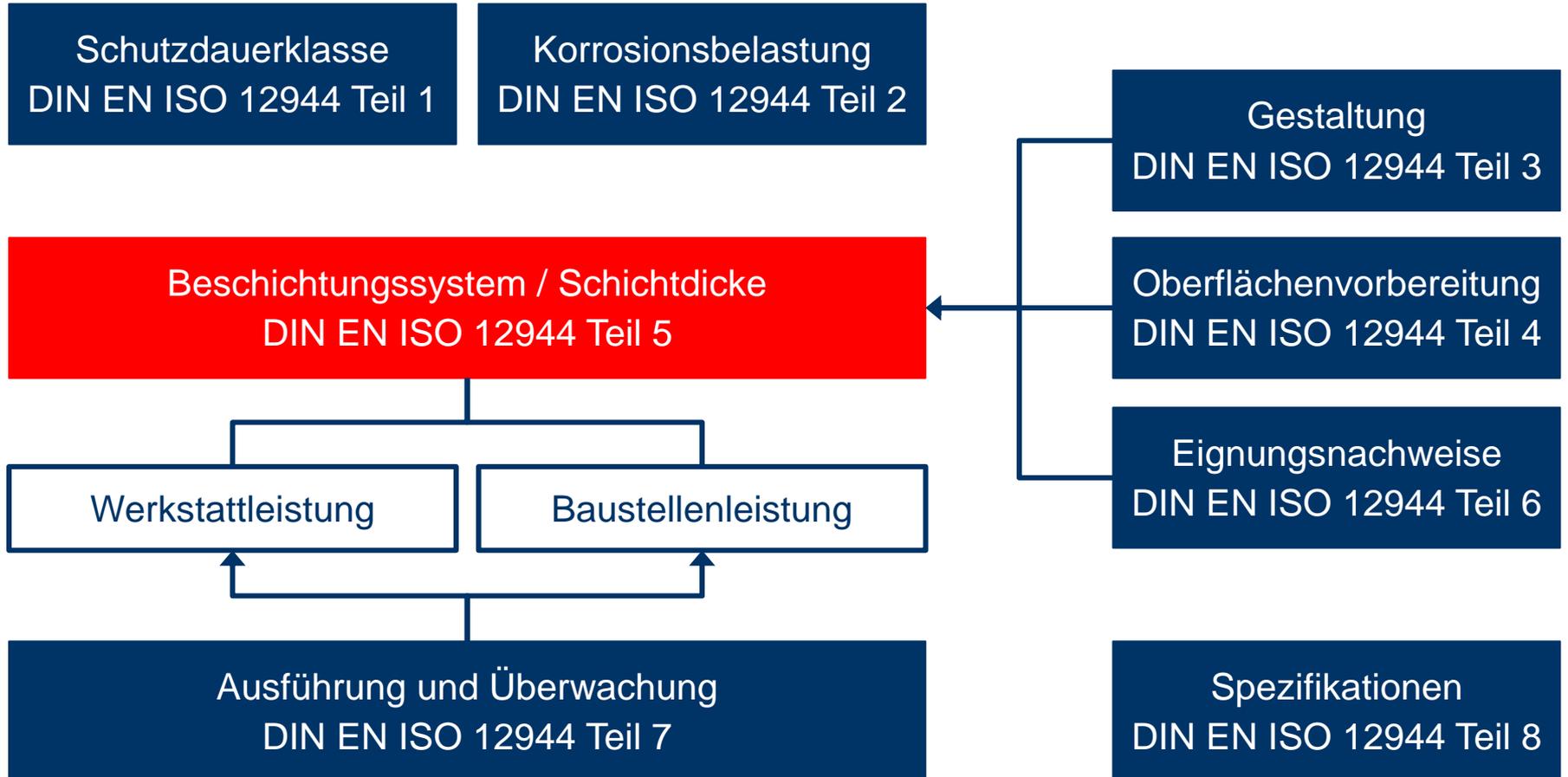
## DIN EN ISO 12944: Oberflächenvorbereitung

### Details zur Oberflächenvorbereitung durch Strahlen

Oberflächenvorbereitungsgrade (primär = ganzflächig)



## Das Regelwerk: Die DIN EN ISO 12944



## DIN EN ISO 12944: Schichtdicke – Messung

### Nassfilmkamm

- Messung unmittelbar nach Materialauftrag
- Multiplikation mit dem Festkörpervolumen

