

Duplex-Systeme – Erfahrungen und Beispiele aus der Praxis

GfKORR – Jahrestagung 2023, 07./08. Nov.2023, Berlin

Patrick Düren-Rost
Institut Feuerverzinken GmbH, Düsseldorf

Stichworte

Duplex-Systeme, Feuerverzinkung, Stückverzinkung mit zusätzlicher Beschichtung, Anforderungen, Schutzwirkung, Praxisbeispiele

1. Zusammenfassung

Duplex-Systeme haben sich seit Jahrzehnten bewährt. Dieser Beitrag für die GfKORR Jahrestagung beschreibt Duplex-Systeme [1] zum schweren Korrosionsschutz von Stahlbauteilen, die aus einer Feuerverzinkung mit nachträglich aufgetragenen organischen Beschichtungssystemen bestehen. Hierbei wird in Nass- und Pulverbeschichtungssysteme unterschieden, wobei auf Basis der aktuellen technischen Normung der Stand der Technik erläutert wird. Die Dokumentation von ausgeführten Referenzen mit mehreren Jahrzehnten Schutzdauer zeigt die baupraktische Bedeutung dieser Systeme auf.

2. Einleitung

Unter einem Duplex-Systeme versteht man ein Korrosionsschutz-System für Stahlbauteile, das aus einer Feuerverzinkung nach DIN EN ISO 1461 [2] in Kombination mit einer oder mehreren nachfolgenden organischen Beschichtungen besteht.



Abbildung 1: Duplex-System, Vitra-Rutschturm (Entwurf: Carsten Höller; Foto: Taxiarchos228)



Abbildung 2: Duplex-System, Treppenskulptur an der Hochschule Zittau (Tillman Bock und Norbert Sachs Architekten; Foto: Daniel Sumesgutner)

Beide Korrosionsschutzsysteme ergänzen sich in idealer Weise. Duplex-Systeme haben sich als Korrosionsschutz beispielsweise im Bauwesen, im Straßenverkehr oder in der Energieversorgung bewährt (Beispiele siehe Abbildungen 1 und 2).

3. Duplex-Systeme

Zu den wesentlichen Eigenschaften und Vorteilen von Duplex-Systemen gehören:

- **Lange Schutzdauer:** Eine Feuerverzinkung schützt den Stahl zumeist für viele Jahrzehnte. Eine zusätzliche Beschichtung verbessert den langlebigen Korrosionsschutz der Feuerverzinkung. Die Schutzdauer von Duplex-Systemen ist in der Regel 1,2 bis 2,5 Mal länger als die Summe der jeweiligen Einzelschutzdauer einer Verzinkung und einer Beschichtung.



Abbildung 3: Busbahnhof Aarau im Duplex-System
(Entwurf: Vehovar Jauslin in Zusammenarbeit mit formTL; Foto: Niklaus Spoerri)

- **Gestalterische Gründe:**
Im Gegensatz zum metallischen Zinküberzug mit silbrigem oder grauem Aussehen ist es bei Duplex-Systemen möglich, die gesamte Palette der farblichen Gestaltung zu nutzen, ohne auf einen dauerhaften Korrosionsschutz zu verzichten.
- **Signalgebung/Tarnung:**
Bei manchen Objekten ist eine farbige Kennzeichnung zur Warnung oder Identifikation erforderlich oder es kann mit entsprechenden Beschichtungsstoffen ein Tarneffekt erzeugt werden.

- **Zusätzliche Sicherheit:**
Wenn Stahlteile nach der Montage nicht mehr zugänglich sind oder wenn Kontroll- und Instandsetzungsarbeiten am Korrosionsschutz beispielsweise Betriebsunterbrechungen oder Staus verursachen, stellen Duplex-Systeme eine optimale und dauerhafte Lösung dar.

Das Duplex-System kommt der Forderung nach einem Korrosionsschutz ab Werk entgegen. Sowohl die Feuerverzinkung als auch die Beschichtungsarbeiten können unter definierten Bedingungen im Fachbetrieb ausgeführt werden. Baustellenarbeiten und Unwägbarkeiten durch Witterung und Temperatur sind nicht erforderlich. Belastungen der Umwelt durch Korrosionsschutzarbeiten vor Ort werden ebenfalls minimiert. Eine beispielhafte Ausführung zeigt Abbildung 3.

4. Feuerverzinken

Beim Feuerverzinken gemäß DIN EN ISO 1461 (Stückverzinken) [2] werden bereits gefertigte Bauteile wie zum Beispiel Treppenkonstruktionen in eine flüssige Zinkschmelze am Stück eingetaucht. Hierdurch erhalten die Bauteile einen dauerhaften abrieb- und korrosionsbeständigen Zinküberzug mit Schichtdicken, die üblicherweise zwischen 50 und 150 Mikrometern oder darüber liegen. Stückverzinkte Bauteile erreichen abhängig von der Zinkschichtdicke und der Korrosionsbelastung eine Korrosionsschutzdauer von bis zu 100 Jahren. Bedingt durch das Tauchverfahren werden Hohlprofile außen wie innen gleichermaßen geschützt. Eine Stückverzinkung gewährleistet im Gegensatz zu organischen Beschichtungen auch an Kanten einen optimalen Korrosionsschutz. Das Haupteinsatzgebiet von stückverzinktem Stahl sind Anwendungen im Außenbereich (siehe Abbildung 4), da hier in der Regel Schutzzeiträume von zumeist mehr als 50 Jahren erreicht werden müssen.

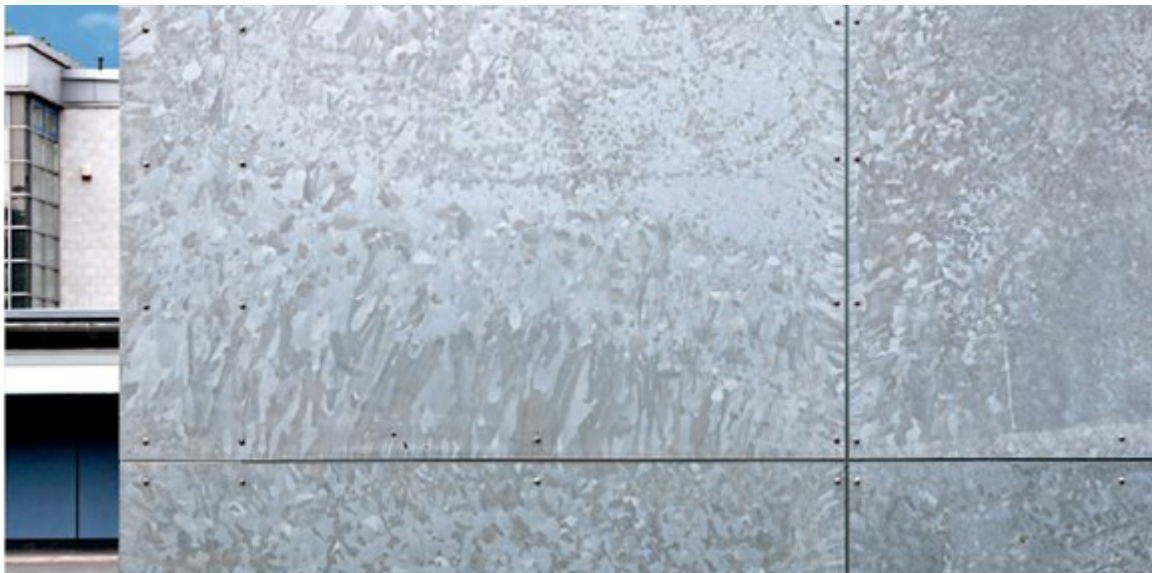


Abbildung 4: Feuerverzinkte Fassade der Werner- von-Siemens-Schule in Bochum (Architekten: Reiser und Partner; Foto: Rainer Grünewald)

5. Beschichten

Beschichtungsstoffe, im Volksmund auch oftmals einfach nur „Farbe“ genannt, sind Materialien auf Basis unterschiedlicher Bindemittel, die als Flüssigbeschichtung oder als Pulverbeschichtung auf den Stahl aufgebracht werden. Beschichtungen werden auf verschiedene Weise appliziert, z. B. durch Streichen, Rollen oder Spritzen. Neben der korrosiven Belastung und der gewünschten Schutzdauer hängt die Schichtdicke eines Beschichtungssystems von der Anzahl

der applizierten Schichten sowie der Stärke der einzelnen Schichten ab. Die Beschichtungssysteme werden in der Regel nach den Bindemitteln unterteilt. Diese verschiedenen Bindemittel werden zumeist in mehreren Schichten (Grund- und Deckbeschichtungen) und oftmals kombiniert aufgebracht. Typische Bindemittel für Stahlkonstruktionen im Baubereich sind: Alkydharze, Acrylharze, Epoxidharze, Vinylchloridharze, Polyurethanharze, Ethylsilikate sowie Pulverbeschichtungen mit Polyesterpulver bzw. Epoxidharzen. Die verschiedenen Bindemittel unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Glanz- und Farbhaltung, Abriebwiderstand, Härte, Schlagfestigkeit und Dehnbarkeit sowie Beständigkeit gegenüber chemischen Einflüssen. Ein ausgeführtes Beispiel zeigt Abbildung 5.

