

Brückenseile mit Galfan-Überzug

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 52

bast

Brückenseile mit Galvan-Überzug

Untersuchung der Haftfestigkeit von Grundbeschichtungen

von

Heinz Friedrich
Michael Staeck

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 52

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M- Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Projekt 04222 des Arbeitsprogrammes der Bundesanstalt für Straßenwesen:
Brückenseile mit Galfan-Überzug – Untersuchung der Haftfestigkeit von Grundbeschichtungen

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9293
ISBN 3-86509-542-9

Bergisch Gladbach, September 2006

Kurzfassung – Abstract

Brückenseile mit Galfan-Überzug

Brückenseile bestehen aus zahlreichen ineinandergedrehten feuerverzinkten Drähten und sind zusätzlich von mehrschichtigen Beschichtungen vor Korrosion geschützt. Wenngleich derzeit ausschließlich Drähte mit einem Überzug aus reinem Zink zulässig sind, steht mit Galfan – einer Zink-Aluminium-Legierung – ein neuer Überzug zur Verfügung, mit dem sich ein noch besserer Korrosionsschutz erreichen lässt. Unbekannt jedoch war, ob das einzig zugelassene Beschichtungssystem für Brückenseile über eine ausreichende Haftfestigkeit auf Stahlflächen mit Galfan-Überzug verfügt.

Im Rahmen des hier beschriebenen Projekts konnte nachgewiesen werden, dass die üblicherweise bei Brückenseilen verwendete Grundbeschichtung auf Stahlflächen mit Galfan-Überzug eine mindestens genauso gute Haftfestigkeit erreicht wie auf Stahlflächen mit herkömmlichem Zink-Überzug.

Zu diesem Zweck wurden speziell angefertigte Prüfkörper praxisrelevanten Korrosionsversuchen unterzogen. Die Prüfung der Haftfestigkeit erfolgte in Form von Abreißversuchen. Auf Basis der hier gewonnenen Ergebnisse wurden die auf herkömmliche Art und Weise verzinkten und die mit Galfan verzinkten Probekörper (bei zwei unterschiedlichen Methoden der Oberflächenvorbereitung) gegenübergestellt und miteinander verglichen.

Für beide Arten der Oberflächenvorbereitung wurden bei den mit Galfan überzogenen Probekörpern jeweils bessere Ergebnisse erreicht als bei den herkömmlich verzinkten Probekörpern. Folglich kann der Überzug Galfan gegenüber dem Überzug aus reinem Zink im Hinblick auf die Haftfestigkeit der verwendeten Grundbeschichtung als mindestens gleichwertig angesehen werden.

Die gewonnenen Resultate sprechen eindeutig für eine Pilotanwendung von Seilen aus Drähten mit Galfan-Überzug in der Praxis.

Bridge cables with Galfan coating

Bridge cables consist of numerous intertwined wires and additionally are protected against corrosion by a coating-system consisting of several organic layers. Although at present only hot-galvanised wires are approved a new metallic coating is recently available: Galfan – an alloy of zinc and aluminium which is affording an even better corrosion protection. But it has not yet been verified if the only approved corrosion protection system for bridge cables adheres sufficiently good on Galfan-coated steel surfaces.

Within the scope of the described project it could be approved that the primer of the coating system normally used for bridge cables adheres at least as good on Galfan-coated surfaces as on zinc-coated surfaces.

For that reason specially produced samples were exposed under practically orientated corrosive stress. The fracture strength was examined by corresponding pull-off tests. The obtained results of both the hot-galvanised samples and the Galfan coated samples (also including two different types of surface preparation) were put opposite and compared with each other.

For both types of surface preparation the Galfan coated samples achieved better results compared to the conventionally hot-galvanised samples. Regarding the fracture strength in connection with the applied primer the Galfan coating can be regarded as at least equally good as conventional hot-galvanisation.

The obtained results seem to indicate a pilot study of bridge cables with Galfan coating in practice.

Inhalt

1	Einleitung und Grundlagen	7
1.1	Instandsetzungsmaßnahmen bei der Rheinbrücke Flehe	7
1.2	Gegenüberstellung Zink – Galfan	8
2	Ziele und Aufgabenstellung	10
2.1	Ziele	10
2.2	Aufgabenstellung	10
3	Versuchsdurchführung	10
3.1	Probekörper	10
3.2	Korrosionsversuche	11
3.3	Beständigkeit gegen Feuchtigkeit	11
3.4	Kondenswasser-Konstant-Klima	12
3.5	Wärme-Kälte-Wechselbelastung	13
3.6	Abreißversuche zur Bestimmung der Haftfestigkeit	13
4	Versuchsauswertung	14
4.1	Allgemeines	14
4.2	Null-Probe	14
4.3	Beständigkeit gegen Feuchtigkeit	15
4.4	Kondenswasser-Konstant-Klima	15
4.5	Wärme-Kälte-Wechselbelastung	17
5	Bewertung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	18
5.1	Bewertung der Abreißfestigkeit	18
5.2	Bewertung der Bruchflächen	19
5.3	Schlussfolgerungen	19
6	Bedeutung der Ergebnisse für die Praxis	19
7	Abreißfestigkeiten und Bruchflächenanteile	20
8	Zusammenfassung und Ausblick	57
9	Literatur	58

1 Einleitung und Grundlagen

1.1 Instandsetzungsmaßnahmen bei der Rheinbrücke Flehe

Die 1979 erbaute Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe ist mit einer Spannweite von 368 m eine der am weitesten gespannten Brücken am Niederrhein. Mit ihrem 145 m hohen Pylon in Form eines invertierten Y und Seilen, die jeweils in kleinen parallel geführten Seilbündeln fächerförmig entlang des Mittelstreifens der Fahrbahn verlaufen, stellt sie einen vornehmlich gestalterisch beeinflussten Sonderfall unter den zahlreichen Schrägseilbrücken am Rhein dar (siehe Bilder 1 und 2).



Bild 1: Rheinbrücke Flehe – Ansicht

Die insgesamt 96 Seile mit Durchmessern zwischen 93 mm und 111 mm ergeben hintereinandergelegt eine Strecke von etwa 18 km. Wie bei den meisten Seilbrücken in Deutschland werden auch bei der Rheinbrücke Flehe vollverschlossene Spiralseile verwendet. Ein vollverschlossenes Spiralseil besteht innen aus einem runden Kerndraht mit weiteren Runddrähten und außen aus mehreren Lagen z-förmiger Profildrähte (siehe Bild 3).



Bild 2: Rheinbrücke Flehe – Pylon und Seile

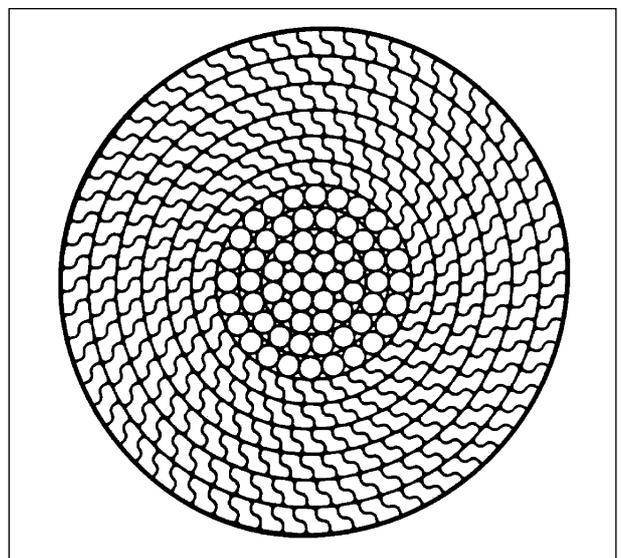


Bild 3: Querschnitt eines vollverschlossenen Spiralseils

Aufgrund der großen Gesamtoberfläche kommt im Hinblick auf die notwendige Dauerhaftigkeit des Bauteils Seil dem Korrosionsschutz eine besondere Bedeutung zu. Man unterscheidet zwischen dem inneren Korrosionsschutz, der durch Seilverfüllmittel erreicht wird, und dem äußeren Korrosionsschutz, der aus mehreren übereinanderliegenden Beschichtungen besteht.

Trotz eines derartigen Korrosionsschutzsystems wurden bei der Rheinbrücke Flehe im Zuge der Hauptprüfung der Brückenseile im Sommer 2003



Bild 4: Infolge von Drahtbrüchen aus dem Seilverband gelöste Drähte (Rheinbrücke Flehe)



Bild 5: Drahtbrüche (Rheinbrücke Flehe)

an 33 Seilen insgesamt 120 Drahtbrüche festgestellt (von denen ein Großteil bereits im Vorfeld bekannt war) (siehe Bilder 4 und 5).

Als Ursache wurde Spannungsrissskorrosion infolge Wasserstoffversprödung festgestellt, ausgelöst durch an Schadstellen des Korrosionsschutzes eindringendes Wasser, das zunächst die Zinkschicht abgetragen, dann jedoch die Stahldrähte zum Teil erheblich korrodiert hat [1].

Aufgrund dieser Schäden ist unter anderem der Austausch von 9 Brückenseilen vorgesehen. Dabei sollen erstmalig Seile aus Drähten mit Galfan-Überzug zum Einsatz kommen – einer Legierung von 95 % Zink und 5 % Aluminium –, womit sich ein noch besserer Korrosionsschutz erreichen lässt als vergleichsweise mit unlegiertem Zink. Der Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (Straßen NRW) hat entsprechende Planungsunterlagen beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW) zur Zustimmung eingereicht.

Da jedoch unbekannt ist, ob das vorgesehene und gleichzeitig einzig zugelassene Beschichtungssystem (siehe ZTV-KOR-Stahlbauten, Anhang A, Tabelle 2, Bauteil Nr. 7.2) über eine ausreichende Haftfestigkeit auf Stahlflächen mit Galfan-Überzug verfügt, wurden entsprechende, aufeinander abgestimmte Laboruntersuchungen sowohl bei dem „Diagnose Institut Boué – Forschungs-, Entwicklungs- und Dienstleistungsgesellschaft mbH“ [2] als auch bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durchgeführt. Die Ergebnisse beider Untersuchungen dienen als fachtechnische Grundlage für eine Entscheidung darüber, ob bei den anstehenden Instandsetzungsmaßnahmen an der Rheinbrücke Flehe erstmalig Seile aus Drähten mit Galfan-Überzug eingesetzt werden können (oder nicht).

Der vorliegende Forschungsbericht beinhaltet eine Zusammenstellung der Prüfungen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus den bei der BASt durchgeführten Versuchen.

1.2 Gegenüberstellung Zink – Galfan

Neben dem seit Jahrzehnten bewährten „Feuerverzinken“ steht seit den 80er Jahren mit Zink-Aluminium-Legierungen eine neue Generation von Korrosionsschutz-Überzügen zur Verfügung. Als optimal hat sich eine Legierung von 95 % Zink und 5 %

Aluminium erwiesen, die in der Literatur als „Galfan“ bezeichnet wird. Dieser Begriff leitet sich von „Galvanisation Fantastique“ ab [3] und wird auch im Rahmen dieses Berichts verwendet. Im Folgenden werden die Korrosionsschutzüberzüge Zink und Galfan hinsichtlich ihres Aufbaus und ihres Schutzmechanismus gegenübergestellt.