### Elektronisches

### Schichtdickenmessgerät

- Messung der ausgehärteten Schicht





# DIN EN ISO 12944: Beschichtungssysteme – Vergleich alt - neu

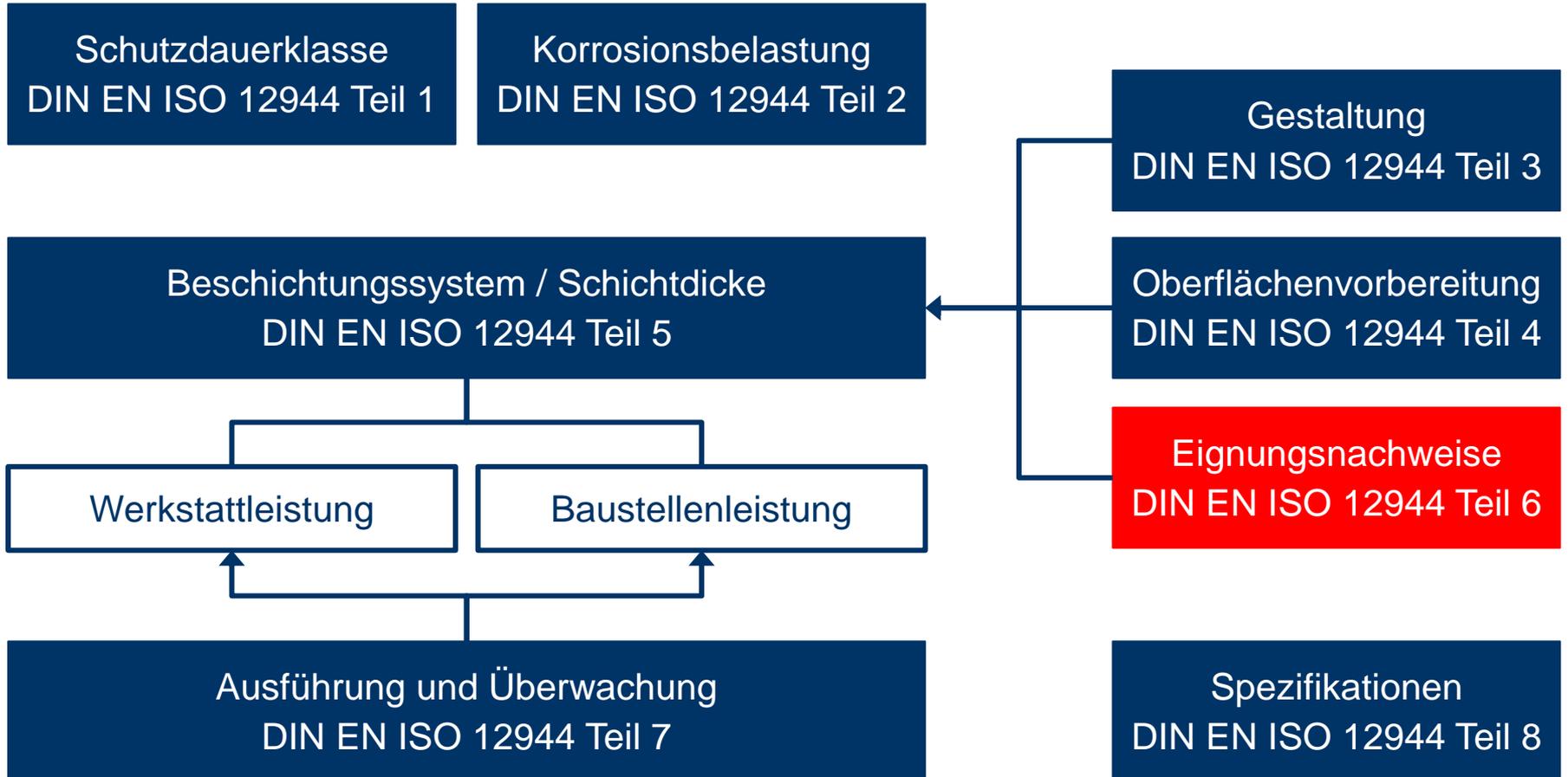
## Beschichtungssysteme alt – vor 30 Jahren

- 4-6 Schichten je 30 – 60  $\mu\text{m}$  = 240  $\mu\text{m}$
- Lösemittelgehalte : 50 – 70 %

## Beschichtungssysteme neu

- 2-3 Schichten je 80 – 120  $\mu\text{m}$  = 200  $\mu\text{m}$
- Lösemittelgehalte : 20 – 30 % und darunter