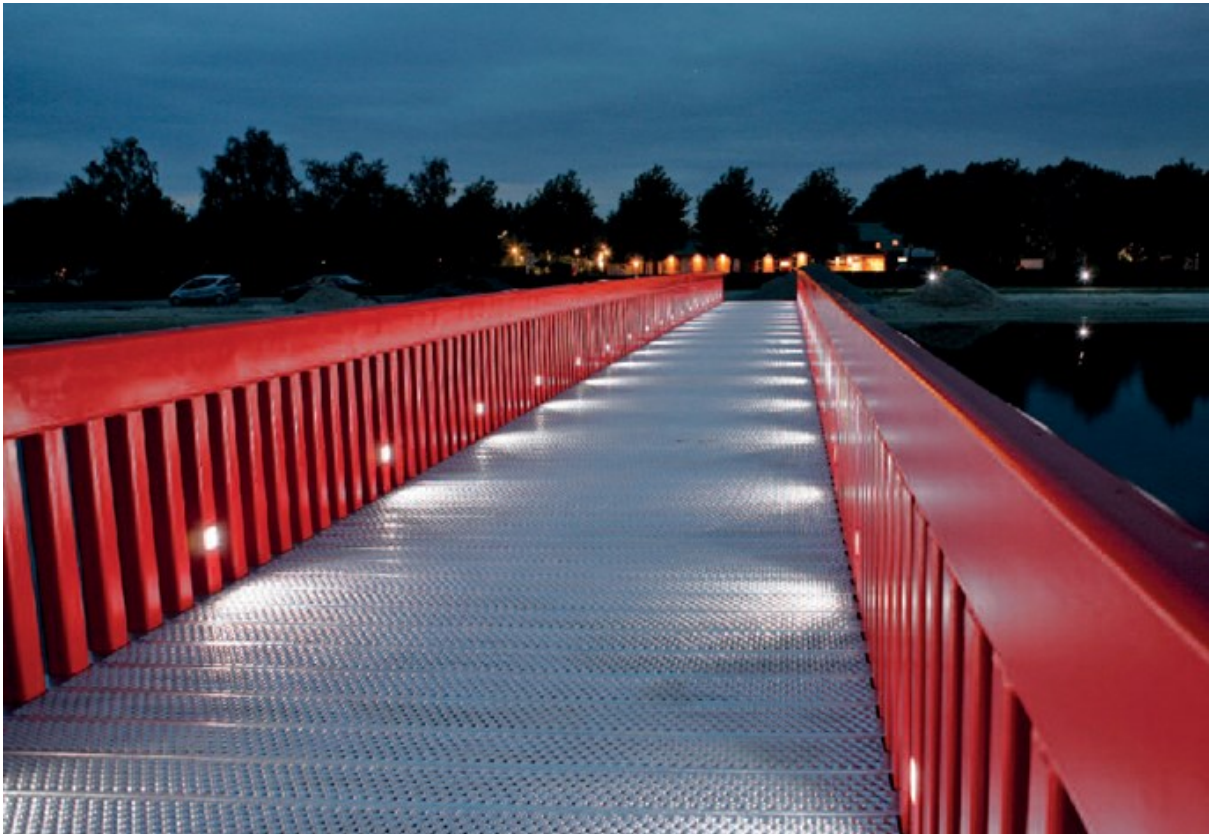


Abbildung 5: Duplex-System, Fußgängerbrücke in Rietberg

5.1 Nassbeschichtungssysteme

Unter „Nassbeschichten“ versteht man die Applikation von Flüssig-Beschichtungsstoffen. Maßgeblich für den Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen ist die DIN EN ISO 12944 (Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme, Teil 1– 9) [3]. Teil 5 von DIN EN ISO 12944 beschreibt unter anderem Flüssig-Beschichtungen auf feuerverzinktem Stahl. Abbildung 6 zeigt die Applikation einer Nassbeschichtung auf einer feuerverzinkten Fußgängerbrücke.

Für dünnwandige tragende Bauteile mit einer Materialdicke kleiner 3 mm gilt das nationale Regelwerk DIN 55634 [4].



Abbildung 6: Nassbeschichtung einer feuerverzinkten Fußgängerbrücke

5.2 Pulverbeschichtungssysteme

Das Pulverbeschichten ist ein Beschichtungsverfahren, bei dem der Beschichtungsstoff als elektrostatisch aufgeladene Pulverwolke auf Stahl aufgebracht wird (Abbildung 7) und anschließend eingebrannt wird. Im Bauwesen regelt DIN 55633-1 [5] den Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Pulver-Beschichtungssysteme auf feuerverzinktem Stahl. Ergänzend ist zudem DIN EN 15773 [6] zu erwähnen. Für dünnwandige tragende Bauteile mit einer Materialdicke kleiner 3 mm gilt DIN 55634-1 [4].



Abbildung 7: Applikation des Pulverlackes durch Sprühen.

6. Wichtige Regelwerke zu Duplex-Systemen

Korrosionsschutzarbeiten werden nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik durchgeführt und sind in verschiedenen Regelwerken festgelegt. Einen Überblick und die Zuordnung der unterschiedlichen Anforderungen gibt die folgende Aufstellung:

- Für das Verfahren der Stückverzinkung gilt die DIN EN ISO 1461 „Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebraute Zinküberzüge (Stückverzinken)“ [2]. Die Norm regelt alle Anforderungen an das Verfahren des Stückverzinkens und an die so aufgebrauchten Zinküberzüge.
- Sollen tragende Stahlbauteile feuerverzinkt werden, ist zudem im bauaufsichtlich geregelten Bereich die DASt-Richtlinie 022 „Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen“ [7] zu berücksichtigen.



Abbildung 8: Stahlkonstruktion, Korrosionsschutz als Duplex-System

- Die Normenreihe DIN EN ISO 12944 Teil 1 bis 9 „Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme“ [3] legt für tragende Stahlbauteile mit einer Materialdicke > 3 mm unter anderem fest, wie Duplex- Systeme geplant und ausgeführt werden sollen. Eine Korrosionsschutzplanung, die sich an den Anforderungen an die Stahlkonstruktion und der Korrosionsbelastung vor Ort orientiert, steht dabei im Vordergrund. Tabelle 2

zeigt den Aufbau von Duplex-Systemen und von reinen Beschichtungssystemen auf schwarzem Stahl gemäß Teil 5 dieser Norm im Vergleich.

- DIN 55633-1 „Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Pulver-Beschichtungssysteme – Bewertung der Pulver-Beschichtungssysteme und Ausführung der Beschichtung“ [5] regelt Pulver-Beschichtungssysteme für tragende Stahlbauteile mit einer Materialdicke > 3 mm, die nach DIN EN ISO 1461 [2] feuerverzinkt wurden.
- Für dünnwandige tragende Bauteile (in der Regel mit Materialdicken kleiner 3 mm), die einen Zinküberzug nach DIN EN ISO 1461 [2] aufweisen und zusätzlich flüssig- oder pulverbeschichtet werden, legt der Teil 1 der DIN 55634 „Beschichtungsstoffe und Überzüge – Korrosionsschutz von tragenden dünnwandigen Bauteilen aus Stahl“ [4] die Anforderungen und Prüfverfahren fest.
- EN 1090-2 „Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken“ [8] regelt auch den Korrosionsschutz für Stahlbauteile, insbesondere Anforderungen an den Korrosionsschutz sowie Ausführungs- und Prüfvorgaben.
- Als Ergänzung zu den normativen Regelungen gibt es für Nass- und Pulverbeschichtungen auf verzinktem und unverzinktem Stahl Güte- und Qualitätsgemeinschaften. Die Qualitätsbestimmungen dieser Organisationen gelten in Verbindung mit einschlägigen Gesetzen, Verordnungen und Normen je nach Vertragsvereinbarung.