Zinküberzug

Bei der Verzinkung von Stahl mit reinem Zink entsteht auf der Stahloberfläche zunächst eine Eisen-Zink-Legierungsschicht. Erst darüber bildet sich die reine Zinkschicht aus. Reines Zink ist elektrochemisch unedler als Stahl, wodurch bei einer korrosiven Belastung mit hohen Auflösungsgeschwindigkeiten des Überzugs zu rechnen ist. Da Zink jedoch schützende Deckschichten ausbildet, ist es über einen weiten pH-Bereich beständig. In atmosphärischer Umgebung bildet sich (bei Gegenwart von Kohlendioxid) eine gut schützende, basische Zinkcarbonat-Schicht. Diese kann bei Bewitterung im Laufe der Zeit abgetragen werden, bildet sich jedoch aus „frischem“ metallischem Zink auf der Bauteiloberfläche immer wieder neu.

Ist die reine Zinkschicht lokal vollständig abgetragen, kommt es durch Korrosion an der Eisen-Zink-Legierungsschicht zur Bildung von bräunlichen Korrosionsprodukten, die neben Zinkverbindungen auch Eisenoxid enthalten. Das Eisen stammt hierbei aus der Legierungsschicht, sodass es noch nicht zur Korrosion des Stahls kommt.

Nach einem lokal vollständigen Abtrag des Zinküberzugs wird der freigelegte Stahl kathodisch geschützt, da der Grundwerkstoff Stahl als kleinflächige Kathode und der Zinküberzug als großflächige Anode fungiert.

Galfan-Überzug

Bei der Beschichtung von Stahl mit Galfan entsteht auf der Stahloberfläche zunächst eine dünne aluminiumreiche Legierungsschicht, die neben Aluminium und Zink auch Eisen enthält. Oberhalb dieser Schicht scheidet sich ein Zink-Aluminium-Eutektikum mit etwa 5-Massen-% Aluminium ab, in das mehr oder weniger große zinkreiche Mischkristalle eingelagert sind.

Die Korrosionsschutzwirkung von Galfan entspricht einer Überlagerung der beiden Schutzwirkungsmechanismen der einzelnen Legierungselemente. Aluminium bietet in einem pH-Bereich von

4 bis 8 durch die Bildung einer Oxidschicht einen guten Schutz vor gleichmäßiger Korrosion. Dieses passivierende Aluminiumoxid ist jedoch nicht leitfähig, sodass kein kathodischer Schutz gegeben ist. Das Legierungselement Zink bringt seine oben beschriebene kathodische Schutzwirkung in die Legierung ein, sodass die Legierung insgesamt wiederum eine kathodische Schutzwirkung besitzt. Durch die Überlagerung der beiden Schutzmechanismen weist der Galfan-Überzug im Vergleich zum reinen Zinküberzug eine höhere Korrosionsbeständigkeit ohne eine Verminderung des kathodischen Schutzes auf [4].

Das Modell des Korrosionsschutzmechanismus von Galfan ist schematisch in Bild 6 dargestellt.

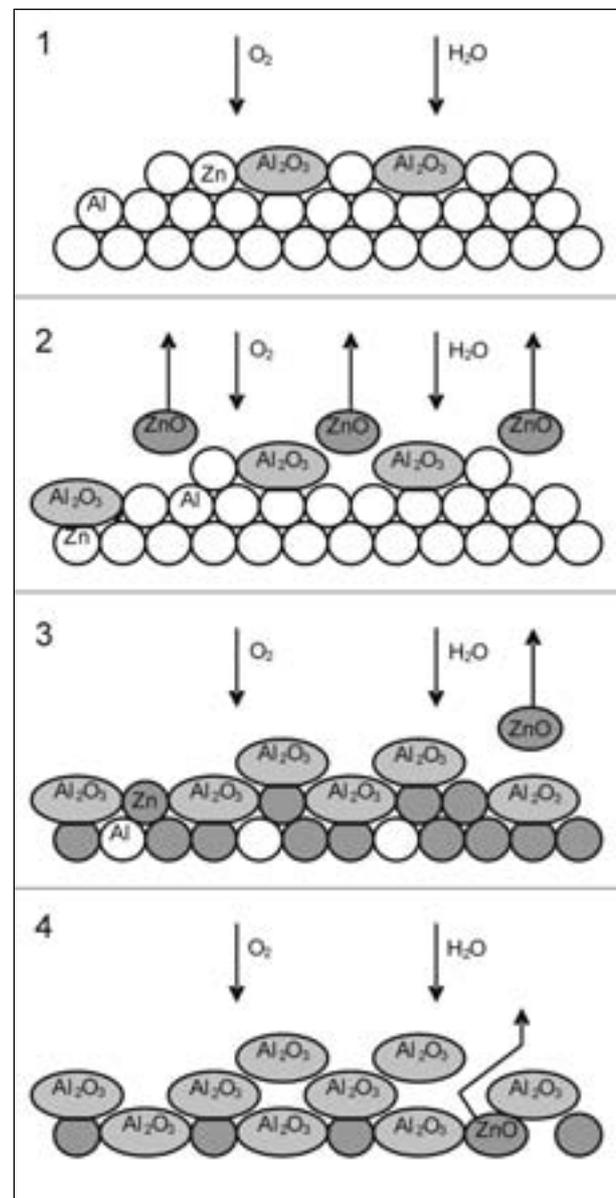


Bild 6: Schematisches Korrosionsmodell von Galfan

In einem ersten Stadium (Bild 6-1) bildet sich an der Oberfläche zunächst eine Aluminiumoxidschicht (Al_2O_3), da die Affinität des Aluminiums zu Sauerstoff doppelt so hoch ist wie die des Zinks. Im zweiten Schritt wird das an der Oberfläche befindliche Zink oxidiert. Da das Zinkoxid nicht fest an der Oberfläche haftet, kann es herausgelöst werden (Bild 6-2), und die Vorgänge des ersten Schrittes wiederholen sich an den darunterliegenden Schichten (Bild 6-3), bis auf der Oberfläche des Bauteils eine reine, fest haftende, dichte und thermodynamisch stabile Aluminiumoxidschicht zurückbleibt. Die Bildung dieser Aluminiumoxidschicht führt zu einer Verlangsamung des Schichtabbaus mit zunehmender Belastungsdauer.

2 Ziele und Aufgabenstellung

2.1 Ziele

Vorrangiges Ziel des Projekts ist es nachzuweisen, dass die üblicherweise bei Brückenseilen verwendete Grundbeschichtung auf Stahlflächen mit Galfan-Überzug eine mindestens gleich gute Haftfestigkeit erreicht wie auf Stahlflächen mit herkömmlichem Zink-Überzug. Dieser Eignungsnachweis dient als fachtechnische Grundlage für eine Entscheidung über die mögliche Pilotanwendung von Seilen aus Drähten mit Galfan-Überzug bei den demnächst anlaufenden Instandsetzungsmaßnahmen an der Rheinbrücke Flehe.

Die bei diesem Bauwerk aufgetretenen Schäden zeigen, dass trotz eines Beschichtungssystems ein Eindringen von Wasser nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden kann. Die Verwendung von Drähten mit Galfan-Überzug bewirkt eine Erhöhung des inneren Korrosionsschutzes der Brückenseile. Dies stellt eine zusätzliche Sicherheitsreserve dar, die dazu beiträgt, ähnliche Schadensfälle zukünftig zu vermeiden.

Im Rahmen der Untersuchungen werden auch zwei in der Praxis übliche, jedoch unterschiedliche Verfahren der Oberflächenvorbereitung gegenübergestellt. Ziel hierbei ist es, die zu erwartenden Unterschiede der beiden Verfahren sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht nachzuweisen.

Um zu erreichen, dass neben dem (Pilot-)Projekt „Rheinbrücke Flehe“ auch andere Maßnahmen im Zusammenhang mit Brückenseilen von den hier gewonnenen Erkenntnissen profitieren, sollten die

Versuchsergebnisse bei der Überarbeitung der entsprechenden Regelwerke berücksichtigt werden (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING [5]; Teil 4 Stahlbau, Stahlverbundbau; Abschnitt 4 Korrosionsschutz von Seilen und Kabeln).

Darüber hinaus könnten die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt auch auf andere Bauteile als „Brückenseile“ übertragen werden und tragen womöglich auch hier zu zusätzlicher Sicherheit und mehr Dauerhaftigkeit bei.

2.2 Aufgabenstellung

Wesentliche Maßgaben für die Aufgabenstellung ergaben sich aus der Kopplung mit den parallel laufenden Untersuchungen bei dem „Diagnose Institut Boué – Forschungs-, Entwicklungs- und Dienstleistungsgesellschaft mbH“ [2]. Während dort möglichst realitätsnah „echte“ Seilkörper mit kompletten Beschichtungs-Systemen untersucht wurden, bestand im Rahmen des BAST-Projekts die Aufgabe, gezielt die Haftfestigkeit der Grundbeschichtung auf dem Zink- bzw. auf dem Galfan-Überzug zu prüfen.

Zu diesem Zweck wurden speziell angefertigte Prüfkörper praxisrelevanten Korrosionsversuchen unterzogen. Nach einer ausreichenden Konditionierungsphase erfolgte die Prüfung der Haftfestigkeit in Form von Abreißversuchen. Auf Basis der hier gewonnenen Ergebnisse wurden die Probekörper mit herkömmlichem Zink-Überzug und die Probekörper mit Galfan-Überzug (bei verschiedenen Methoden der Oberflächenvorbereitung) gegenübergestellt und miteinander verglichen.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Probekörper

Im Interesse einer möglichst guten Reproduzierbarkeit wurden die Untersuchungen nicht an seilartigen Probekörpern, sondern an ebenen Blechen mit homogener Oberfläche durchgeführt (72 Stück 100 mm x 150 mm x 3 mm und 8 Stück 140 mm x 250 mm x 3 mm). Entsprechend der Aufgabenstellung war die eine Hälfte dieser Probekörper feuerverzinkt (DX 51 D-; +Z 275; NA; chromatiert; DIN EN 10142/ 10143; Walter Patz GmbH) und die andere Hälfte mit einem Galfan-Überzug versehen (verzinkter Stahl; ZA-Überzug; AGOZAL GmbH).

Neben den beiden unterschiedlichen Überzügen wurden auch zwei unterschiedliche Arten der Oberflächenvorbereitung untersucht. Sowohl die feuerverzinkten Probekörper als auch die Probekörper mit Galfan-Überzug wurden folglich je zur Hälfte mit ammoniakalischer Netzmittelwäsche (1,2 % Ammoniaklösung + Netzmittel) und mit Sweep-Strahlen (scharfkantiges Strahlmittel, Körnung 0,3–0,7 mm, Strahlauffreffwinkel ca. 30°, 1,5 bar Druck) vorbereitet.

Im Rahmen der Instandsetzungsmaßnahmen bei der Rheinbrücke Flehe ist vorgesehen, das derzeit einzige gemäß ZTV-KOR-Stahlbauten [6] (Anhang A, Tabelle 2, Bauteil Nr. 7.2) zugelassene Korrosionsschutz-Beschichtungssystem für Seile zu verwenden. Da sich die Untersuchungen der BAST auf die Haftfestigkeit der Grundbeschichtung konzentrieren, wurde auch nur die Grundbeschichtung (DB 701 silbergrau) auf die Probekörper appliziert (mittlere Schichtdicke 87,2 µm). Die Applikation erfolgte entsprechend der üblichen Praxis per Pinsel (siehe Bild 7).

Die anschließende Konditionierungsphase betrug mindestens eine Woche (bei Raumtemperatur). Insgesamt wurden 80 Probekörper in 4 unterschiedlichen Varianten hergestellt (Tabelle 1).