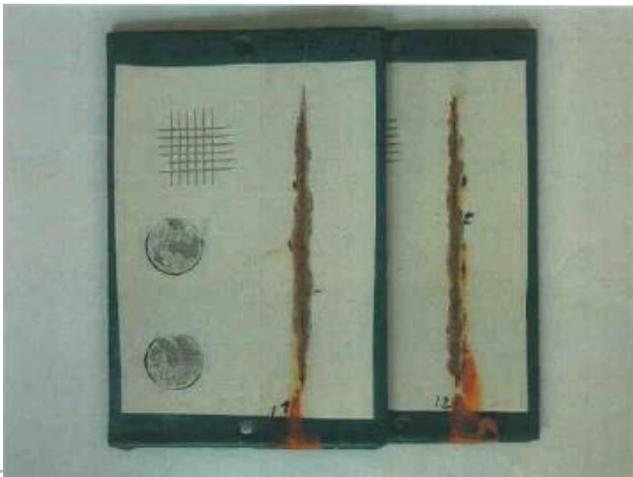
## Das Regelwerk: Die DIN EN ISO 12944



## DIN EN ISO 12944: Eignungsnachweise

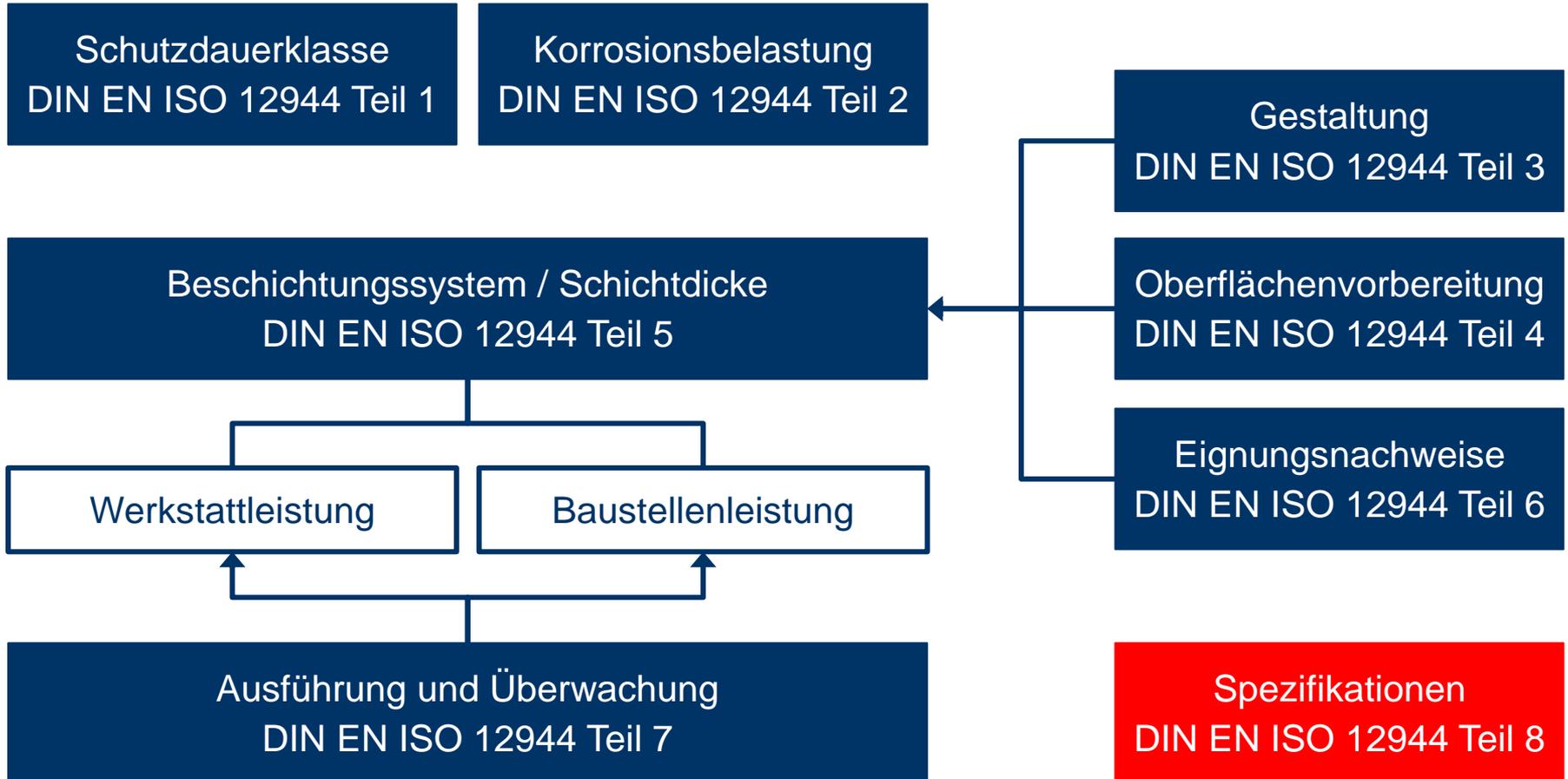
### Laborprüfungen zur Bewertung von Beschichtungssystemen

- Laborprüfungen zur Bewertung der Korrosionsschutzeigenschaften in der DIN EN ISO 12944-6
- künstliche und beschleunigte Alterung neuer Systeme im Vergleich mit bekannten Referenzsystemen
- Basis für recht genaue Aussagen über das Korrosionsschutzverhalten



Prüfplatten nach Salzsprühnebelbelastung

## Das Regelwerk: Die DIN EN ISO 12944



## Spezifikationen

---

### Die Spezifikation definiert die Anforderung an das Korrosionsschutzsystem

- Geforderte Korrosionsbeständigkeit = Korrosivitätskategorie
- Schutzdauer
- Besondere Einflussfaktoren, die nicht durch die 12944 abgedeckt werden
  - Temperatur **wechsel**belastung
  - etc...