Tabelle 2: Beschichten gemäß DIN EN ISO 12944-5 [3]: Vergleich von gestrahltem Stahl bzw. feuerverzinktem Stahl (Mindestanzahl an Schichten (MNOC) und Mindestsollschichtdicken (NDFT) in Abhängigkeit von der Schutzdauer und der Korrosivitätskategorie.)

Schutzdauer	Niedrig						Mittel						Hoch						Sehr hoch					
	gestrahltes Stahlsubstrat			Feuerverzinkter Stahl			gestrahltes Stahlsubstrat			Feuerverzinkter Stahl			gestrahltes Stahlsubstrat			Feuerverzinkter Stahl			gestrahltes Stahlsubstrat			Feuerverzinkter Stahl		
Art des Substrates																								
Art des Grundbeschichtungsstoffes	Zn (R)	div.					Zn (R)	div.					Zn (R)	div.					Zn (R)	div.				
Bindemittelbasis des Grundbeschichtungsstoffes	ESI, EP, PUR, PU, R	EP, PUR, ESI	AK, AY	EP, PUR	AY		ESI, EP, PUR, PU, R	EP, PUR, ESI	AK, AY	EP, PUR	AY		ESI, EP, PUR, PU, R	EP, PUR, ESI	AK, AY	EP, PUR	AY		ESI, EP, PUR, PU, R	EP, PUR, ESI	AK, AY	EP, PUR	AY	
Bindemittelbasis der nachfolgenden Schichten	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	AY		EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	AY		EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	AY		EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	AY	
C2	MNOC	a			a			–	–	1	a			1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	
	NDFT	a			a			–	–	100	a			60	120	160	80	80	160	180	200	120	160	
C3	MNOC	–	–	1	a			1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	
	NDFT	–	–	100	a			60	120	160	80	80	160	180	200	120	160	200	240	260	160	200		
C4	MNOC	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	–	2			
	NDFT	60	120	160	80	80	160	180	200	120	160	200	240	260	160	200	260	300	–	200				
C5	MNOC	2	2	–	1	2	2	2	–	2	2	3	2	–	2		3	3	–	2				
	NDFT	160	180	–	120	160	200	240	–	160	200	260	300	–	200		320	360	–	240				

Lesebeispiel: Für eine Beschichtung auf EP-, PUR- und/oder AY-Basis auf unverzinktem Stahl sind 3 Schichten mit einer Gesamtmindestschichtdicke von 360 Mikrometern zur Erreichung einer sehr hohen Schutzdauer in der Korrosivitätskategorie C5 vorgeschrieben. Bei Verwendung von feuerverzinktem Stahl unter gleichen Bedingungen sind lediglich 2 Schichten mit einer Gesamtschichtdicke von 240 Mikrometern erforderlich, d. h. ein Drittel weniger Beschichtungsstoff sowie ein Arbeitsgang weniger.

- Arbeitsblätter Feuerverzinken des Institutes Feuerverzinken [9]: Die Arbeitsblätter Feuerverzinken bieten praxis- und normengerechte Informationen zum Korrosionsschutz durch Feuerverzinken und gehen im Kapitel „G. Duplex-Systeme“ auf die Anforderungen und Ausführung von Duplex-Systemen auf der Basis von Nass- und Pulverbeschichtungen ein (Kurzlink zu den Arbeitsblättern unter: www.fv.lc).

7. Wirkungsweise von Duplex-Systemen

Die Schutzdauer eines Duplex- Systems ist erheblich länger als die Summe der Einzelschutzdauer der Feuerverzinkung und der Beschichtung. Dieser Synergie-Effekt entsteht, weil sich Feuerverzinkung und Beschichtung gegenseitig schützen. Die Beschichtung verhindert, dass atmosphärische und chemische Einflüsse auf den Zinküberzug einwirken. Ein Abtrag des metallischen Zinks wird vermieden und die Lebensdauer des Zinküberzuges verlängert sich (Abbildung 9).

Beschädigungen an der Beschichtung haben keine Korrosion zur Folge, da die hohe Widerstandsfähigkeit und Abriebfestigkeit des darunterliegenden Zinküberzuges auch hohen Belastungen standhält. Die für Beschichtungen typischen Unterrostungen können nicht entstehen, der Stahl bleibt auch an Stellen, an denen die Beschichtung beschädigt ist, wirksam geschützt.

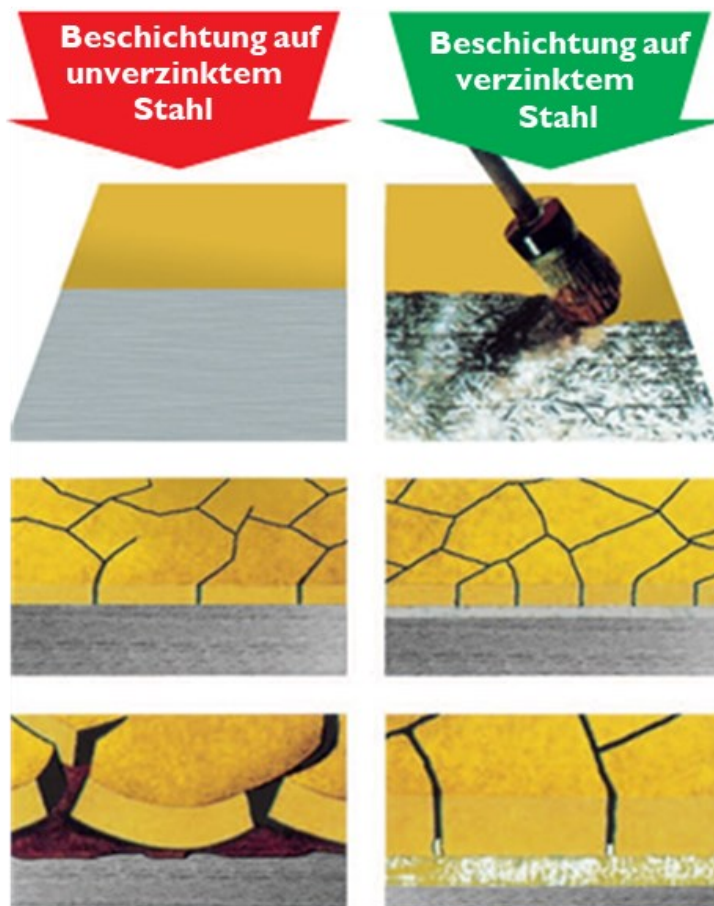


Abbildung 9: Vergleich zwischen dem Korrosionsverhalten von konventioneller Beschichtung und Duplex-Systemen auf Stahl

Typische Problemzonen von Beschichtungen sind Hohlräume und Vertiefungen sowie Ecken und Kanten. Da Zinküberzüge auch an diesen kritischen Stellen einen guten Korrosionsschutz bieten, werden die Schwächen von Beschichtungen in diesen Bereichen durch die Stärken des Zinküberzuges kompensiert.

8. Praxisbeispiele

8.1 Vorhallendächer Kölner Hauptbahnhof (Baujahr 1991)

Projektinfo: Die um 1900 erbauten historischen Vorhallendächer des Kölner Hauptbahnhofes wurden in den Jahren 1990 und 1991 durch eine aus Kreuzgewölben bestehende Stahl-Glas-Konstruktion ersetzt, die als Duplex-System ausgeführt wurde (Abbildung 10).

Korrosionsbelastung an Standort: Korrosive Belastungen durch die Stadtatmosphäre der Stadt Köln (Korrosivitätskategorie C3) sowie Belastungen durch Kotablagerungen von Tauben und anderen Vögeln und mechanische Beschädigungen seitens der Bahnhofsnutzer im Stützenbereich.

Entwurf: Busmann + Haberer Architekten mit dem Tragwerksplaner Prof. Dr. Stefan Polónyi entworfen.



Abbildung 10: Vorhallendächer des Kölner Hauptbahnhofs im Duplex-System.