Bild 7: Applikation der Grundbeschichtung

Überzug	Oberflächenvorbereitung	Anzahl
Zink	Netzmittelwäsche	20
Zink	Sweep-Strahlen	20
Galfan	Netzmittelwäsche	20
Galfan	Sweep-Strahlen	20
Σ		80

Tab. 1: Anzahl der Probekörper

3.2 Korrosionsversuche

Die Korrosionsversuche basieren auf den im Rahmen des Zulassungsverfahrens für Korrosionsschutz-Beschichtungssysteme gemäß den ZTV-KOR-Stahlbauten [6] vorgeschriebenen Prüfungen. Vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung, gezielt die Haftfestigkeit der Grundbeschichtung zu untersuchen, waren lediglich die für diesen Fall kritischen Versuche von Interesse. Die Problematik, dass diese Versuche für komplette Beschichtungssysteme ausgelegt sind, jedoch im vorliegenden Fall ausschließlich die Grundbeschichtung bewittert werden sollte, wurde durch entsprechende Anpassung der Belastungsdauer berücksichtigt. Aus diesem Grund konnten die Versuche auch nur „in Anlehnung“ an die bestehenden Prüfvorschriften erfolgen.

Im Einzelnen wurden folgende Korrosionsversuche festgelegt:

- Null-Prüfung (Referenz ohne Korrosionsbelastung),
- Beständigkeit gegen Feuchtigkeit (in Anlehnung an DIN EN ISO 6270-1 [7]),
- Kondenswasser-Konstant-Klima (in Anlehnung an DIN 50017 [8]),
- Temperatur-Wechsel-Beanspruchung (in Anlehnung an TL/TP-KOR-Stahlbauten [9], Anhang E, Blatt 84 Anhang).

In den anschließenden Kapiteln erfolgt eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Versuche.

3.3 Beständigkeit gegen Feuchtigkeit

Die Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit erfolgte in Anlehnung an DIN EN ISO 6270-1 [7] „Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit“. Bei diesem Verfahren werden beschichtete Probestplatten einer kontinuierlichen Kondensation ausgesetzt.

Die Probekörper (150 mm x 100 mm x 3 mm) wurden in einem Winkel von 15° zur Horizontalen über einem elektrisch beheizten Wasserbad mit isolierten Seitenwänden montiert. Während die Temperatur im Raum außerhalb 20 °C betrug, wurden das Wasser auf etwa 40 °C und somit der Luftraum darüber auf (38 ± 2) °C erhitzt, sodass ein konstanter Temperaturunterschied von 18 °C zwischen Probekörper und Luftraum gehalten werden konnte (siehe Bilder 8 und 9).

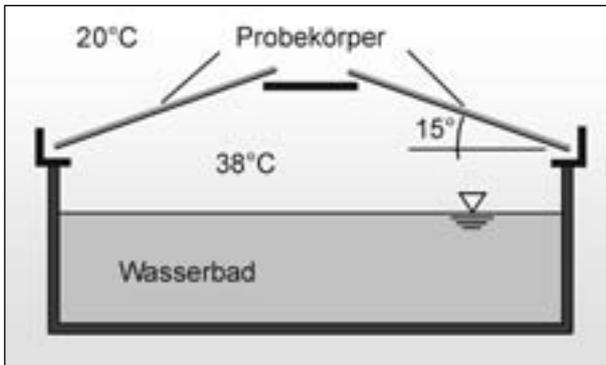


Bild 8: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit



Bild 9: Versuchsdurchführung zur Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit

Infolge des Temperaturunterschieds kondensiert das Wasser an der Oberfläche der Probekörper und läuft ab (Winkelstellung).

Während für ein komplettes Beschichtungssystem gemäß den TL/TP-KOR-Stahlbauten [9] 720 Stunden (= 52 Tage) Prüfdauer anzusetzen sind, wurde in Anbetracht der lediglich mit der Grundbeschichtung versehenen Probekörper beschlossen, die Prüfdauer zu verkürzen. Da nicht eindeutig vorherzusagen war, welche verkürzte Prüfdauer genau zu aussagekräftigen Ergebnissen führt, wurden jeweils 12 Probekörper 7, 14 und 28 Tage der Bewitterung ausgesetzt, um so ein möglichst großes Zeitspektrum abzudecken.

Die Prüfung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit ist in Bezug auf die Haftfestigkeit der Grundbeschichtung als besonders kritisch anzusehen und daher gegenüber den anderen Korrosionsversuchen von übergeordneter Bedeutung.

3.4 Kondenswasser-Konstant-Klima

Die Korrosionsbelastung der Probekörper im Kondenswasser-Konstant-Klima erfolgte in Anlehnung



Bild 10: Klimakammer (Kondenswasser-Konstant-Klima)

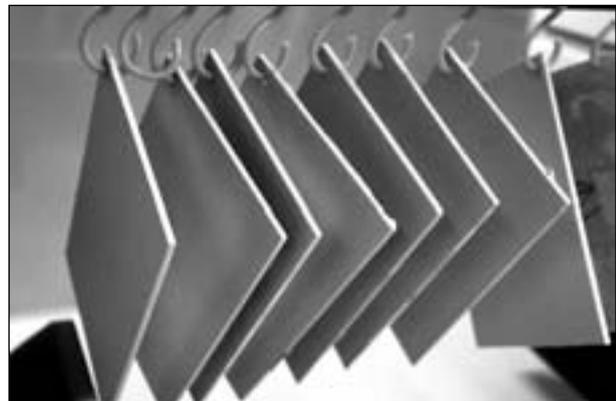


Bild 11: Probekörper (Kondenswasser-Konstant-Klima)

an DIN 50017 [8]. Die Prüfung dient zur Klärung des Verhaltens in feuchten Umgebungsklimaten.

Die Probekörper (150 mm x 100 mm x 3 mm) wurden in einer dampfdichten Klimakammer bei einer Temperatur von $(40 \pm 3)^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100 % bewittert (siehe Bilder 10 und 11).

In Anbetracht der lediglich mit der Grundbeschichtung versehenen Probekörper wurde gegenüber der gemäß RKS-Seile [10] vorgegebenen Prüfdauer von 30 Tagen eine Prüfdauer von 14 und 28 Tagen festgelegt (entsprechend Kapitel 4.3.3 Beständigkeit gegen Feuchtigkeit). Während im Vorfeld nicht abzusehen war, ob die Probekörper nach 28 Tagen Bewitterung noch brauchbar sein würden, konnte bei der Prüfdauer von 14 Tagen sehr wahrscheinlich mit aussagekräftigen Ergebnissen gerechnet werden.

Die Korrosionsbelastung im Kondenswasser-Konstant-Klima wurde insbesondere auch durchgeführt, um einen direkten Vergleich mit den Kondenswasser-Konstant-Klima-Prüfungen zu ermöglichen, die im Rahmen der Erstprüfung (Grundprüfung 1997) des Beschichtungssystems durch das

Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen [11] sowie im Rahmen der Untersuchungen bei dem „Diagnose Institut Boué – Forschungs-, Entwicklungs- und Dienstleistungsgesellschaft mbH“ [2] durchgeführt wurden.

3.5 Wärme-Kälte-Wechselbelastung

Die Wärme-Kälte-Wechselbelastung erfolgte in Anlehnung an die TL/TP-KOR-Stahlbauten [9], Anhang E, Blatt 84 Anhang. Bei diesem Verfahren wird die Beständigkeit von Beschichtungen bei extremer Temperaturbelastung untersucht.

Aufgrund der Leistungsmerkmale der verfügbaren Kühltruhe konnte lediglich eine minimale Temperatur von etwa -40 °C (anstelle von -50 °C) erreicht werden. Dies konnte jedoch in Anbetracht der lediglich mit der Grundbeschichtung beschichteten Probekörper (140 mm x 250 mm x 3 mm) als ausreichend angesehen werden. Somit ergab sich der folgende Belastungszyklus:

- 3 h Lagerung bei 60 °C ,
- 2 h Lagerung bei -40 °C ,
- 3 h Lagerung bei 60 °C ,
- 16 h Lagerung bei -40 °C .

Da im Vorfeld befürchtet wurde, dass die Grundbeschichtung einer kompletten Belastungsdauer von 20 Zyklen möglicherweise nicht standhalten würde, erfolgte nach 5, 10 und 20 Zyklen eine Prüfung von jeweils 4 Probekörpern.

Die Wärme-Kälte-Wechselbelastung stellt eine Ergänzung der anderen Korrosionsversuche dar.

3.6 Abreißversuche zur Bestimmung der Haftfestigkeit

Im Anschluss an die Korrosionsversuche (bei der Null-Prüfung im Anschluss an die Applikation des Primers) wurden die Probekörper aufgrund ihrer geringen Blechstärke von 3 mm mittels eines Zweikomponenten-Epoxidharz-Klebstoffs auf Betonplatten geklebt. Nach einer Konditionierungsphase von mindestens 24 h wurden Prüfstempel (Durchmesser 20 mm) mittels eines Cyanacrylat-Klebstoffs direkt auf die beschichteten Probekörper geklebt. Nach dem Härten des Klebstoffs wurden die Prüfstempel gemäß DIN EN ISO 4624 [12] einzeln mit einem hydraulischen Zugprüfgerät (EASY M, Maschinen und Gerätebau Josef Freundl) abgezogen



Bild 12: Aufgeklebte Probekörper und Zugprüfgerät



Bild 13: Prüfstempel mit gemischtem Bruchbild

gen und die Kraft bzw. die Zugspannung gemessen, die erforderlich war, um die schwächste Grenzfläche oder die schwächste Stelle zu brechen (siehe Bild 12).

Um die Art des Bruchs festzustellen, wurden die Bruchflächen visuell untersucht und die Lage des Bruchs nach folgendem Schema erfasst:

- A Kohäsionsbruch im Substrat (Untergrund),
- A/B Adhäsionsbruch zwischen Substrat und Primer,
- B Kohäsionsbruch im Primer,
- B/Y Adhäsionsbruch zwischen Primer und Klebstoff,

- Y Kohäsionsbruch im Klebstoff,
 Y/Z Adhäsionsbruch zwischen Klebstoff und
 Prüfstempel.

Bei den häufig auftretenden gemischten Brüchen (Adhäsions- und Kohäsionsbrüche nebeneinander) wurden die prozentualen Flächenanteile bestimmt (siehe Bild 13).

4 Versuchsauswertung

4.1 Allgemeines

Im Rahmen des Projekts wurden insgesamt 384 Abreißversuche durchgeführt und die entsprechenden Abreißfestigkeiten und Bruchflächenanteile ermittelt (siehe Kapitel 8). Aus den Versuchsergebnissen an den gleichartigen Probekörpern (d. h. identisch in Überzug, Oberflächenvorbereitung, Grundbeschichtung sowie in Art und Dauer der Korrosionsbelastung) erfolgte jeweils eine Berechnung der Mittelwerte. Dabei wurden die für die Auswertung unbrauchbaren Werte nicht berücksichtigt (in jedem Fall wurden jedoch mindestens 6 Werte zur Mittelwertberechnung herangezogen).

Zum einen resultieren diese „unbrauchbaren“ Werte aus Versuchen, bei denen sich die Ecken der Probekörper von der Betonplatte, auf der sie aufgeklebt waren, gelöst und verformt haben. Eine ko-axiale Krafteinleitung ist in diesem Fall nicht gewährleistet und daher auch keine Reproduzierbarkeit. Zum anderen sind die Werte dann irrelevant, wenn Klebstoffversagen aufgetreten ist und die Abreißfestigkeit dennoch gering war. In solchen Fällen besteht keine Korrelation zwischen den ermittelten Werten und der Haftfestigkeit der Grundbeschichtung. Daher wurden als Ausschlusskriterium die folgenden Bedingungen festgelegt: Ein Anteil des Klebstoffversagens von mindestens 20 %, eine Abreißfestigkeit von maximal 5 N/mm² und eine Mittelwertunterschreitung um mehr als 40 %. Wenn diese drei Bedingungen gemeinsam erfüllt waren, wurden die entsprechenden Werte bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Da keine Kohäsionsbrüche im Substrat (A) vorgekommen sind, wurde diese Bruchart bei der Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Da die unterschiedlichen Formen des Klebstoffversagens (B/Y, Y und Y/Z) für die Haftfestigkeit der Grundbeschichtung unbedeutend sind, konnten diese Brucharten jeweils in einem Wert zusammengefasst werden.