### Berücksichtigung der Gesamtsituation: „BELASTUNGS-ENSEMBLE“

- Transport: Zum Nachbarn oder Überseetransport?
- Lagerung vor der Montage
- Einflussfaktoren bei der Montage (Betondecken aus Ortbeton?)
- **Nicht nur die Einflussfaktoren nach Inbetriebnahme**

## Spezifikationen: Negativbeispiel I

---

### Vorgegebenes System:

- Grundierung: zinkstaubreiches Epoxid 50 – 75  $\mu\text{m}$
- Zwischenbeschichtung: Epoxid 100 – 150  $\mu\text{m}$
- Deckbeschichtung: Polyurethan 50 – 75  $\mu\text{m}$
- Summe 200 – 300  $\mu\text{m}$

Produkte von vier global agierenden Herstellern werden namentlich genannt.

Weiterhin werden Mindestanforderungen an Standardbeschichtungen von Herstellern genannt, die ebenfalls eingesetzt werden dürfen:



Gesamtschichtdicke muss mindestens 125  $\mu\text{m}$  betragen.



## Spezifikationen: Negativbeispiel I

Zustand der Anlage **zwei Jahre** nach Fertigstellung:



## Spezifikationen: Negativbeispiel I

---

### Ursachenforschung:

- Anlage dient der Herstellung des Flüssigdüngers AHL (Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung).
- Die Anlage steht direkt an der Küste.
- In unmittelbarer Nähe steht eine Schwefelsäurefabrik, die schwefelhaltige Abgase emittiert.
- Direkt neben der betroffenen Anlage steht die alte Fabrik, die ammoniakhaltige Abgase emittiert.
- Die Anlage wurde noch nicht in Betrieb genommen.  
Temperaturwechsel mit Kondensation ist alltäglicher Standard.

## Spezifikationen: Negativbeispiel II

### Anforderung nach Spezifikation:

- Temperaturbeständig bis 500°C

### Ursprüngliche Lösung:

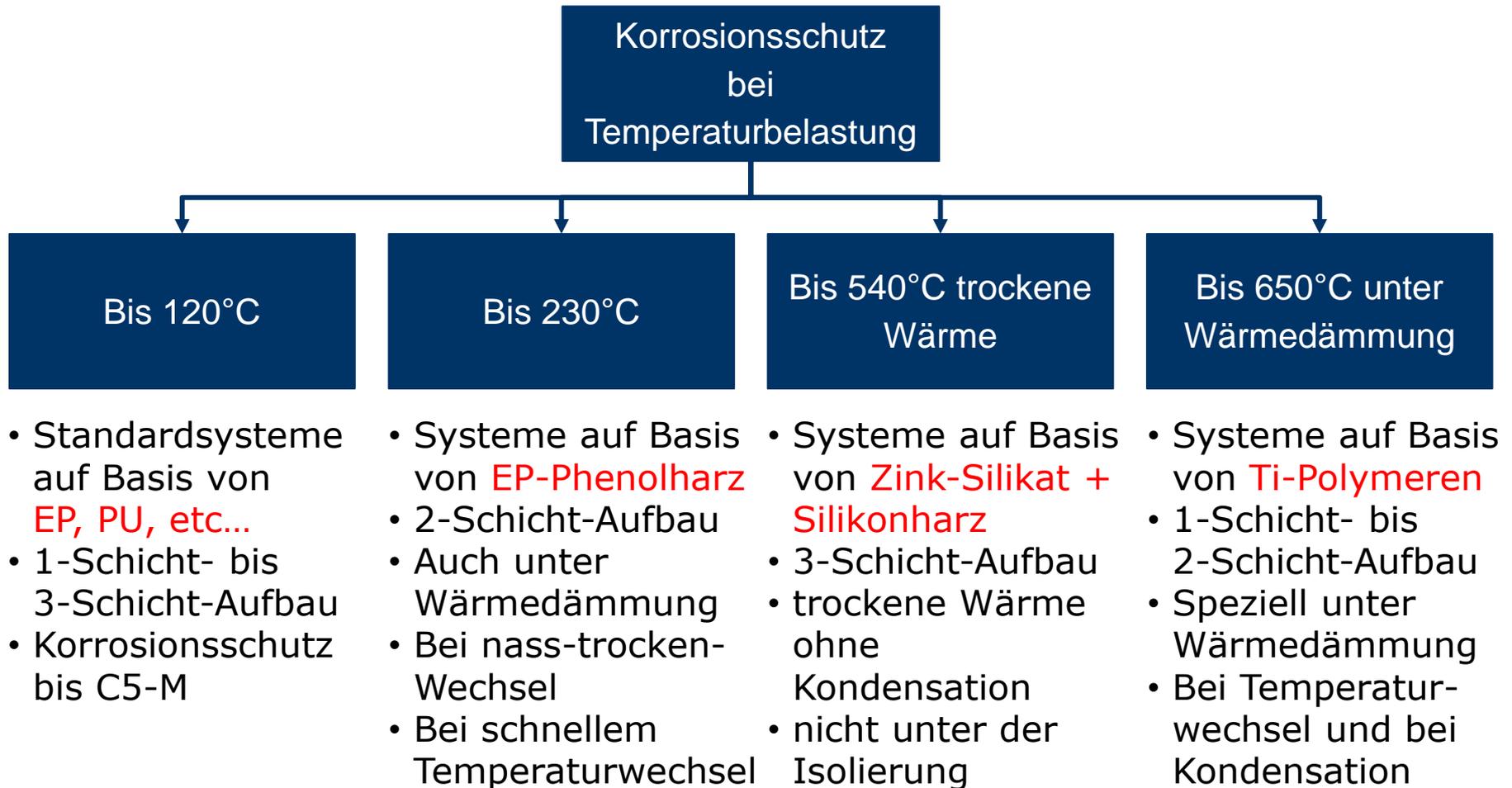
- Zink-Ethyl-Silikat (50 µm) + Silikonharz (50 µm)