Zustandsbeschreibung und Prognose: Im Rahmen einer in 2014 durchgeführten Inspektion der Vordächer durch das Institut Feuerverzinken wurden Schichtdickenmessungen an den Vorhallendächern durchgeführt. Die gemessenen Schichten der Feuerverzinkung ($88\ \mu\text{m}$ – $438\ \mu\text{m}$) und der Beschichtung ($90\ \mu\text{m}$ – $904\ \mu\text{m}$) übertrafen selbst nach rund 25 Jahren noch weitestgehend die Anforderungen der Ausschreibung und geben den Vorhallendächern ein hervorragendes Schutz-Potenzial für die Zukunft.

8.2 Hiroshimasteg in Berlin (Baujahr 1987)

Projektinfo: Die im Jahr 1987 anlässlich der Internationalen Bauausstellung (IBA) erbaute Brücke über dem Berliner Landwehrkanal hat eine Länge von 36 Metern und wurde als Duplex-System ausgeführt (Abbildung 11).

Entwurf: Maedebach + Redeleit, Berlin

Korrosionsbelastung an Standort: Stadtatmosphäre (Korrosivitätskategorie C3) mit Zusatzbelastungen wie erhöhter Luftfeuchtigkeit durch den Landwehrkanal, Moosanhaftungen, Tierkot.



Abbildung 11: Fußgängerbrücke Hiroshimasteg, Duplex-System

Zustandsbeschreibung und Prognose: Das Duplex-System präsentierte sich bei einer Inspektion in 2014, nach einer Standzeit von 27 Jahren, in einem sehr guten Zustand. An den Enden des Handlaufes sind einige Abplatzungen an der Beschichtung zu beobachten. Die gemessenen Schichtdicken der Verzinkung lagen bei der durchgeführten Messung zwischen 190 μm und 230 μm . Die Schichtdicken des Gesamtsystems aus Feuerverzinkung plus Beschichtung lagen zwischen 360 μm – 385 μm . Aufgrund des sehr guten Zustands des Duplex-Systems besteht weder mittel- noch langfristig Handlungsbedarf für Instandhaltungsmaßnahmen (Abbildung 12).



Abbildung 12: Detailfotos einer Inspektion der Beschichtung nach 27 Jahren.

8.3 Stahl-Zentrum Düsseldorf (Baujahr 1986)

Projektinfo: Gemeinschaftlicher Mittelpunkt der deutschen Stahlindustrie ist das Stahl-Zentrum in Düsseldorf. Die tragenden Außenstützen des in Stahl- und Stahlverbundbauweise errichteten Gebäudes und die vorgehängte, hinterlüftete Stahlblechfassade wurden durch ein Duplex-System vor Korrosion geschützt (Abbildung 13).



Abbildung 13: Stahlzentrum Düsseldorf, Fassade im Duplex-System. (Foto: Wirtschaftsvereinigung Stahl)

Korrosionsbelastung an Standort: Die Korrosionsbelastung am Stahl- Zentrum kann in die Korrosivitätskategorie C3 (Stadtatmosphäre) eingeordnet werden.



Abbildung 14: Detailfotos einer Inspektion der Beschichtung nach 28 Jahren.

Zustandsbeschreibung und Prognose: Bei einer Inspektion in 2014 befanden sich die Außenstützen und Fassadenbleche in einem guten korrosionsfreien Zustand. Messungen des Beschichtungssystems ergaben, dass die durchschnittliche Schichtdicke bei ca. 120 Mikrometer lag. Die gemessenen Zinkschichtdicken der Außenstützen betragen ca. 400 Mikrometer und an

den Fassadenblechen zwischen 140 und 150 Mikrometer. Mit Blick in die Zukunft wird sich das Stahl- Zentrum auch für kommende Jahrzehnte mit dem Attribut „rostfrei“ schmücken können, ohne dass es einer Instandsetzung bedarf (Abbildung 14).

8.4 Kunsteisbahn in Balingen (Baujahr 1977)

Projektinfo: Die Kunsteisbahn in Balingen zeichnet sich durch ein 30 m x 60 m großes Hockeyfeld mit einer Längstribüne aus und wird durch eine halboffene, erdbebensichere Halle stützenfrei überdacht. Das Haupttragwerk der Halle wurde als Stahlkonstruktion ausgeführt und durch ein Duplex-System vor Korrosion geschützt (Abbildung 15).



Abbildung 15: Fotos einer Inspektion der Beschichtung der Kunsteisbahn Balingen nach 41 Jahren.

Entwurf: Ernst Besenfelder

Korrosionsbelastung am Standort: Die Korrosionsbelastung von Eissporthallen liegt im Bereich der Korrosivitätskategorie C4 (hoch).

Zustandsbeschreibung und Prognose: Bei einer Überprüfung der Kunsteisbahn in 2018 zeigte sich das untersuchte Haupttragwerk in einem sehr guten Zustand. Korrosion war nicht festzustellen. Die blaue Beschichtung des Duplex- Systems wies zwar Auskredungen auf. Die gemessenen Schichtdicken der Beschichtung zwischen 56 und 73 Mikrometer sowie der Zink-

schichtdicken mit mehr als 220 Mikrometer lassen auch in den nächsten Jahrzehnten keine Instandsetzungsmaßnahmen am Haupttragwerk (Abbildung 16) erwarten.

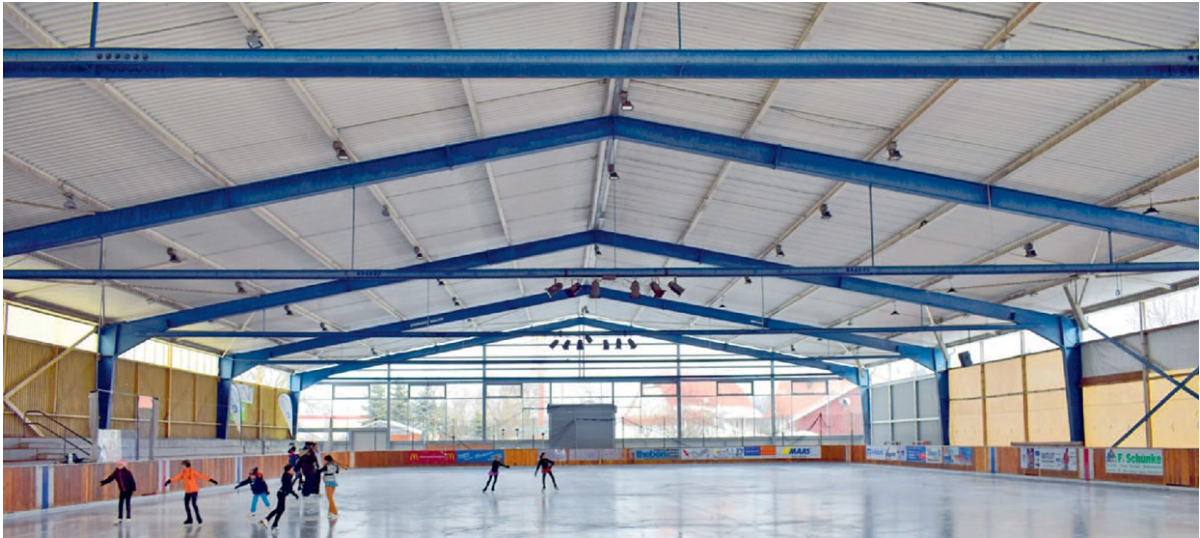


Abbildung 16: Haupttragwerk der Kunsteisbahn Balingen

9. Duplex-Systeme im Offshore-Bereich

Für den Korrosionsschutz im Offshore-Bereich bieten Duplex-Systeme eine dauerhaftere Korrosionsschutzlösung als reine Beschichtungen. Ein Vergleich der beiden Systeme am Beispiel der Offshore- Plattform Fino 1 (Abbildung 17) belegt die Leistungsfähigkeit von Duplex-Systemen.



Abbildung 17: Die Offshore-Forschungsstation Fino 1 (Foto: Holger Vonderlind)

Die im Jahr 2003 errichtete Forschungsplattform Fino 1 befindet sich etwa 45 km nördlich der Insel Borkum. Fino 1 ist auf einem Jacket-Fundament gegründet und besitzt somit eine offshore-typische Konstruktionsweise, die auch vielfach für Bohrinselfen, Konverter-Plattformen oder Windkraftanlagen zum Einsatz kommt. Fino 1 ist in extremen Maße Wind und der Meeresatmosphäre ausgesetzt. Aus korrosionsschutztechnischer Sicht ist die Plattform gemäß aktueller DIN EN ISO 12944 [3] in die Korrosivitätskategorie CX (Korrosionsbelastung: extrem) einzuordnen, zu der Offshore-Bereiche mit hoher Salzbelastung wie beispielsweise Ölplattformen und Windparks gehören.