4.2 Null-Probe

Im Rahmen der Untersuchungen der Null-Probe wurden 48 Abreißversuche durchgeführt. 11 Werte konnten aufgrund abgehobener Ecken oder wegen Klebstoffversagens bei niedrigen Abreißwerten nicht in die Auswertung einfließen.

Die mittleren Abreißfestigkeiten liegen bei allen Varianten auf einem ähnlich hohen Niveau. Bei der Variante Netzwäsche-Zink ergab sich mit 8,1 N/mm² der niedrigste, bei der Variante Sweepen-Galfan mit 9,8 N/mm² der höchste Mittelwert. Für beide Arten der Oberflächenvorbereitung wurde bei den Probekörpern mit Galfan-Überzug eine höhere Abreißfestigkeit erreicht als bei den verzinkten Blechen (siehe Bild 19).

Bei den Bruchflächen konnten unabhängig von der Art der Oberflächenvorbereitung deutliche Unterschiede zwischen den mit den unterschiedlichen Überzügen versehenen Probekörpern festgestellt werden. Während bei den herkömmlich verzinkten Probekörpern mit 44 % ein sehr großer Anteil an Adhäsionsversagen (A/B) vorliegt, überwiegt bei den Probekörpern mit Galfan-Verzinkung der Anteil

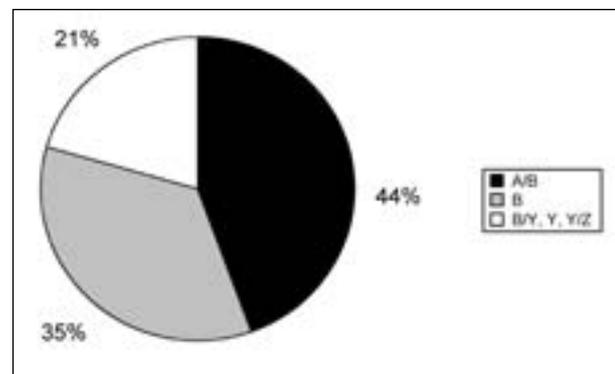


Bild 14: Mittlere Bruchflächenverteilung für die Probekörper mit herkömmlichem Zink-Überzug (Null-Probe)

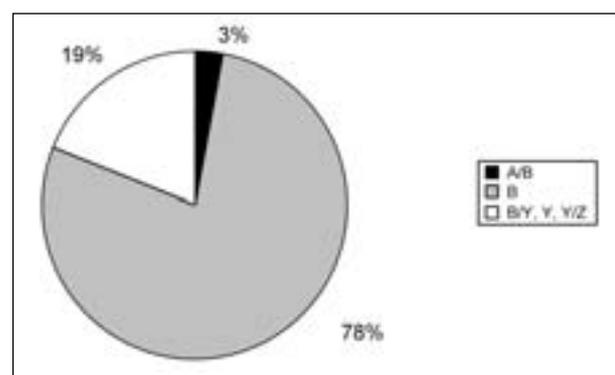


Bild 15: Mittlere Bruchflächenverteilung für die Probekörper mit Galfan-Überzug (Null-Probe)

des Kohäsionsversagens (B) mit 78 %. Der Anteil des Klebstoffversagens (B/Y, Y, Y/Z) bleibt in beiden Fällen bei etwa 20 % nahezu gleich (siehe Bilder 14 und 15).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Rahmen der Untersuchungen der Null-Probe bei den Probekörpern mit Galfan-Überzug hinsichtlich der Haftfestigkeit der Grundbeschichtung bessere Ergebnisse erzielt wurden als bei den Probekörpern mit herkömmlicher Verzinkung.

4.3 Beständigkeit gegen Feuchtigkeit

Im Rahmen der Untersuchungen der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit wurden 144 Abreißversuche durchgeführt. 18 Werte konnten aufgrund abgehobener Ecken oder wegen Klebstoffversagens bei niedrigen Abreißwerten nicht in die Auswertung einfließen.

Die mittleren Abreißfestigkeiten schwanken zwischen Werten von 5,7 N/mm² bis 12,1 N/mm². Die Dauer der Korrosionsbelastung wirkt sich dabei

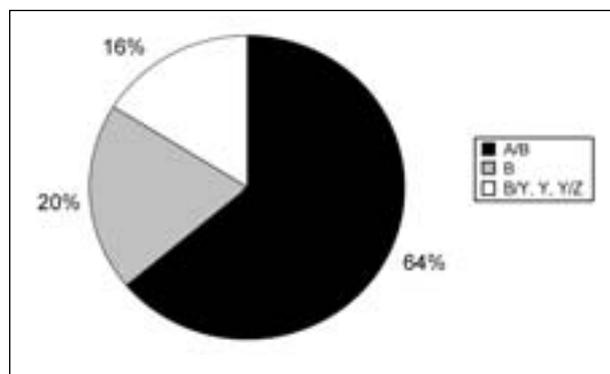


Bild 16: Mittlere Bruchflächenverteilung für die mit Netzmittelwäsche vorbereiteten Probekörper (Beständigkeit gegen Feuchtigkeit)

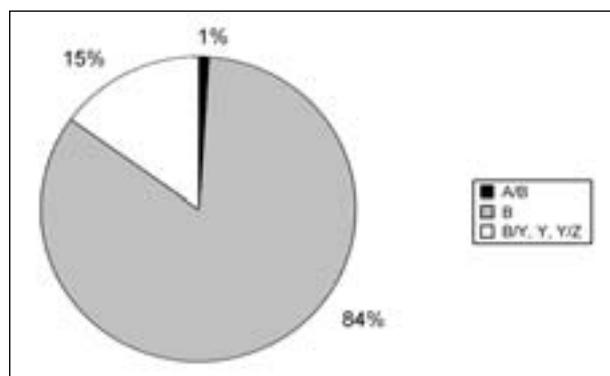


Bild 17: Mittlere Bruchflächenverteilung für die sweep-gestrahlten Probekörper (Beständigkeit gegen Feuchtigkeit)

sehr unterschiedlich auf die einzelnen Varianten aus. So nimmt die mittlere Abreißfestigkeit bei der Variante Netzmittelwäsche-Zink mit zunehmender Dauer der Korrosionsbelastung ab, während bei den Varianten Netzmittelwäsche-Galfan und Sweepen-Zink nach 14 und 28 Tagen Korrosionsbelastung die mittleren Abreißfestigkeiten höher liegen als nach 7 Tagen (wobei das Maximum jeweils bei 14 Tagen liegt). Bei der Variante Sweepen-Galfan liegt die mittlere Abreißfestigkeit nach 14 Tagen Korrosionsbelastung niedriger als nach 7 Tagen, erreicht jedoch bei 28 Tagen den Höchstwert.

Sowohl nach der 14-tägigen als auch nach der 28-tägigen Korrosionsbelastung lässt sich eine klare Reihenfolge bei den mittleren Abreißfestigkeiten für die unterschiedlichen Varianten erkennen. Den höchsten Wert erzielt jeweils die Variante Sweepen-Galfan, gefolgt von den Varianten Sweepen-Zink und Netzmittelwäsche-Galfan. Die Variante Netzmittelwäsche-Zink weist jeweils den niedrigsten Wert auf. Lediglich bei der 7-tägigen Korrosionsbelastung wird diese Reihenfolge nicht exakt eingehalten (siehe Bild 20).

Bei den Bruchflächen konnten unabhängig von der Art der Verzinkung deutliche Unterschiede zwischen den Probekörpern mit unterschiedlicher Oberflächenvorbereitung festgestellt werden. Während bei den mit Netzmittelwäsche vorbereiteten Probekörpern mit 64 % ein sehr großer Anteil an Adhäsionsversagen (A/B) vorliegt, überwiegt bei den Sweep-gestrahlten Probekörpern der Anteil des Kohäsionsversagens (B) deutlich mit 84 %. Der Anteil des Klebstoffversagens (B/Y, Y, Y/Z) bleibt in beiden Fällen bei etwa 15 % nahezu gleich (siehe Bilder 16 und 17).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Rahmen der Untersuchungen der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit mit den Sweep-gestrahlten Probekörpern hinsichtlich der Haftfestigkeit der Grundbeschichtung bessere Ergebnisse erzielt wurden als bei den mit Netzmittelwäsche vorbereiteten Varianten.

4.4 Kondenswasser-Konstant-Klima

Im Rahmen der Untersuchungen in Bezug auf das Kondenswasser-Konstant-Klima wurden 96 Abreißversuche durchgeführt. 5 Werte konnten aufgrund abgehobener Ecken oder wegen Klebstoffversagens bei niedrigen Abreißwerten nicht in die Auswertung einfließen.

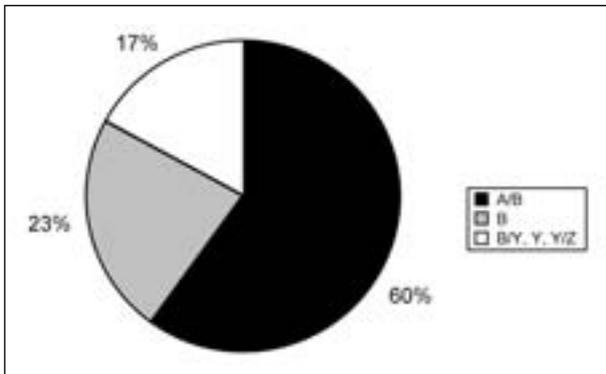


Bild 18: Mittlere Bruchflächenverteilung für die mit Netzwäsche vorbereiteten Probekörper (Kondenswasser-Konstant-Klima)

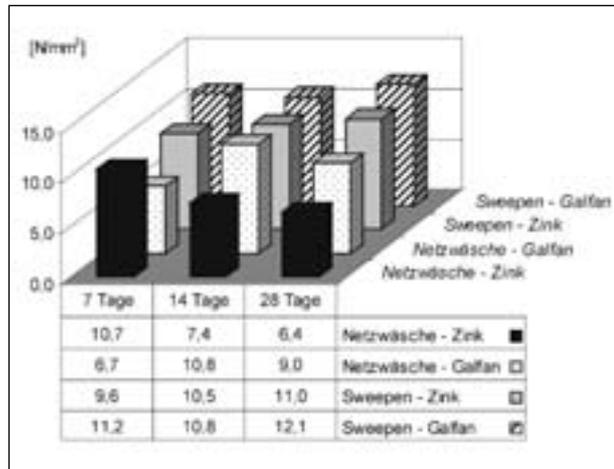


Bild 20: Mittlere Abreißfestigkeiten (Beständigkeit gegen Feuchtigkeit)