### Ursachenforschung:

- Anlage kann vom Endkunden bei deutlich höheren Temperaturen gefahren werden
- Anlage wird zwischenzeitlich ausgeschaltet und steht dann unter Umständen wochenlang im Regen
- Spezifiziertes System für trockene Wärme!



# Korrosionsschutz bei hohen Temperaturen



## Korrosion unter der Isolierung – Situation

---

- Bei isolierten Stahlkonstruktionen mit Temperaturwechselbelastung
  - Besonders bei Temperaturschwankungen zwischen  $-4^{\circ}\text{C}$  und  $+150^{\circ}\text{C}$
  - Feuchtigkeit kann unter der Isolierung auf dem Stahl kondensieren
  - Bei Abschaltung von Anlagen, die im Hochtemperaturbereich betrieben werden
  - Besondere Gefahr bei Anlagen, die Temperaturzyklen durchlaufen
  - Kondensation führt zu Korrosion (C.U.I. = Corrosion Under Isolation)
  - Anorganische, zinkstaubhaltige Beschichtungssysteme kritisch, da hier Potenzialumkehr möglich: Stahl opfert sich für Zink  Korrosion!
-

## Korrosion unter der Isolierung – Situation

---

### **Korrosion unter der Isolierung ist mit hohen Kosten verbunden**

- Regelmäßige Inspektion der Anlagen
- Isolierung muss entfernt werden, um Leitungen zu erreichen
- Somit keine 100-Prozent-Kontrolle möglich, sondern nur Stichprobe
- Inspektion in der Regel nur bei heruntergefahrenener Anlage möglich
- Kosten durch Stillstandzeiten während der Inspektion
- Kosten durch Stillstandzeiten während der Instandsetzung