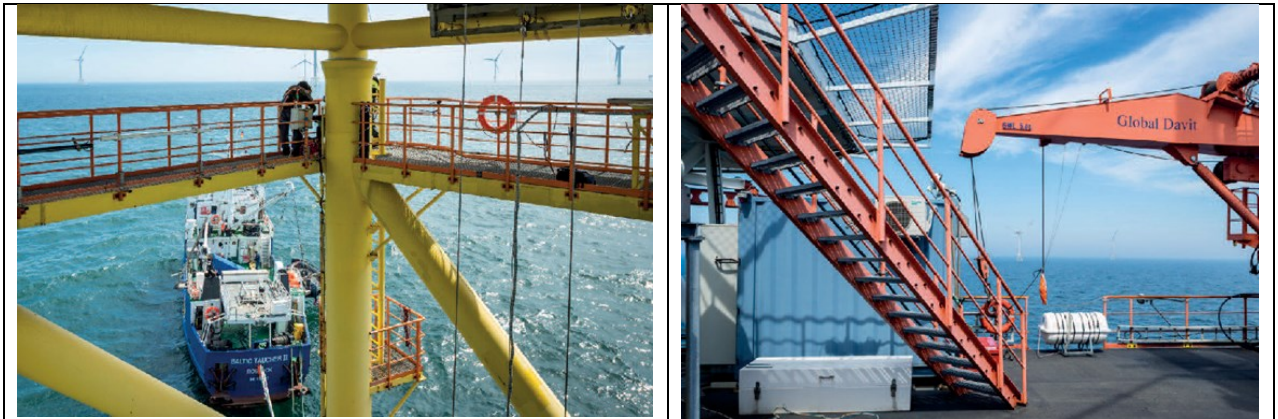


Abbildung 18: Die im Duplex-System hergestellten Bauteile der Offshore-Forschungsstation Fino 1 sind nach 10 Jahren mängelfrei, während die nur beschichteten Stahlbauteile Korrosionserscheinungen aufweisen. (Fotos: Holger Vonderlind)

Als Korrosionsschutz für die Fino- 1-Plattform kamen überwiegend reine Beschichtungssysteme zum Einsatz. Ausnahmen bildeten die Geländer des Laufstegs und der Aufstieg zum Helicopter-Deck, die als Duplex-Systeme ausgeführt wurden (Abbildung 18). Hierdurch ist eine direkte Vergleichsmöglichkeit des Korrosionsschutzes gegeben. Nach zehnjährigem Betrieb erfolgte eine Begutachtung des Korrosionsschutzes der Forschungsplattform im Rahmen einer Vor-Ort-Untersuchung. Die Begutachtung erfolgte durch die Helmut Müller Protective Coating Consult [12] im Auftrag der Firma Sika Deutschland, einem Hersteller von Korrosionsschutzbeschichtungssystemen.

An den als Duplex-System ausgeführten Stahlbauteilen wurden bei der Begutachtung nach 10 Jahren Einsatz unter sehr hoher Korrosionsbelastung keine Mängel in Form von Korrosion festgestellt. Im Gegensatz dazu zeigten die beschichteten Bereiche des oberen Jackets diverse, teilweise erhebliche Korrosionserscheinungen, die bis zu Durchrostungen reichten.

In Tabelle 3 werden die Anforderungen an reine Beschichtungssysteme und Duplex-Systeme nach DIN EN ISO 12944-Teil 9 [3] für die Anwendung im Offshore-Bereich (Korrosivitätskategorie CX) vergleichend gegenübergestellt.

Tabelle 3: Vergleich: Mindestanforderungen an Beschichtungssysteme und ihre anfängliche Leistung gemäß DIN EN ISO 12944- Teil 9 [3]

	Gestrahlter unlegierter Stahl: SA 2 ¹ /2, Oberflächenprofil: mittel (G)		Feuerverzinkter Stahl oder Stahl mit thermisch gespritztem Zinküberzug ^{a)}
Art der Umgebung	CX (Offshore)		CX (Offshore)
Art des Grund- beschichtungsstoffes	Zn (R) ^{b)}	andere Grund- beschichtungsstoffe	
NDTF	≥ 40 µm	≥ 60 µm	
Mindestanzahl der Schichten	3	3	2
NDFT des Beschichtungssystems	≥ 280 µm	≥ 350 µm	≥ 200 µm

a) Die Dicke des metallischen Überzugs muss nach ISO 1461 (feuerverzinkt) oder ISO 2063 (alle Teile) (thermisch gespritzter Metallüberzug) sein, und der Metallüberzug muss wie in ISO 12944-4 angegeben, vorbereitet sein. Das Überschichten von thermisch gespritztem Aluminium (TSA) wird nicht empfohlen, da die Gefahr besteht, dass die Beschichtung abblättert und am TSA Korrosion auftritt. Für TSA wird nur eine Versiegelungsschicht empfohlen.

b) b) ZN (R) = zinkstaubreicher Grundbeschichtungsstoff nach ISO 12944-5

10. Auswahl von Korrosionsschutzsystemen

Die Auswahl eines Schutzsystems für Stahlkonstruktionen hängt stark von den korrosiven Belastungen am Standort ab. Hierzu gehören mikro- und makroklimatische Einflüsse. Dies sind atmosphärische Belastungen durch Wind, Wetter, Verunreinigungen in der Luft und lokale Einflüsse wie Meeres- und Flussnähe. Auch zu beachten sind eventuelle Tausalzeinflüsse und verwendungsbedingte Faktoren wie chloridhaltige Luft in Schwimmbädern oder extreme Luftfeuchtigkeit zum Beispiel in Wäschereien. Ebenso müssen konstruktionsbedingte Problemzonen berücksichtigt werden. Hierzu zählen scharfe Profilkanten, Spalten und Fugen, freiliegende Schrauben- und Nietköpfe sowie Handschweißnähte und unzugängliche Stellen. Ein weiterer Aspekt sind mechanische Belastungen durch Transport, Handling und Montage während der Bauphase sowie Belastungen durch Steinschlag, Sandabrieb und Stöße beispielsweise durch Gabelstaplerbetrieb in der Nutzungsphase. Eine beispielhafte Anwendung aus dem Bereich ÖPNV zeigt Abbildung 19.

Gemäß den in Deutschland vorherrschenden atmosphärischen Belastungen erreicht eine Feuerverzinkung in der Regel eine Schutzdauer von 50 Jahren und mehr, wenn keine korrosiven Zusatzbelastungen zu erwarten sind. Die Korrosivitätskategorien nach DIN EN ISO 14713-1 [10] unterstützen bei einer groben Abschätzung der Schutzdauer einer Feuerverzinkung.

Die Fälle extremer Korrosionsbelastung, bei denen eine Feuerverzinkung keinen hinreichend langen Schutz bietet, sind heute eher selten. Aus korrosionsschutztechnischer Sicht ist der Einsatz von Duplex-Systemen in der Regel erst ab der Korrosivitätskategorie C4 erforderlich. Die Bedeutung von Duplex-Systemen erstreckt sich bei Belastungen gemäß der Korrosivitätskategorien bis C3 primär auf die Gestaltung durch eine gewünschte Farbgebung.



Abbildung 19: Duplex- beschichtete ÖPNV-Bauten: ZOB Bochum (Böll Architekten);
Haltstelle Wilhelma Stuttgart (Kaag Schwarz Architekten); ZOB Emsdetten (OX2 Architekten)

11. Aufbau und Eigenschaften von Duplex-Systemen

Wesentliche Eigenschaften von Beschichtungssystemen, z. B. Diffusionsdichte, UV-Stabilität, Alkalibeständigkeit, müssen bei der Planung von Duplex-Systemen berücksichtigt werden. Eine einwandfreie Haftung der Beschichtung auf dem Zinküberzug ist Voraussetzung für einen langfristigen Schutz. Prinzipiell sollten für Duplex-Systeme nur solche Beschichtungen verwendet werden, die sich auf Zink oder Zinküberzügen bewährt haben und darüber hinaus auch entsprechende Eignungsprüfungen bestanden haben. Angaben zur Eignung von Beschichtungstoffen für feuerverzinkten Stahl sind im produkttechnischen Datenblatt des Herstellers zu finden.