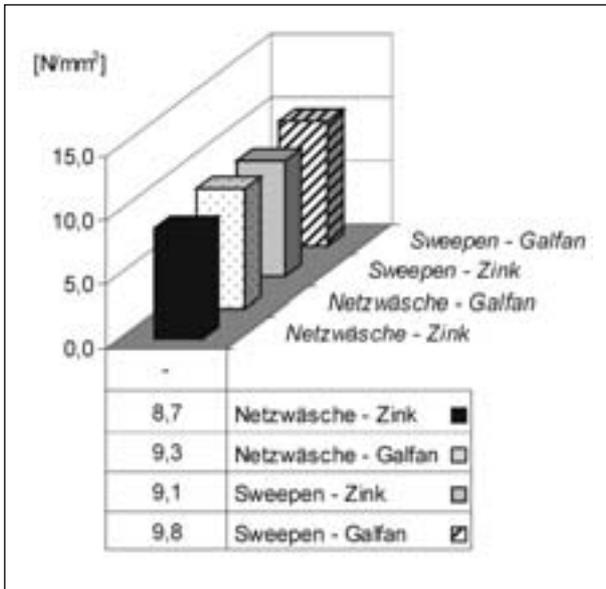


Bild 19: Mittlere Abreißfestigkeiten (Null-Probe)

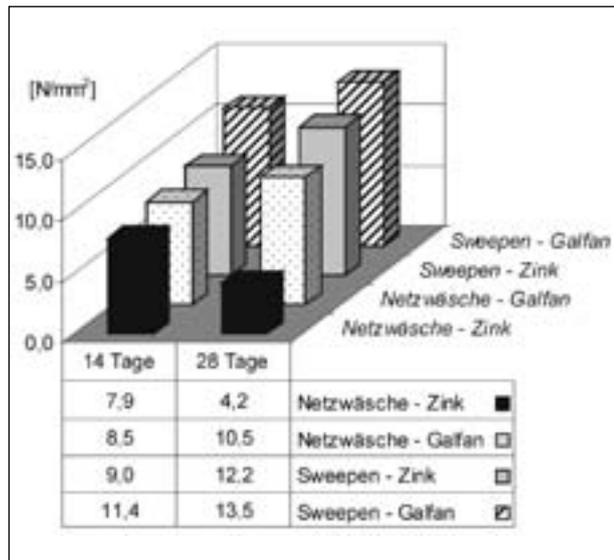


Bild 21: Mittlere Abreißfestigkeiten (Kondenswasser-Konstant-Klima)

Die mittleren Abreißfestigkeiten schwanken zwischen Werten von 4,2 N/mm² bis 13,5 N/mm². Die Dauer der Korrosionsbelastung wirkt sich dabei sehr unterschiedlich auf die einzelnen Varianten aus. So nimmt die mittlere Abreißfestigkeit bei der Variante Netzwäsche-Zink mit zunehmender Dauer der Korrosionsbelastung ab, während bei den anderen Varianten nach 28 Tagen Korrosionsbelastung höhere Werte erreicht werden als nach 14 Tagen. Sowohl nach der 14-tägigen als auch nach der 28-tägigen Korrosionsbelastung lässt sich eine klare Reihenfolge bei den Abreißfestigkeiten für die unterschiedlichen Varianten erkennen. Den höchsten Wert erzielt jeweils die Variante Sweepen-Galfan, gefolgt von den Varianten Sweepen-Zink und Netzwäsche-Galfan und am Ende die Variante Netzwäsche-Zink mit dem jeweils niedrigsten Wert (siehe Bild 21).

Bei den Bruchflächen konnten unabhängig von der Art der Verzinkung deutliche Unterschiede zwischen den Probekörpern mit unterschiedlicher Oberflächenvorbereitung festgestellt werden. Während bei den mit Netzmittelwäsche vorbereiteten Probekörpern mit 60 % ein sehr großer Anteil an Adhäsionsversagen (A/B) vorliegt, überwiegt bei den Sweep-gestrahlten Probekörpern der Anteil des Kohäsionsversagens (B) deutlich mit 83 %. Der Anteil des Klebstoffversagens (B/Y, Y, Y/Z) bleibt in beiden Fällen bei etwa 15 % nahezu gleich (siehe Bilder 18 und 23).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Rahmen der Untersuchungen in Bezug auf das Kondenswasser-Konstant-Klima mit den Sweep-gestrahlten Probekörpern hinsichtlich der Haft-

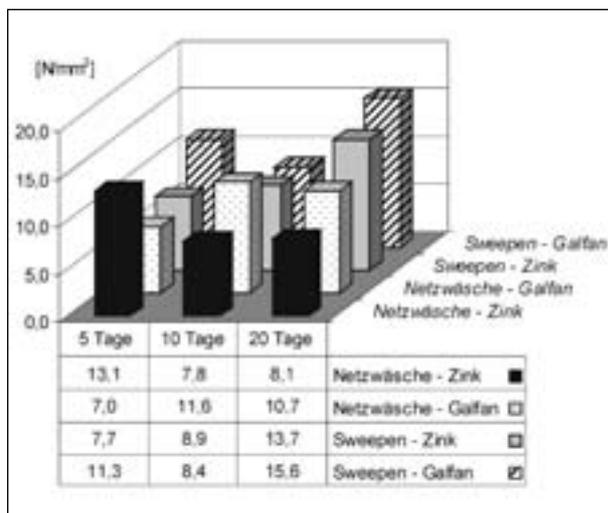


Bild 22: Mittlere Abreißfestigkeiten (Wärme-Kälte-Wechselbelastung)

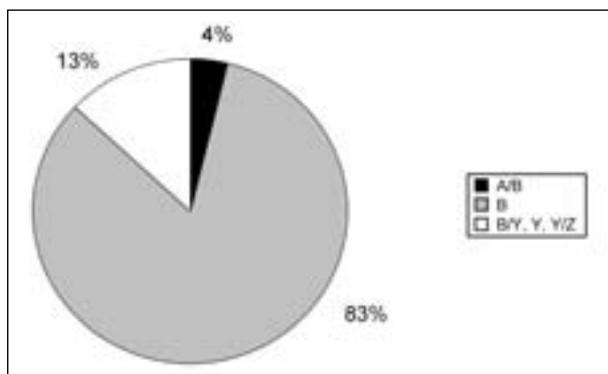


Bild 23: Mittlere Bruchflächenverteilung für die sweep-gestrahlten Probekörper (Kondenswasser-Konstant-Klima)

festigkeit der Grundbeschichtung bessere Ergebnisse erzielt wurden als bei den mit Netzmittelwäsche vorbereiteten Varianten.

4.5 Wärme-Kälte-Wechselbelastung

Im Rahmen der Untersuchungen der Wärme-Kälte-Wechselbeanspruchung wurden 24 Abreißversuche durchgeführt. 3 Werte konnten aufgrund abgehobener Ecken oder wegen Klebstoffversagens bei niedrigen Abreißwerten nicht in die Auswertung einfließen.

Die mittleren Abreißfestigkeiten schwanken zwischen Werten von 7,0 N/mm² bis 15,6 N/mm². Die Dauer der Korrosionsbelastung wirkt sich dabei sehr unterschiedlich auf die einzelnen Varianten aus (siehe Bild 22). Nach 20 Belastungszyklen lässt sich eine klare Reihenfolge bei den mittleren Abreißfestigkeiten für die unterschiedlichen Varianten

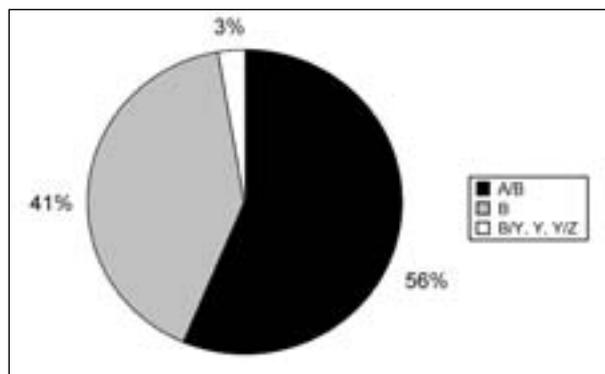


Bild 24: Mittlere Bruchflächenverteilung für die Probekörper der Variante Netzwäsche-Zink (20 Zyklen Wärme-Kälte-Wechselbeanspruchung)

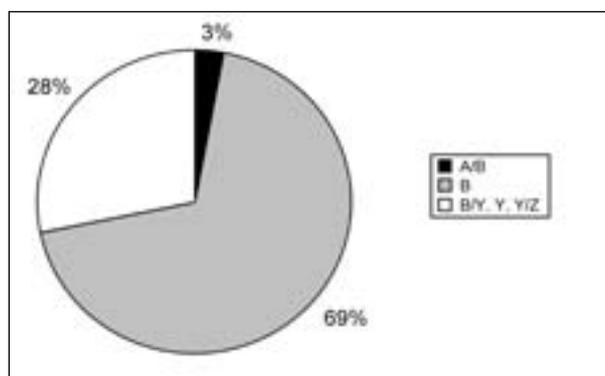


Bild 25: Mittlere Bruchflächenverteilung für die Probekörper der Variante Netzwäsche-Galfan (20 Zyklen Wärme-Kälte-Wechselbeanspruchung)

erkennen. Den höchsten Wert erzielt die Variante Sweepen-Galfan, gefolgt von den Varianten Sweepen-Zink und Netzwäsche-Galfan, während die Variante Netzwäsche-Zink den niedrigsten Wert aufweist.

Die mittleren Bruchflächenverteilungen lassen kein einheitliches Schema erkennen – weder in Bezug auf die unterschiedlichen Varianten des Überzugs und der Oberflächenvorbereitung noch im Hinblick auf die unterschiedliche Dauer der Korrosionsbelastung. Nach 20 Belastungszyklen liegt bei der Variante Netzwäsche-Zink mit 56 % ein sehr großer Anteil an Adhäsionsversagen (A/B) vor, während bei der Variante Netzmittelwäsche-Galfan mit 69 % das Kohäsionsversagens (B) überwiegt. Bei den Sweep-gestrahlten Probekörpern liegt der Anteil des Kohäsionsversagens (B) nach 20 Belastungszyklen bei etwa 90 % (siehe Bilder 24, 25 und 26).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Rahmen der Untersuchungen der Wärme-Kälte-Wechselbelastung mit den Probekörpern der Variante Sweepen-Galfan die besten und mit den Pro-

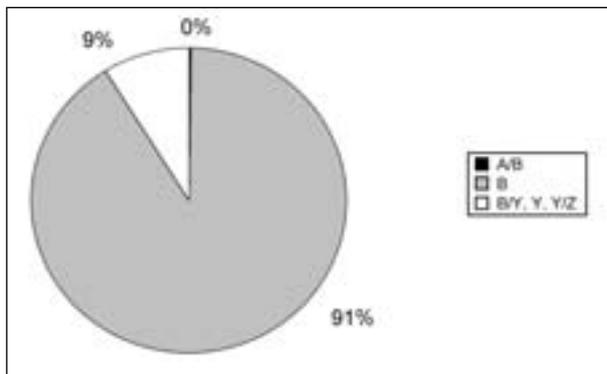


Bild 26: Mittlere Bruchflächenverteilung für die sweep-gestrahlten Probekörper (20 Zyklen Wärme-Kälte-Wechselbeanspruchung)

bekörpern der Variante Netzwäsche-Zink die schlechtesten Ergebnisse hinsichtlich der Haftfestigkeit der Grundbeschichtung erzielt wurden. Die Ergebnisse für die Varianten Sweepen-Zink und Netzwäsche-Galfan befinden sich im Mittelfeld und liegen etwa auf dem gleichen Niveau.