**Bedarf:** Schutzsystem mit langer Standzeit

**Lösung:** Interbond 1202UPC oder Intertherm 751CSA

---

## Beispiel Intertherm 751CSA

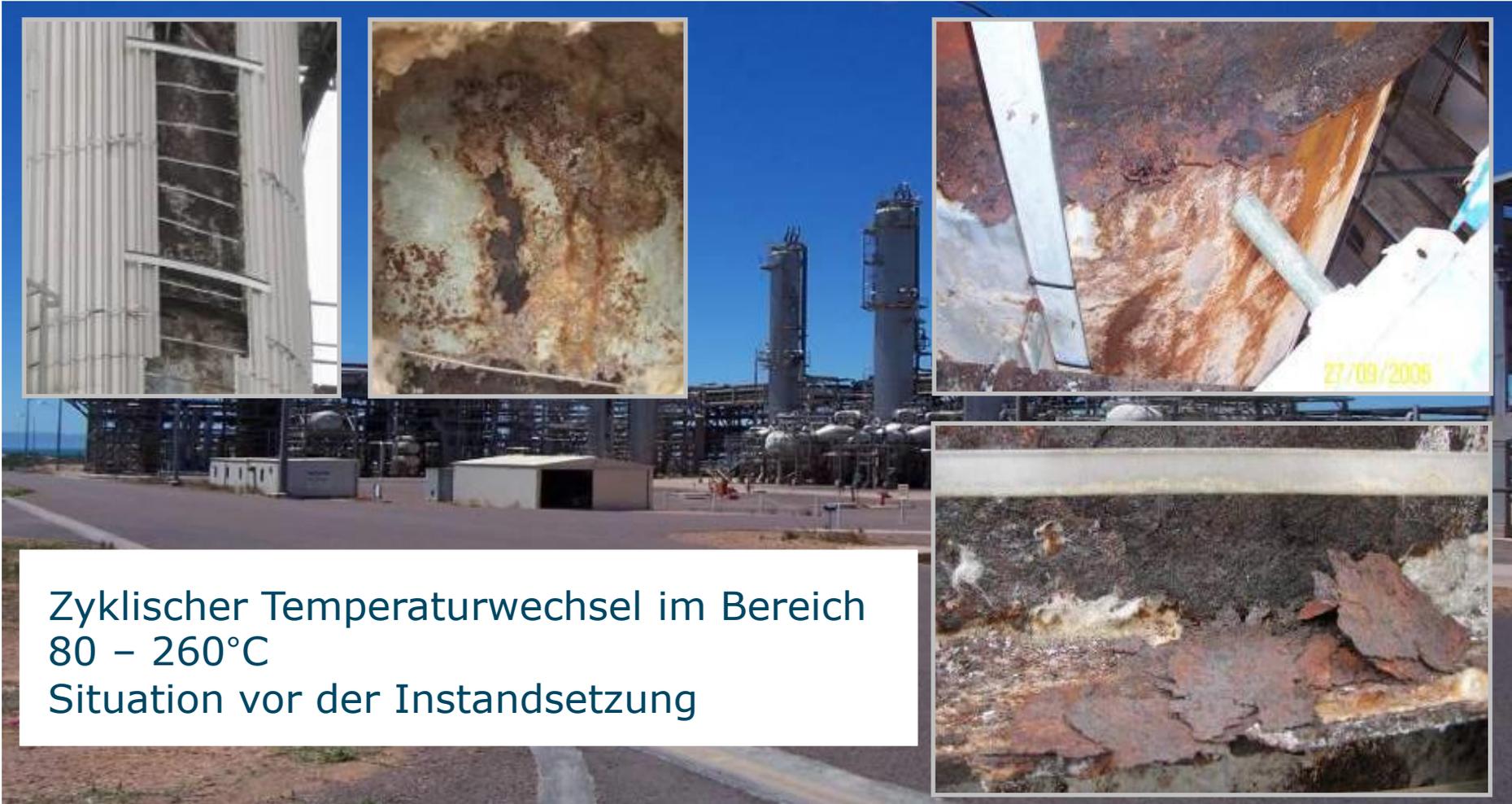
### Intertherm 751CSA

### Cold Spray Aluminium



Speziell bei  
zyklisch wechselnden  
Temperaturen unter  
Witterung und  
unter Isolierung  
im Temperaturbereich  
von  $-196^{\circ}\text{C}$  bis  $400^{\circ}\text{C}$

## Korrosion unter der Isolierung (C.U.I.)



## Korrosion unter der Isolierung (C.U.I.)



- Applikation im Oktober 2005
- Strahlentrostung SA 2.5 (Grit)
- System: **Intertherm 751CSA**
- Airless Spray: 1 x 200 µm
- Gesamtfläche: 200 m<sup>2</sup>



## Korrosion unter der Isolierung (C.U.I.)



Bilder während der Inspektion nach einem Jahr Betriebsdauer.  
Zweite Inspektion nach zwei Jahren im Betrieb mit gleichem Ergebnis.



## Die Alternativen im Hochtemperaturbereich

Weitere Systeme auf Anfrage



## Auswirkung fehlerhafter Arbeiten

### Untergrundvorbehandlung

- nicht ausreichend Rauigkeit durch
- unzureichendes Strahlen
- falsches Strahlmittel
- Verschmutzung durch Öle und Fette
- oder andere Verschmutzungen
- nicht nachgearbeitete
- Brennschnittkanten und  
Schweißnähte



Enthaftung / Delamination

## Auswirkung fehlerhafter Arbeiten



Nach dem Strahlen darf eine aufgebrauchte Schrift nicht mehr erkennbar sein. Dies ist kein rein optisches Problem!

### Untergrundvorbehandlung

Nicht ausreichendes Strahlen



## Auswirkung fehlerhafter Arbeiten



### **Trockenzeiten**

Zu früh gedreht – Abdrücke

### **Lagerung**

Ohne Verpackung – Abplatzungen

### **Schichtdicke**

Nicht von allen Seiten ausreichend



## Auswirkung fehlerhafter Arbeiten

### Zwischenbeschichtung

- Überschichtdicken z.T. in Kombination
- mit forcierter Trocknung führt zu
- Lösemittelretention



Rissbildung, häufig mit zeitlicher Verzögerung und bei Erschütterung. Meist von Kanten oder Bohrungen ausgehend.



## Auswirkung fehlerhafter Arbeiten

### Deckbeschichtung

- Zu frühe Witterungseinwirkung



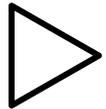
Auswaschung bzw. Hydrolyse durch ablaufendes Wasser



## Auswirkung fehlerhafter Arbeiten

### Deckbeschichtung

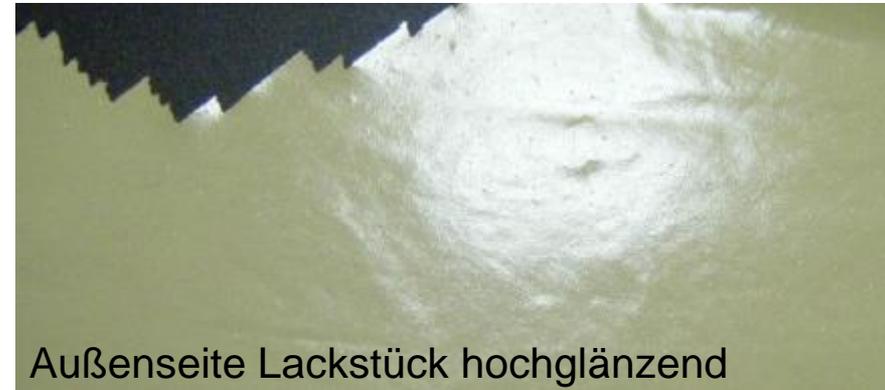
- Flächige Ablösung
- Flexible, gummiartige Stücke