Je nach Anwendungsfall werden bei Duplex-Systemen in Abhängigkeit von der geforderten Schutzdauer und der Korrosionsbelastung auf den Zinküberzug ein bis zwei Schichten mit Gesamtschichtdicken von 80 bis 240 Mikrometer appliziert. Die Zusammensetzung der Beschichtungsstoffe hat einen erheblichen Einfluss auf die Haftfestigkeit der Beschichtungen auf der Feuerverzinkung. Organische Substanzen, die mit dem Zinküberzug reagieren und lösliche, instabile, haftungsmindernde Schichten bilden, dürfen nicht verwendet werden. Voraussetzung für ein wirksames Duplex-System ist eine ausreichende Überdeckung des Zinküberzuges.

12. Korrosionsschutzplanung und Schutzdauer von Duplex-Systemen

Ein wirksamer Korrosionsschutz, der über Jahrzehnte zuverlässig funktioniert, muss frühzeitig und systematisch geplant werden. Eine korrosionsschutzgerechte Konstruktion und Fertigung der Stahlkonstruktion bietet eine wichtige Voraussetzung für einen wirksamen Langzeit-Korrosionsschutz. Wertvolle Informationen hierzu können den Normen DIN EN ISO 12944 Teil 1-9 und DIN EN ISO 14713 Teil 1-2 [10], [11] entnommen werden.

Im Hinblick auf die Schutzdauer von Duplex-Systemen machen die einschlägigen Normen nicht immer hilfreiche Angaben. So machen die Nassbeschichtungsnorm DIN EN ISO 12944-5 [3] bzw. die Pulverbeschichtungsnorm DIN 55633-1 [5] lediglich Angaben zur Schutzdauer des Farbbeschichtungssystems, aber keine Angaben zur Schutzdauer des Gesamtsystems, die um ein Mehrfaches höher liegt als die in den beiden Normen angegebenen Werte.

Duplex-Systeme auf der Basis einer Stückverzinkung in Kombination mit Nass- oder Pulverbeschichtungen gewährleisten heutzutage zumeist Korrosionsschutzdauern von mehr als 50 Jahren. Das hängt mit der gestiegenen Qualität und Leistungsfähigkeit dieser Systeme zusammen, aber auch mit der verringerten Korrosionsbelastung der uns umgebenden Atmosphäre, die in DIN EN ISO 12944-2 [3] standardisiert ist. In der Praxis kommt es üblicherweise zu Zusatzbelastungen, die über die Einwirkung der Witterung hinausgehen, z. B. mechanische Einflüsse. Belastungen beim Transport und bei der Montage gehören ebenso dazu wie z. B. Steinschlag

und Abrieb während der Nutzungsphase, die unter anderem durch Publikums- oder Straßenverkehr verursacht werden können. Derartige Einflüsse können die Schutzdauer auch von Kombinationssystemen erheblich verringern und sollten angemessen berücksichtigt werden.

Duplex-Systeme bieten aber auch beim Vorliegen von mechanischen Belastungen beste Voraussetzungen für eine lange Schutzdauer, da selbst bei einem Versagen der Farbbeschichtung als Folge der mechanischen Belastung immer noch der Zinküberzug mit seiner extrem hohen Belastbarkeit zur Verfügung steht. In diesem Zusammenhang muss auch die hohe Beständigkeit von Duplex-Systemen an Kanten hervorgehoben werden. Denn gerade an Kanten wird der Korrosionsschutz vielfach stark belastet. Farbbeschichtungen allein haben dort zumeist Schwachstellen, da aus physikalischen Gründen flüssige Beschichtungsmittel an Kanten stets nur eine relativ dünne Schichtdicke ausbilden (Kantenflucht). Dieses ist bei der Feuerverzinkung nicht der Fall. Der starke Schutz des Zinküberzuges hilft, diesen Effekt zu kompensieren; Schwachstellen werden so vermieden (Abbildung 20).

13. Ausschreibung und Ausführung von Duplex-Systemen

13.1 Musterausschreibung zu Duplex-Systemen als Download

Wie bei allen Gewerken ist auch beim Korrosionsschutz ein richtiger Ausschreibungstext die Basis für eine fachgerechte Ausführung. Muster-Ausschreibungstexte für Duplex-Systeme stehen in der jeweils aktuellen Form als kostenloser Download unter: www.feuerzinken.com/ausschreibungstexte zur Verfügung.

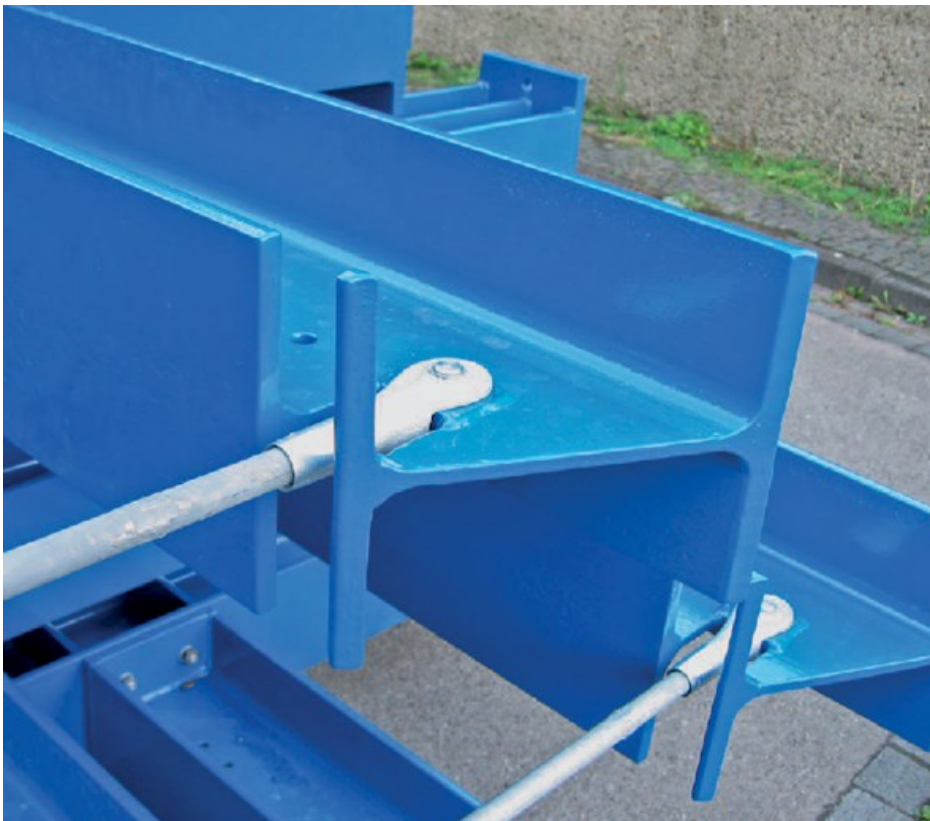


Abbildung 20: Feuerverzinkte und nassbeschichtete Stahlbauteile mit zahlreichen Spalten, Ecken und Kanten

13.2 Ausführung von Duplex-Systemen

Soll ein feuerverzinktes Bauteil zusätzlich beschichtet werden, ist es notwendig, die Feuerverzinkerei vor dem Verzinken des Bauteils hierüber zu informieren. Der Verzinkungsbetrieb ist ferner vorab darauf hinzuweisen, dass er keine Maßnahmen ergreift, die das Haftvermögen und die Eigenschaften einer Beschichtung negativ beeinflussen können. Dies kann bei der Auftragsvergabe durch die Angabe: „t Zn k – keine Nachbehandlung“ erfolgen. Für den Fall, dass Ausbesserungen am verzinkten Bauteil erfolgen sollen, muss die Feuerverzinkerei den Auftraggeber über die vorgesehene Art einer möglichen Ausbesserung informieren. Der Kunde und der Beschichter sollten sich vorab vergewissern, dass das gewählte Ausbesserungsverfahren für die nachfolgende Beschichtung geeignet ist.

Bei gesonderten z. B. erhöhten optischen Anforderungen an das Bauteil kann es erforderlich sein, die stückverzinkten Bauteile vor der nachfolgenden Beschichtung zusätzlich durch sogenanntes „Feinverputzen“ (z. B. Schleifen der Oberfläche) nachzuarbeiten. Diese zusätzlichen Arbeiten sind nicht über die DIN EN ISO 1461 [2] abgedeckt und müssen im Bedarfsfall zusätzlich bereits bei der Auftragsvergabe zwischen den Parteien vereinbart werden.