5 Bewertung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

5.1 Bewertung der Abreißfestigkeit

Von wenigen Ausnahmen abgesehen liegen die mittleren Abreißfestigkeiten der untersuchten Varianten unabhängig von Art und Dauer der Korrosionsbelastungen jeweils in der gleichen Reihenfolge. Der höchste Wert wurde in aller Regel bei der Variante Sweepen-Galfan erzielt, gefolgt von den Varianten Sweepen-Zink und Netzwäsche-Galfan, während die Variante Netzwäsche-Zink meist den niedrigsten Wert aufwies. Anhand einer Gesamtbetrachtung der mittleren Abreißfestigkeiten (d. h. Mittelwerte über alle Versuche) wird diese Reihenfolge nochmals verdeutlicht (siehe Bild 27).

Insgesamt betrachtet wurden bei den Sweep-gestrahlten Probekörpern höhere Abreißfestigkeiten ermittelt als bei den mit Netzmittelwäsche vorbereiteten Probekörpern. Für beide Arten der Oberflächenvorbereitung wiederum wurden bei den Probekörpern mit Galfan-Überzug jeweils höhere Werte erreicht als bei den herkömmlich verzinkten Probekörpern. Bei allen 4 Varianten liegen die mittleren Abreißfestigkeiten auf einem hohen Niveau.

Bei einer näheren Betrachtung der mittleren Abreißfestigkeiten erkennt man, dass die Werte nach den Korrosionsversuchen in einigen Fällen höher

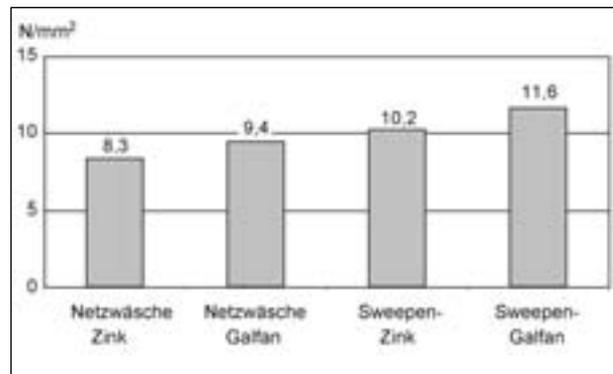


Bild 27: Mittlere Abreißfestigkeiten (alle Versuche)

liegen als bei der Null-Probe. Zum Teil werden auch mit zunehmender Dauer der Korrosionsbelastungen höhere Abreißfestigkeiten erzielt. Dieses Phänomen lässt sich anhand zwei sich überlagernder Effekte erklären – dem Aushärtungs- und dem Alterungsprozess. Der Prozess der Aushärtung war nach der einwöchigen Konditionierungsphase noch nicht abgeschlossen, sodass die Haftfestigkeit der Grundbeschichtung über diesen Zeitpunkt (zu dem auch die Versuche an der Null-Probe durchgeführt wurden) hinaus weiter zunehmen konnte. Dem gegenüber steht der Alterungsprozess infolge der unterschiedlichen korrosiven Belastungen, wodurch die Haftfestigkeit der Grundbeschichtung abnimmt. Je nach Variante und Korrosionsprüfung überwiegt der eine oder der andere Effekt und führt so zu dem oben beschriebenen un stetigen Verlauf der mittleren Abreißfestigkeiten.

5.2 Bewertung der Bruchflächen

Bei den mittleren Bruchflächenverteilungen sind unabhängig von Art und Dauer der Korrosionsbelastung (mit Ausnahme der Null-Probe) deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Oberflächenvorbereitung festzustellen. Während bei den mit Netzmittelwäsche vorbereiteten Probekörpern ein sehr großer Anteil an Adhäsionsversagen (A/B) vorliegt, überwiegt bei den Sweep-gestrahlten Probekörpern der Anteil des Kohäsionsversagens (B). Der Anteil des Klebstoffversagens (B/Y, Y, Y/Z) liegt jeweils in einer ähnlichen Größenordnung. Anhand einer Gesamtbetrachtung der mittleren Bruchflächenverteilung (d. h. Mittelwerte über alle Versuche) wird dieser Unterschied nochmals verdeutlicht (siehe Bilder 28 und 29).

Diese unterschiedlichen mittleren Bruchflächenverteilungen belegen, dass sich mit der Oberflächen-

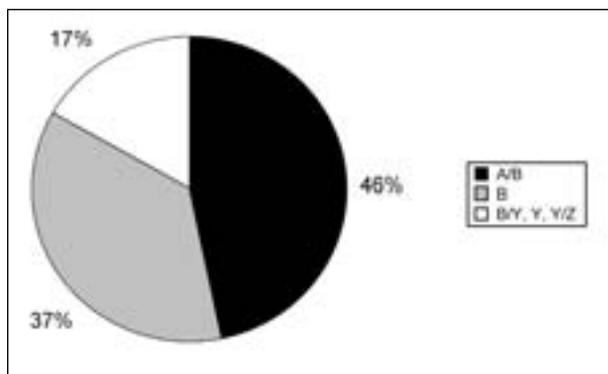


Bild 28: Mittlere Bruchflächenverteilung für die mit Netzwäsche vorbereiteten Probekörper (alle Versuche)

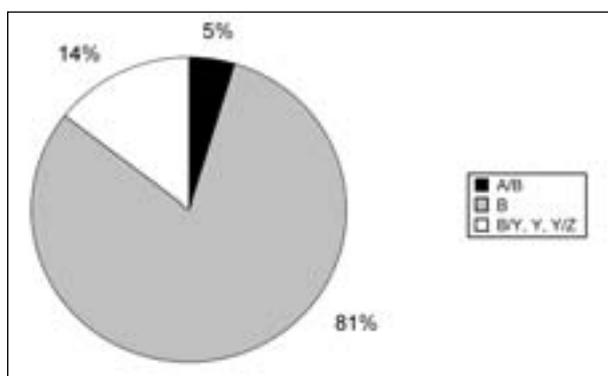


Bild 29: Mittlere Bruchflächenverteilung für die sweep-gerahten Probekörper (alle Versuche)

vorbereitung Sweep-Strahlen (überwiegend Kohäsionsversagen) eine höhere Haftfestigkeit erreichen lässt als mit der Oberflächenvorbereitung Netzmittelwäsche (hoher Anteil an Adhäsionsversagen).

5.3 Schlussfolgerungen

Die durchweg hohen Abreißfestigkeiten zeugen bei allen 4 Varianten von einer guten Haftfestigkeit der Grundbeschichtung auf dem Substrat. Dabei machen sowohl die mittleren Abreißwerte als auch die mittleren Bruchflächenverteilungen deutlich, dass sich mit dem Sweep-Strahlen eine noch bessere Haftfestigkeit erreichen lässt als mit der alkalischen Netzmittelwäsche. Für beiden Arten der Oberflächenvorbereitung wurden bei den Probekörpern mit Galfan-Überzug jeweils bessere Ergebnisse erreicht als bei den auf herkömmliche Art und Weise verzinkten Probekörpern. Folglich kann der Überzug Galfan gegenüber dem Überzug aus reinem Zink im Hinblick auf die Haftfestigkeit der verwendeten Grundbeschichtung als mindestens gleichwertig angesehen werden.

6 Bedeutung der Ergebnisse für die Praxis

Mit den erzielten Ergebnissen ist der Nachweis erbracht, dass die untersuchte Grundbeschichtung über eine ausreichende Haftfestigkeit auf Oberflächen mit Galfan-Überzug verfügt. Im Hinblick auf die demnächst anlaufenden Instandsetzungsmaßnahmen bei der Rheinbrücke Flehe sprechen die gewonnenen Resultate eindeutig für den Einsatz von Seilen aus Drähten mit Galfan-Überzug. Der vorliegende Bericht dient als fachtechnische Grundlage für die Entscheidung über eine entsprechende Pilotanwendung.

Die durchweg hohen Werte für die Abreißfestigkeit wurden unter Laborbedingungen ermittelt und können nur eingeschränkt (d. h. qualitativ, aber nicht quantitativ) auf die Praxis übertragen werden. Gerade deshalb gilt es, auf der Baustelle möglichst günstige Bedingungen zu gewährleisten. Beispielsweise entstehen bei der Montage und infolge der statischen Belastung Dehnungen und Verdrehungen, die bei einer zuvor aufgetragenen Beschichtung zu Spannungen und Mikrorissen führen und die Haftfestigkeit deutlich reduzieren könnten. Daher sollte die Applikation der Grundbeschichtung möglichst erst nach der Montage am belasteten Seil erfolgen.

Die erzielten Ergebnisse sprechen für Sweep-Strahlen als Oberflächenvorbereitung, jedoch nicht gegen Netzmittelwäsche. Um die Eignung der beiden Verfahren im Hinblick auf die Praxis beurteilen zu können, müssen weitere maßgebende Kriterien berücksichtigt werden – beispielsweise besteht die Gefahr, dass bei unsachgemäßem Sweep-Strahlen der Überzug zu stark abgetragen wird oder dass bei der Netzmittelwäsche Wasser in den Seilkörper eindringt. Diese Thematik ist jedoch nicht Gegenstand des hier beschriebenen Forschungsvorhabens und sollte an anderer Stelle (z. B. bei der AG Brückenseile) diskutiert werden.

Für den Fall, dass auf Grundlage des vorliegenden Berichts mit Galfan verzinkte Seile zum Einsatz kommen, ist dennoch die Oberflächenvorbereitung Sweep-Strahlen zu empfehlen, da die für die Variante Netzwäsche-Galfan ermittelten Werte nur eingeschränkt Gültigkeit besitzen. Dies liegt daran, dass die Bleche mit Galfan-Überzug verfahrensbedingt zusätzlich chromatiert wurden (siehe Kapitel 3.1), wogegen bei Drähten für Brücken-

seile in der Regel jedoch keine Chromatierung erfolgt. Während beim Sweep-Strahlen von einem kompletten Abtrag der Chromat-Schicht ausgegangen werden kann, ist bei der Netzmittelwäsche unklar, inwiefern sich die Chromatierung auf die Haftfestigkeit der Grundbeschichtung auswirkt. Nähere Untersuchungen hierzu waren im engen zeitlichen Rahmen, der für das Projekt zur Verfügung stand, nicht möglich.

Im Hinblick auf zukünftige Abreißversuche sei schließlich nochmals darauf hingewiesen, dass die Grundbeschichtung nach einwöchiger Konditionierungsphase ihre Endfestigkeit womöglich noch nicht erreicht hat.

7 Abreißfestigkeiten und Bruchflächenanteile

Dieses Kapitel enthält eine Zusammenstellung sämtlicher Ergebnisse der 384 durchgeführten Abreißversuche. Die Ergebnisse sind in tabellarischer Form mit den zugehörigen Bildern für alle gleichartigen Probekörper (d. h. identisch in Überzug, Oberflächenvorbereitung, Grundbeschichtung sowie in Art und Dauer der Korrosionsbelastung) jeweils auf einer Seite zusammengefasst.

Titelzeilen

In der Titelzeile ist die Art der Probekörper durch die Angabe der folgenden Parameter eindeutig definiert:

- Art und Dauer der Korrosionsbelastung (Korrosionsversuch),
- Art des Überzugs,
- Art der Oberflächenvorbereitung.

Tabellen

Die Ergebnisse, die bei einem Probekörper bzw. Blech ermittelt wurden, sind jeweils in einer Spalte enthalten. Die Nummerierung der einzelnen Bleche orientiert sich an der Art des Überzugs:

- Zink: Z1 bis Z42,
- Galfan (5 % Al): A1 bis A42.

Je Blech wurden 4 Abreißprüfungen (bei den Blechen, die der Temperatur-Wechsel-Beanspruchung ausgesetzt wurden, je 8 Abreißprü-

fungen) durchgeführt – d. h., eine entsprechende Zahl Stempel abgerissen. Die Stempel sind von 1 bis 4 (bzw. bis 8) durchnummeriert und (in der Tabelle als Zeilen) den einzelnen Blechen zugeordnet.