unzureichende Mischung  
mit dem Rührstab



Innenseite Lackstück matt

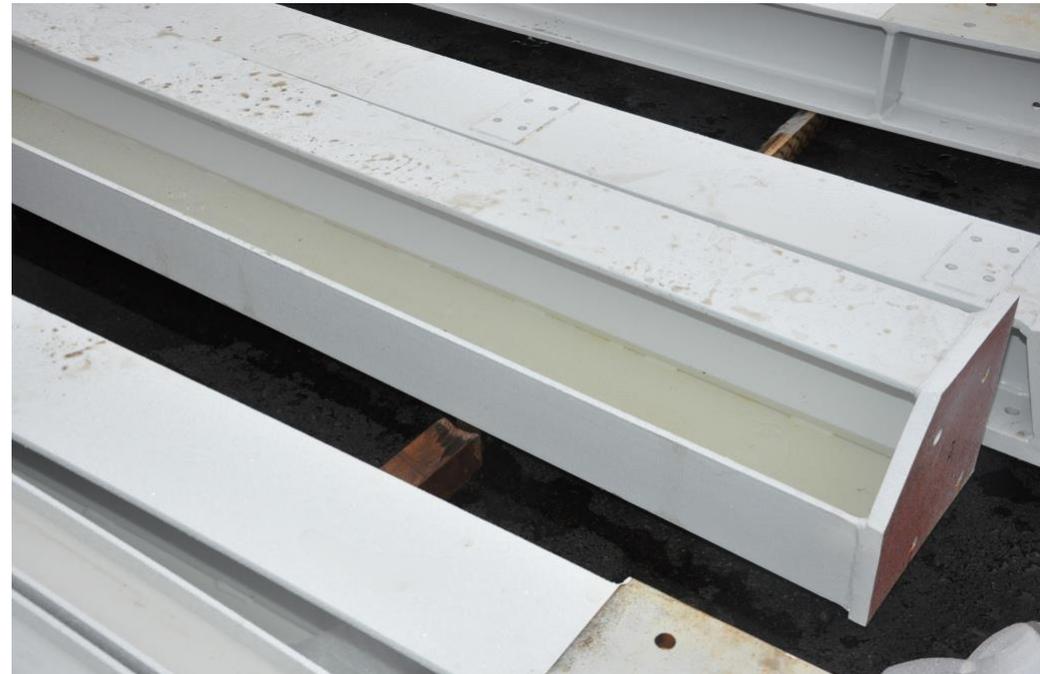
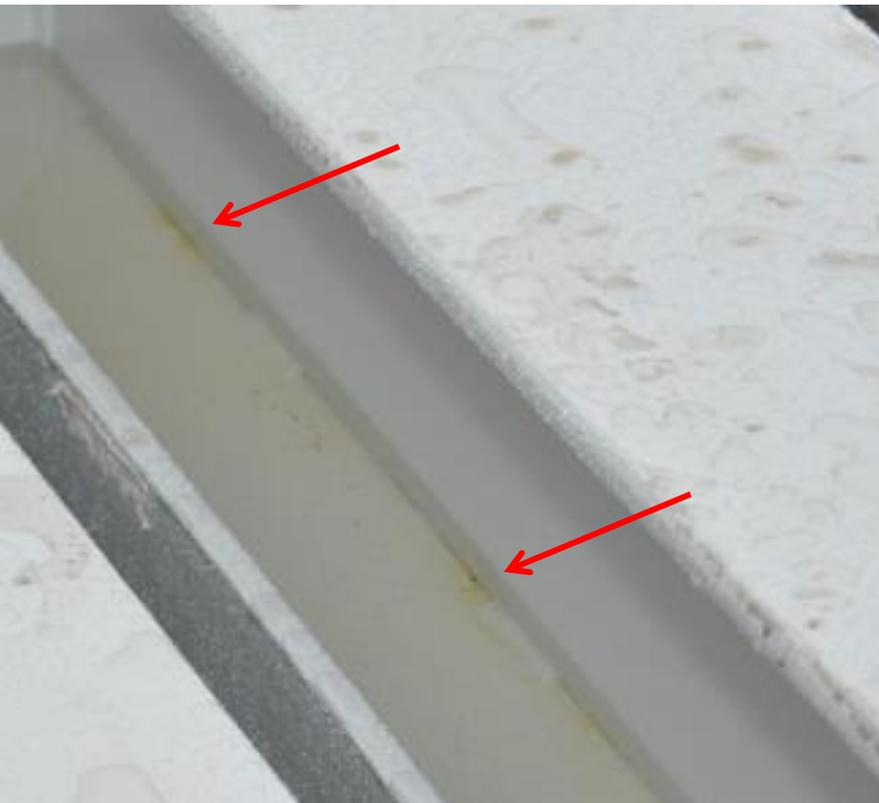