13.3 Oberflächenvorbereitung und Applikation von Nassbeschichtungen

Das ausführende Beschichtungsunternehmen hat sich vor der Applikation vom Zustand des Zinküberzuges und von seiner Eignung als Beschichtungsträger zu überzeugen. Eine Oberflächenvorbereitung des Zinküberzuges ist in der Regel erforderlich, um die Haftfestigkeit einer Beschichtung auf der Feuerverzinkung zu gewährleisten. Eventuell vorliegende arteigene Produkte (z. B. Weißrost) und artfremde Verunreinigungen (z. B. Schmutz, Öl, Fett usw.) müssen zuvor entfernt werden.

Die Ausführung der fachgerechten Oberflächenvorbereitung liegt im Verantwortungsbereich des Beschichtungsunternehmens. Art und Umfang der Oberflächenvorbereitung sind abhängig vom Oberflächenzustand der Feuerverzinkung, vom aufzubringenden Beschichtungsstoff, von der späteren Korrosionsbelastung (Korrosivitätskategorie und erwartete Schutzdauer) sowie von der technischen Durchführbarkeit.

Als Vorbereitungsverfahren von feuerverzinkten Oberflächen hat sich neben den Reinigungsverfahren, wie Abwaschen, Entfetten, Abbürsten oder Druckwasserstrahlen, das sogenannte Sweep-Strahlen bewährt, ein sanftes Strahlverfahren mit abgesenkten Strahlparametern und der Verwendung von nichtmetallischen Strahlmitteln zum Reinigen und Anrauen der Zinkoberfläche. Nach dem Sweep-Strahlen muss die Oberfläche einheitlich matt aussehen. In der Praxis bewährte Parameter für das Sweep-Strahlen sind Tabelle 4 zu entnehmen. Weitere Oberflächenvorbereitungsverfahren sind Reinigen (zum Beispiel durch Abbürsten, Abwaschen, Druckwasserstrahlen, etc.) oder Entfetten.

Tabelle 4: Parameter für sachgerechte Ausführung von Sweepen feuerverzinkter Oberflächen

Stahlmittel	Nichtmetallische Schlacken, Korund, Chromgussgranulate, Glasbruch, Glasperlen
Teilchengröße Stahlmittel	0,25 bis 0,50 mm
Strahldruck an der Düse	2,5 bis 3,0 bar
Strahlwinkel	< 30° zur Oberfläche (Bauteilgeometrie beachten)

Ein Aspekt der fachgerechten Oberflächenvorbereitung ist die technische Durchführbarkeit. Abbildung 21 zeigt eine optimal vorbereitete feuerverzinkte Oberfläche. Die werksseitige Oberflächenvorbereitung und Beschichtung ist der bauseitigen vorzuziehen. Werden feuerverzinkte Stahlbauteile werksseitig sehr zeitnah nach dem Aufbringen des Zinküberzuges beschichtet, reicht oftmals „nur“ eine fachgerechte Reinigung der feuerverzinkten Oberfläche. Eine enge Abstimmung mit dem Beschichtungsstoffhersteller mit entsprechenden Prüfnachweisen ist erforderlich.



Abbildung 21: Eine einwandfreie Oberflächenvorbereitung vor dem Beschichten ist wichtig

Flüssig-Beschichtungsstoffe können grundsätzlich sowohl im Werk als auch auf der Baustelle durch Spritzen, Rollen und Streichen appliziert werden. Für neu zu errichtende Stahlkonstruktionen empfiehlt sich die werksseitige Applikation der Beschichtung unter definierten, optimalen Bedingungen im Fachbetrieb. Montagebedingte Beschädigungen der Beschichtung können in den meisten Fällen einfach und problemlos vor Ort ausgebessert werden. Die Verarbeitung der Beschichtungsstoffe sowie eine evtl. produktspezifische Oberflächenvorbereitung sind nach den Vorgaben des Beschichtungsstoff-Herstellers durchzuführen. Beispielhafte Systeme, wie sie in DIN EN ISO 12944-5 [3] definiert wurden, sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Beispiele für Duplex-Systeme mit Flüssig-Beschichtungsstoffen

Schutzdauer		Niedrig		Mittel		Lang		Sehr Lang	
Art des Substrates		Feuerverzinkter Stahl		Feuerverzinkter Stahl		Feuerverzinkter Stahl		Feuerverzinkter Stahl	
Bindemittelbasis des Grundbeschichtungsstoffes		EP, PUR	AY	EP, PUR	AY	EP, PUR	AY	EP, PUR	AY
Bindemittelbasis der nachfolgenden Schichten		EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY
C2	MNOC	a		a		1	1	1	2
	NDFT					80	80	120	160
C3	MNOC	a		1	1	1	2	2	2
	NDFT			80	80	120	160	160	200
C4	MNOC	1	1	1	2	2	2	2	
	NDFT	80	80	120	160	160	200	200	
C5	MNOC	1	2	2	2	2		2	
	NDFT	120	160	160	200	200		240	

Anmerkungen/Hinweise: a = Es ist ein System für eine hohe Korrosivitätskategorie oder Schutzdauer zu verwenden; MNOC = Mindestzahl an Schichten; NDFT = Mindestsollschichtdicken; C2, C3, C4, C5 = Korrosivitätskategorien: Bei Einschichten wird die Bindemittelbasis des Grundbeschichtungstoffes empfohlen.

Die Schutzdauer für Nassbeschichtungssysteme ist in DIN EN ISO 12944-1 (Ausgabe April 2018) [3] definiert:

Kurz (L) – Low = bis zu 7 Jahren

Mittel (M) – Medium = 7 bis 15 Jahren

Hoch (H) – High = 15 Jahre bis 25 Jahren

Sehr Hoch (VH) – Very High = über 25 Jahren

Die Schutzdauer gibt den Zeitraum bis zur ersten Erneuerung einer Beschichtung an, wobei das Ausmaß der aufgetretenen Beschichtungsschäden vereinbart sein muss. Es ist zu beachten, dass sich die Schutzdauer gemäß DIN EN ISO 12944-1 [3] ausschließlich auf das Beschichtungssystem bezieht und nicht den zusätzlichen Schutz der Feuerverzinkung berücksichtigt.

13.4 Oberflächenvorbereitung und Applikation der Pulverbeschichtung

Das ausführende Beschichtungsunternehmen hat sich vor der Applikation vom Zustand des Zinküberzuges und von seiner Eignung als Beschichtungsträger zu überzeugen. Eine Oberflächenvorbereitung und/oder Vorbehandlung des Zinküberzuges ist in der Regel erforderlich, um die Haftfestigkeit einer Beschichtung auf der Feuerverzinkung zu gewährleisten. Eventuell vorliegende arteigene Produkte (z. B. Weißrost) und artfremde Verunreinigungen (z. B. Schmutz, Öl, Fett usw.) müssen zuvor entfernt werden. Die Ausführung der fachgerechten Oberflächenvorbereitung liegt im Verantwortungsbereich des Beschichtungsunternehmens.

Art und Umfang der Oberflächenvorbereitung sind abhängig vom Oberflächenzustand der Feuerverzinkung, von dem aufzubringenden Beschichtungstoff, von der späteren Korrosionsbelastung (Korrosivitätskategorie und erwartete Schutzdauer), von der technischen Durchführbarkeit. Die Vorbereitung der für das Pulverbeschichten (gemäß DIN 55633 [5]) als geeignet befundenen verzinkten Oberflächen erfolgt durch Sweep-Strahlen und/ oder durch Gelb-Chromatieren. Andere Verfahren mit gleicher Eignung sind möglich.

Sweep-Strahlen stellt ein sanftes Strahlen mit nichtmetallischen Strahlmitteln zum Reinigen und Anrauen der Zinkoberfläche. Nach dem Sweep-Strahlen muss die Oberfläche einheitlich matt aussehen (s. DIN EN ISO 12944-4 [3]). In der Praxis bewährte Parameter für das Sweep-Strahlen sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Das nur im Werk durchzuführende Verfahren beinhaltet folgende technologische Schritte: Entfetten, Spülen, Beizen (Aktivieren), Spülen, Aufbringen einer Konversionsschicht (z. B. Gelb-Chromatieren oder alternative Verfahren), Spülen, Spülen mit entsalztem Wasser, Trocknen. Mittlerweile sind auch Cr(VI)-freie Verfahren am Markt verfügbar.