Die Ergebnisse eines Abreißversuchs sind die ermittelte Zugspannung bzw. Kraft in N/mm² und die Bruchflächenverteilung in %. Dabei werden folgende Brucharten unterschieden:

A/B	Adhäsionsbruch zwischen Substrat und Primer,
B	Kohäsionsbruch in der Grundbeschichtung,
B/Y, Y, Y/Z	Klebstoffversagen (adhäsiv oder kohäsiv).

Versuchsergebnisse, die aufgrund abgehobener Ecken oder wegen Klebstoffversagens bei niedrigen Abreißwerten nicht mit zur Auswertung herangezogen wurden (siehe Kapitel 4.1), sind grau hinterlegt und kursiv geschrieben.

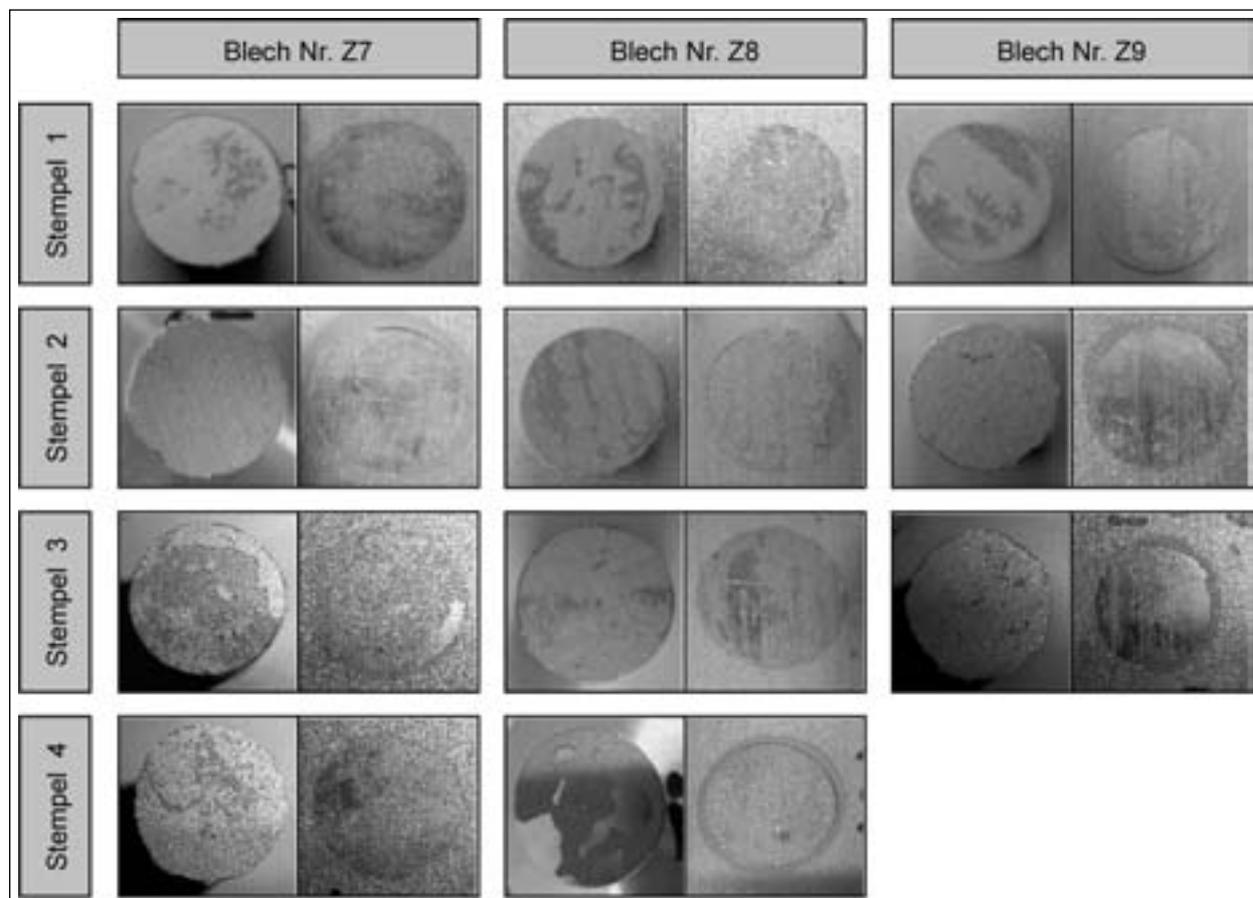
Bilder

Die Anordnung der Bilder entspricht der Anordnung der Prüfergebnisse in der Tabelle. Dabei gehören stets zwei Bilder zusammen. Auf dem linken Bild ist jeweils der Prüfstempel dargestellt, auf dem rechten Bild die zugehörige Stelle des entsprechenden Blechs.

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Null-Probe	Zink	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		Z7	Z8	Z9
Stempel 1	[N/mm ²]	9,0	4,1	6,7
	A/B [%]	90	60	30
	B [%]	0	30	55
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	10	5
Stempel 2	[N/mm ²]	5,6	9,1	2,4
	A/B [%]	90	15	90
	B [%]	10	50	10
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	35	0
Stempel 3	[N/mm ²]	7,4	3,3	3,4
	A/B [%]	40	50	90
	B [%]	0	40	10
	B/Y, Y, Y/Z [%]	60	10	0
Stempel 4	[N/mm ²]	14,6	4,0	
	A/B [%]	85	30	
	B [%]	15	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	20	

Tab. 2: Prüfergebnisse

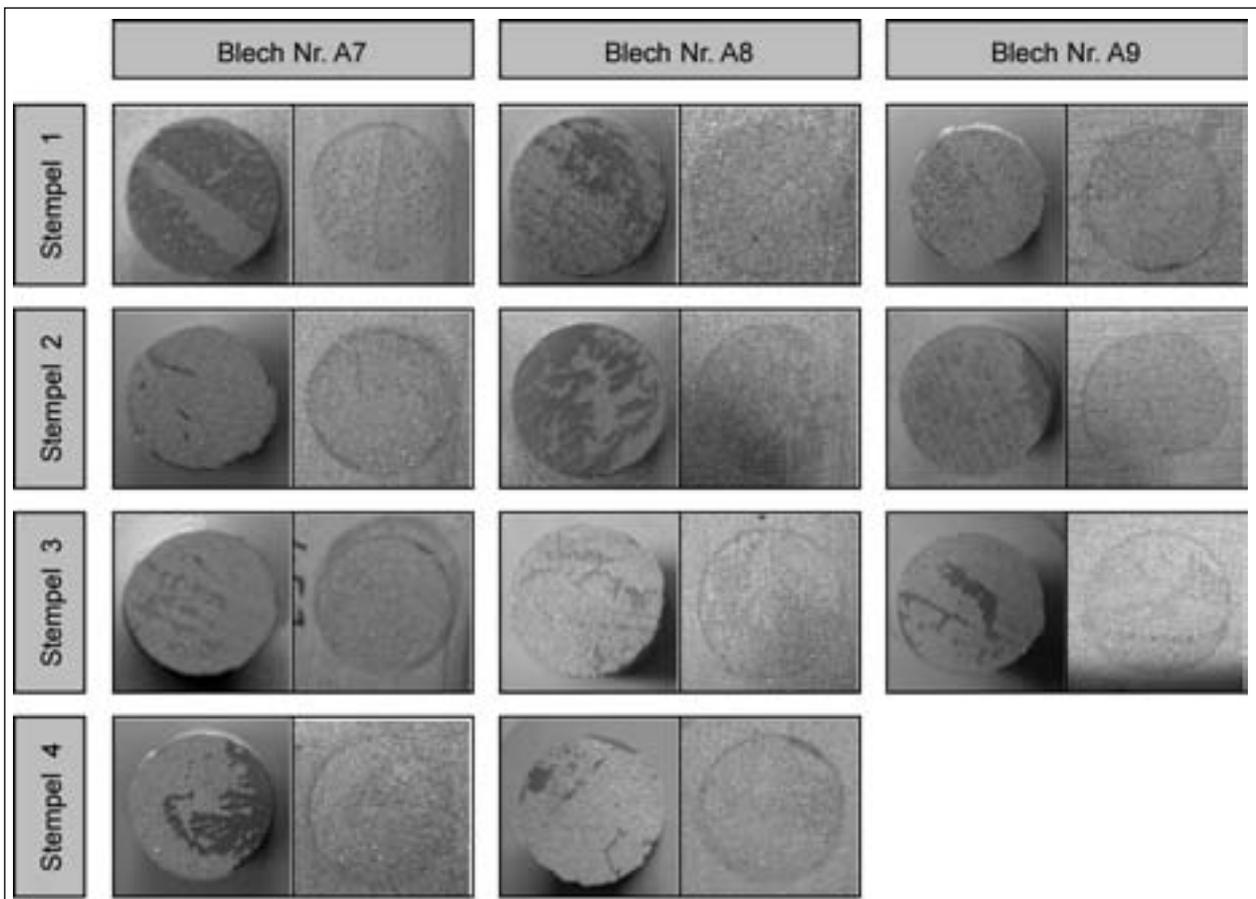


Bilder 30 bis 51: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Null-Probe	Galfan	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		A7	A8	A9
Stempel 1	[N/mm ²]	5,6	7,0	9,6
	A/B [%]	0	5	0
	B [%]	40	80	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	60	15	0
Stempel 2	[N/mm ²]	9,6	6,3	10,8
	A/B [%]	0	5	0
	B [%]	100	50	95
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	45	5
Stempel 3	[N/mm ²]	17,7	7,9	3,2
	A/B [%]	5	0	40
	B [%]	85	90	40
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	5	20
Stempel 4	[N/mm ²]	8,3	3,3	
	A/B [%]	0	40	
	B [%]	60	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	40	10	