Außenseite Lackstück hochglänzend

## Auswirkung fehlerhafter Arbeiten / Spezifikationen

Anforderung nach Spezifikation:

Stahlhalle, C2 hoch



Nach 3 Tagen erste sichtbare Korrosion an nicht durchgängigen Schweißnähten

## Red Bull Raicing - England

2.500 m<sup>2</sup>

Brandschutzbeschichtung



**Mirabilandia , Italien - Rollercoaster**

**Intamin**

**5.000 m<sup>2</sup>**

**Hochleistungs-  
beschichtungssystem**



## Convention Center Baku

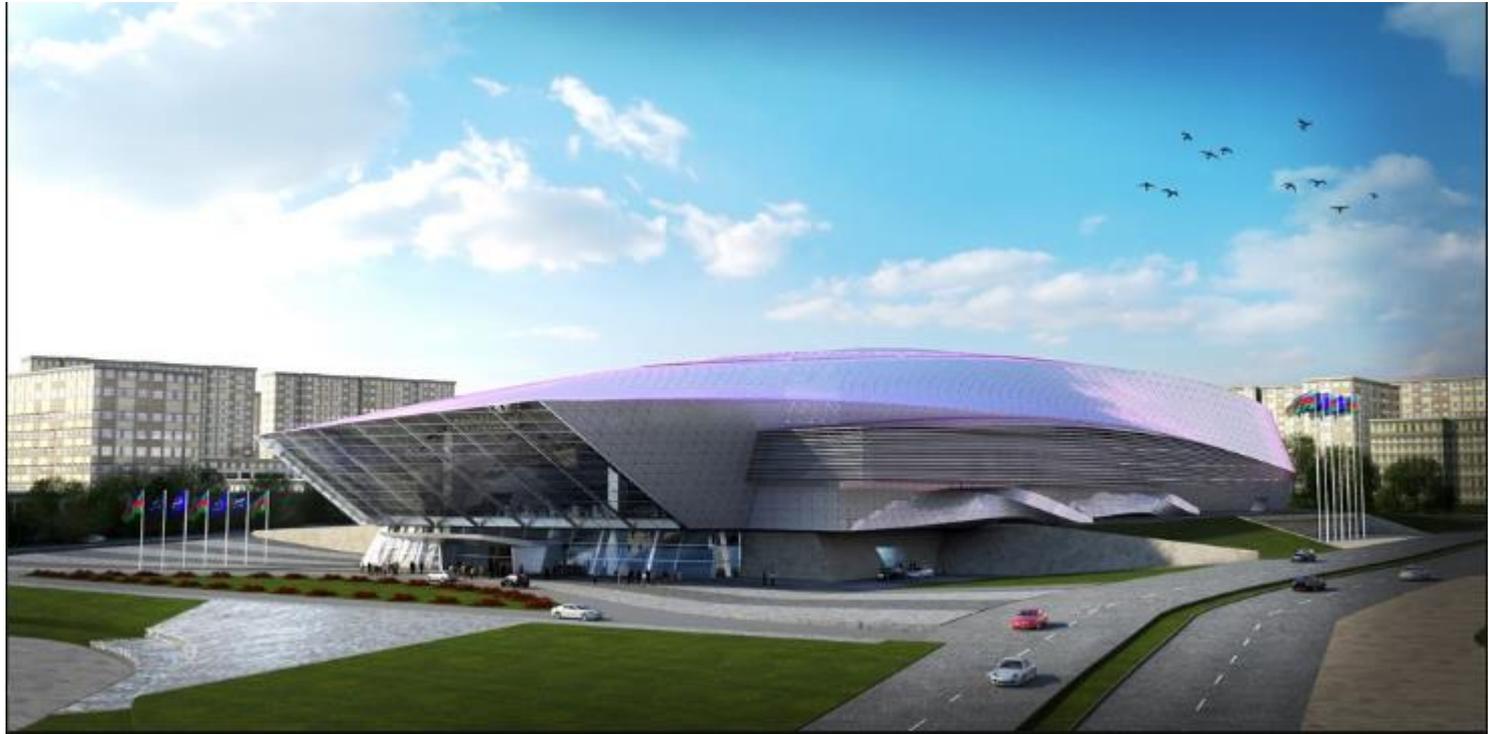
5.000 to Stahl

100.000 m<sup>2</sup>

50.000 Liter

COOP –

Himmelblau



## OMV – Projekt Butamax , Burghausen, Deutschland

35.000 m<sup>2</sup>

25.000 Liter



## SCS Vösendorf – Neugestaltung Eingangsbereiche

Fertigstellung

Mitte 2014

**10.000 m<sup>2</sup>**



## Selkachbrücke Kärnten

Fertigstellung

2007

5.000 m<sup>2</sup>



## ELG Wien Lobau Tankaußenbeschichtung

Fertigstellung

2009

**6.000 m<sup>2</sup>**



**Und manchmal kann / soll Rost auch schön sein!**

**Vielen Dank!**



**Haus der Essener Geschichte, Essen, Fassade aus COR-TEN-Stahl**