Pulver-Beschichtungstoffe können nur im Werk per Hand- oder Automatanlage durch Sprühen appliziert werden. Nach der Beschichtung erfolgt die Aushärtung zumeist in einem Einbrennofen bei Temperaturen von 150 °C bis 220 °C. Die Verarbeitung der Beschichtungstoffe sowie eine evtl. produktspezifische Vorbereitung der Oberflächen sind nach den Vorgaben des Beschichtungstoff-Herstellers durchzuführen. Zum Schutz vor Beschädigung beim Transport oder weiterer Montage sind entsprechende Maßnahmen vorzusehen. Zwischen den Vertragspartnern sollten im Vorfeld Regelungen über die Ausbesserung von evtl. Beschädigungen getroffen werden. In Tabelle 6 werden Duplex-Systeme auf Basis von Pulver-Beschichtungstoffen nach DIN 55633-1 [5] vorgestellt.

Tabelle 6: Beispiel Duplex-Systeme mit Pulver-Beschichtungsstoffen

Beispiele für Duplex-Systeme mit Pulver-Beschichtungsstoffen																												
Oberflächen- vorbereitung /Vorbehand- lung*	Grundbeschichtung			Deckbeschichtung inkl. Zwischen- beschichtung			Gesamt- system		Erwartete Schutzdauer für Korrosivitätskategorien C2 bis C5 L=Niedrig, M=Mittel, H=Hoch, VH=Sehr Hoch																			
	Binde- mittel- basis	Anzahl Schich- ten	NDFT µm	Binde- mittel- basis	Anzahl Schich- ten	NDFT µm	Anzahl Schich- ten	NDFT µm	C2				C3				C4				C5							
									L	M	H	VH	L	M	H	VH	L	M	H	VH	L	M	H	VH				
Sw	-	-	-	SP, PUR, PVDF	1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
AP		-	-		1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ZP		-	-		1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Chr		-	-		1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sw	-	-	-	EP/SP ²	1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
AP	-	-	-	EP/SP ²	1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ZP	-	-	-	EP/SP ²	1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Chr	-	-	-	EP/SP ²	1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sw	EP	1	60	EP/SP ²	1	70	2	130	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
AP		1	60	SP ¹ ,	1	70	2	130	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ZP		1	60	PUR ¹ ,	1	70	2	130	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Chr		1	60	PVDF ¹ ,	1	70	2	130	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

*Chr=Gelb-Chromatieren; Sw=Sweep-Strahlen; AP=Alternative Passivierung (Alternative, in gleicher Weise geeignete Vorbereitungs- und Vorbehandlungsverfahren sind zulässig); ZP=Zinkphosphatierung

Auch hier ist zu beachten, dass sich die Schutzdauer ausschließlich auf das Beschichtungssystem bezieht und nicht den zusätzlichen Schutz der Feuerverzinkung berücksichtigt. Die Schutzdauer des Gesamtsystems aus Feuerverzinkung und Beschichtung ist um ein Vielfaches höher. Abbildung 23 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Duplex-Systems mit feuerverzinkten und anschließend pulverbeschichteten Stahlbauteilen.

Für das Gros der pulverbeschichteten Stahl- und Metallbauteile (mit einer Materialdicke größer 3 mm) ist die DIN 56633-1 [3] anzuwenden, welche im Jahr 2021 umfassend überarbeitet wurde.



Abbildung 23: Feuerverzinkte und pulverbeschichtete Stahlbauteile.

Für die dünnwandigen tragenden Bauteile (in der Regel mit Materialdicken kleiner 3 mm) die einen Zinküberzug nach DIN EN ISO 1461 [2] aufweisen und zusätzlich flüssig- oder pulverbeschichtet (stückbeschichtet) werden, legt hingegen der Teil 1 der DIN 55634 „Beschichtungsstoffe und Überzüge – Korrosionsschutz von tragenden dünnwandigen Bauteilen aus Stahl“ [4] die Anforderungen und Prüfverfahren fest. Als Oberflächenvorbereitung bzw. -vorbehandlung der feuerverzinkten (stückverzinkten) Oberflächen wird nach dieser Norm neben dem Sweepen und Chromatieren auch das Zinkphosphatieren als geeignetes Oberflächenvorbehandlungsverfahren angegeben. Ferner sind z. B. alternative Passivierungen und alternative in gleicher Weise geeignete Vorbereitungs- und Vorbehandlungsverfahren möglich. Die Eignung hierfür ist entsprechend nachzuweisen.

14 Duplex-Systeme in der Forschung

Auf dem Gebiet der Duplex-Systeme wird ständig weitergeforscht. Untersuchungen zum derzeit gegenwärtigen Trend, stückverzinkte Oberflächen unmittelbar nach dem Verzinkungsprozess ohne Oberflächenbehandlung zu beschichten wurden z.B. kürzlich abgeschlossen. Ebenso gibt es aktuell Untersuchungen zum Korrosionsschutz im Bereich der Offshore-Windenergie, bei dem Testbleche im Offshore-Bereich ausgelagert wurden.

15 Schlussfolgerungen

Duplex-Systeme haben sich über viele Jahrzehnte am Markt im schweren Korrosionsschutz von Stahlbauteilen etabliert. Mittlerweile gibt es zahlreiche mit Duplex-Systemen ausgeführte Praxisbeispiele, die die Leistungsfähigkeit dieser Systeme belegen. Diese Eigenschaften finden sich häufig nicht derartig transparent in den technischen Normen wieder.

Die normativen Anforderungen an Nass- und Pulverbeschichtungssysteme wurden in den letzten Jahren angepasst und sind in Teilen auch aktuell Gegenstand der Überarbeitung. Somit stehen dem Anwender heute hinreichende Regelwerke zur Ausschreibung und Spezifikation derartiger Systeme zur Verfügung.

16 Literatur

- [1] N.N., Duplex-Systeme: Feuerverzinken plus Beschichten, Fachbroschüre, Insitut Feuerverzinken GmbH, Düsseldorf (2019)
- [2] N. N., DIN EN ISO 1461:2022-12, Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrachte Zinküberzüge (Stückverzinken) - Anforderungen und Prüfungen, Beuth-Verlag, Berlin (2022)
- [3] N. N., DIN EN ISO 12944 Teile 1-9: 2018, Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme, Beuth-Verlag, Berlin (2018)
- [4] N. N., DIN 55634-1:2018-03, Beschichtungsstoffe und Überzüge - Korrosionsschutz von tragenden dünnwandigen Bauteilen aus Stahl - Teil 1: Anforderungen und Prüfverfahren, Beuth-Verlag, Berlin (2018)
- [5] N. N., DIN 55633-1:2021-03, Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Pulver-Beschichtungssysteme - Teil 1: Bewertung der Pulver-Beschichtungssysteme und Ausführung der Beschichtung (2021)
- [6] N. N., DIN EN 15773:2018-03, Industrielle Pulverbeschichtung von feuerverzinkten und sherardisierten Stahlartikeln [Duplex-Systeme] - Spezifikationen, Empfehlungen und Leitlinien, Beuth-Verlag, Berlin (2018)
- [7] N. N., DASt-Richtlinie 022, Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt), Düsseldorf (2016)
- [8] N. N., DIN EN 1090-2:2018-09, Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken, Beuth-Verlag, Berlin (2018)
- [9] N.N., Arbeitsblätter Feuerverzinken, Insitut Feuerverzinken GmbH, Düsseldorf (2019)

- [10] N. N., DIN EN ISO 14713-1:2017-08, Zinküberzüge - Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion - Teil 1: Allgemeine Konstruktionsgrundsätze und Korrosionsbeständigkeit, Beuth-Verlag, Berlin (2017)
- [11] N. N., DIN EN ISO 14713-2:2020-05, Zinküberzüge - Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion - Teil 2: Feuerverzinken, Beuth-Verlag, Berlin (2020)
- [12] Helmut Müller, Helmut Müller GmbH, "Langzeiterfahrung mit Beschichtungen - FINO 1", Vortrag beim Workshop des Fachausschusses Korrosionsschutz der Hafentechnischen Gesellschaft, 23.10.2013, Hamburg