Tab. 3: Prüfergebnisse

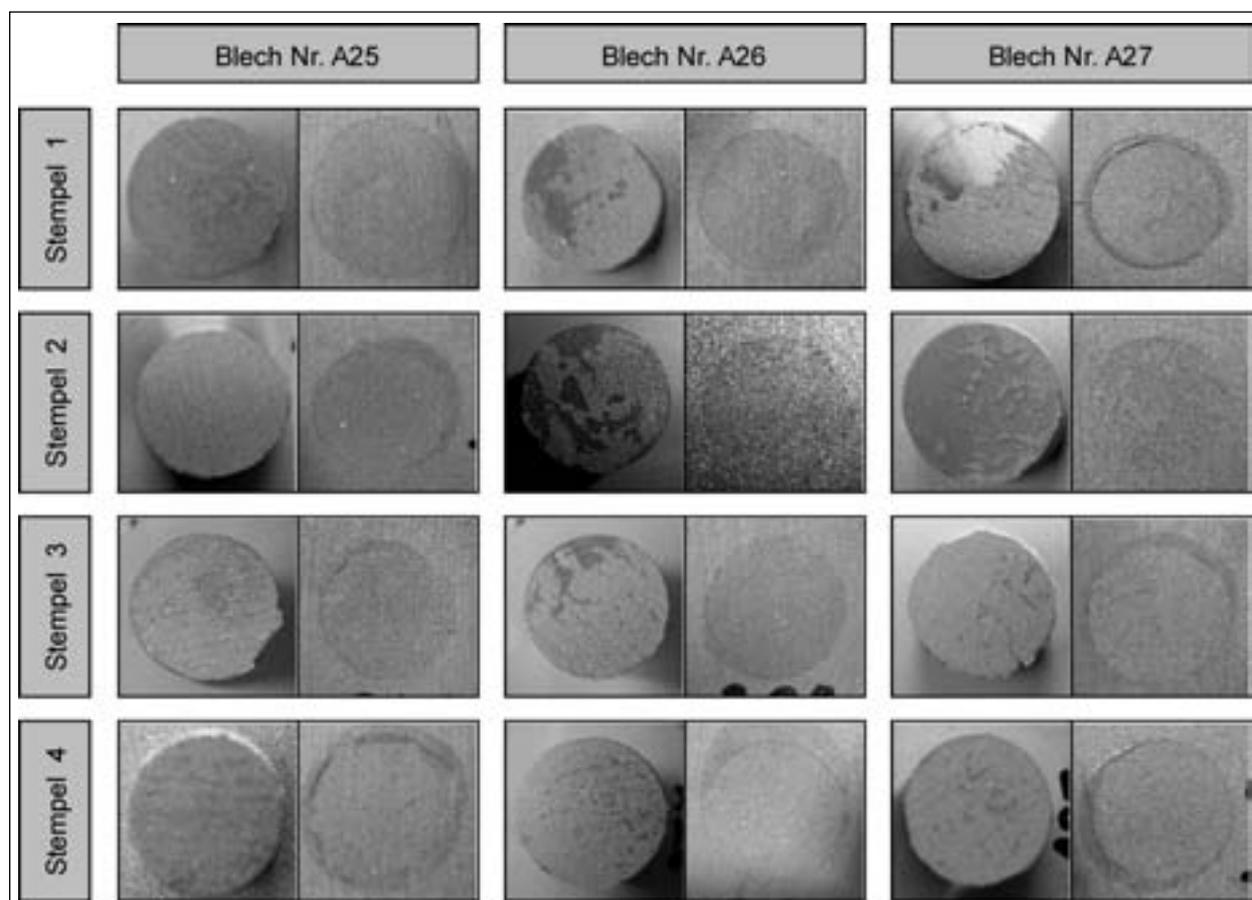


Bilder 52 bis 73: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Null-Probe	Galfan	Sweepen

Blech Nr.		A25	A26	A27
Stempel 1	[N/mm ²]	6,2	9,6	10,7
	A/B [%]	0	0	30
	B [%]	95	85	30
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	15	40
Stempel 2	[N/mm ²]	15,3	7,8	4,4
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	100	70	40
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	30	60
Stempel 3	[N/mm ²]	7,9	10,5	13,2
	A/B [%]	15	0	0
	B [%]	75	90	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	10	0
Stempel 4	[N/mm ²]	8,3	10,9	12,9
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	90	100	95
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	0	5

Tab. 4: Prüfergebnisse

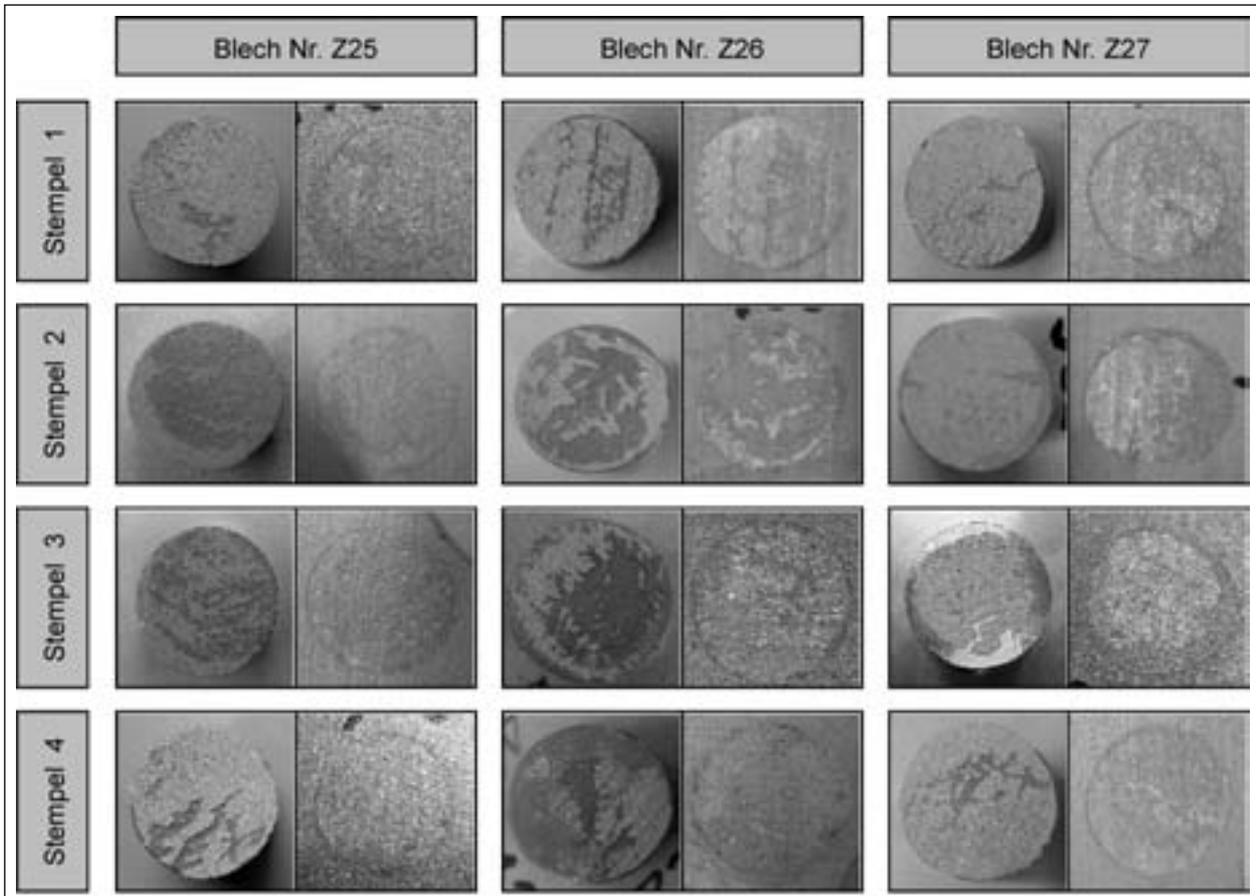


Bilder 74 bis 97: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Null-Probe	Zink	Sweepen

Blech Nr.		Z25	Z26	Z27
Stempel 1	[N/mm ²]	10,2	7,3	14,0
	A/B [%]	5	80	45
	B [%]	90	5	50
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	15	5
Stempel 2	[N/mm ²]	5,8	6,2	13,8
	A/B [%]	0	45	60
	B [%]	30	5	30
	B/Y, Y, Y/Z [%]	70	50	10
Stempel 3	[N/mm ²]	6,1	9,9	6,6
	A/B [%]	0	85	40
	B [%]	50	10	40
	B/Y, Y, Y/Z [%]	50	5	20
Stempel 4	[N/mm ²]	9,6	10,7	9,3
	A/B [%]	40	50	0
	B [%]	50	45	90
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	5	10

Tab. 5: Prüfergebnisse

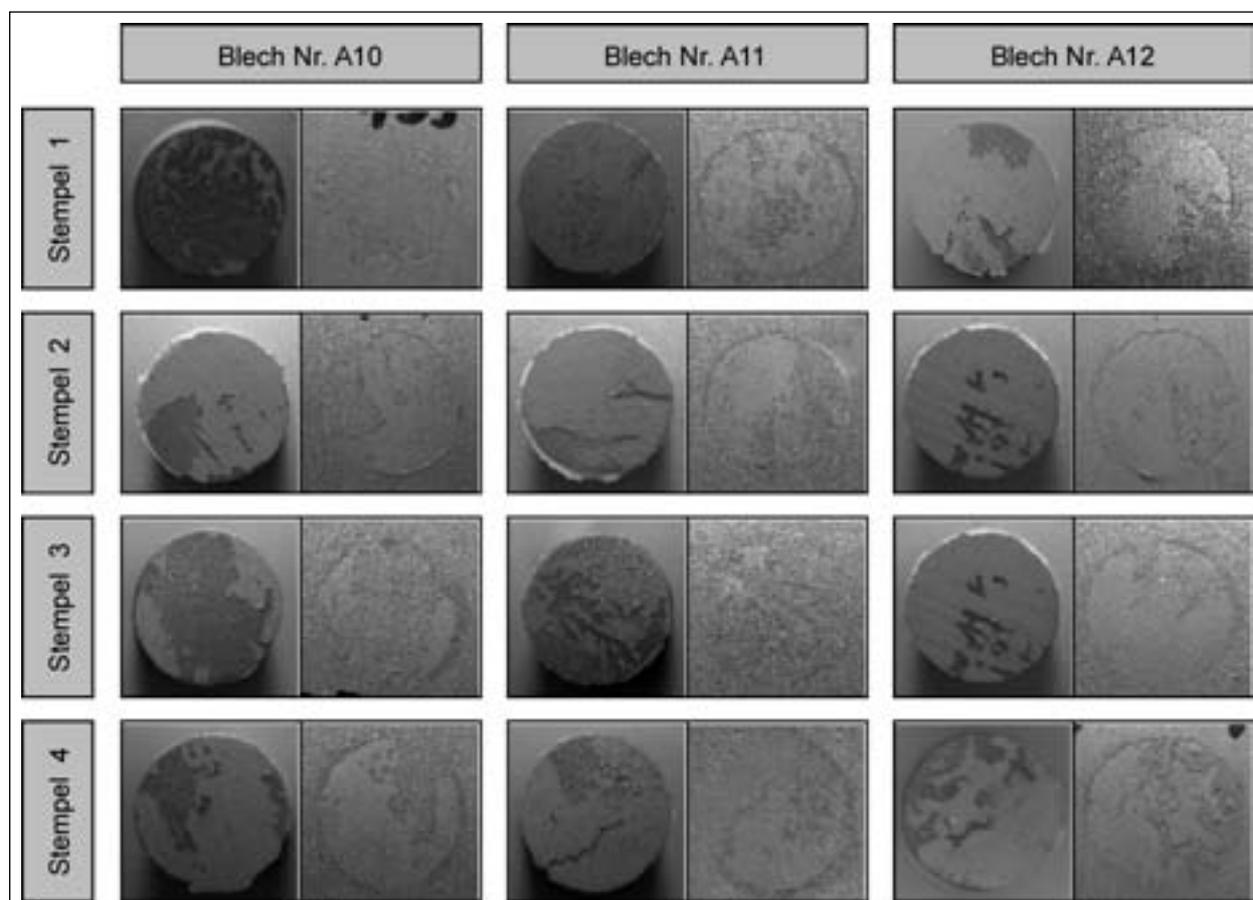


Bilder 98 bis 121: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 7 Tage	Galfan	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		A10	A11	A12
Stempel 1	[N/mm ²]	4,3	7,5	4,8
	A/B [%]	10	90	80
	B [%]	0	10	10
	B/Y, Y, Y/Z [%]	90	0	10
Stempel 2	[N/mm ²]	7,1	10,2	5,6
	A/B [%]	80	60	95
	B [%]	0	20	0
	B/Y, Y, Y/Z [%]	20	20	5
Stempel 3	[N/mm ²]	6,2	2,9	6,8
	A/B [%]	40	30	85
	B [%]	0	10	15
	B/Y, Y, Y/Z [%]	60	60	0
Stempel 4	[N/mm ²]	7,9	7,3	3,4
	A/B [%]	85	85	85
	B [%]	0	15	0
	B/Y, Y, Y/Z [%]	15	0	15

Tab. 6: Prüfergebnisse

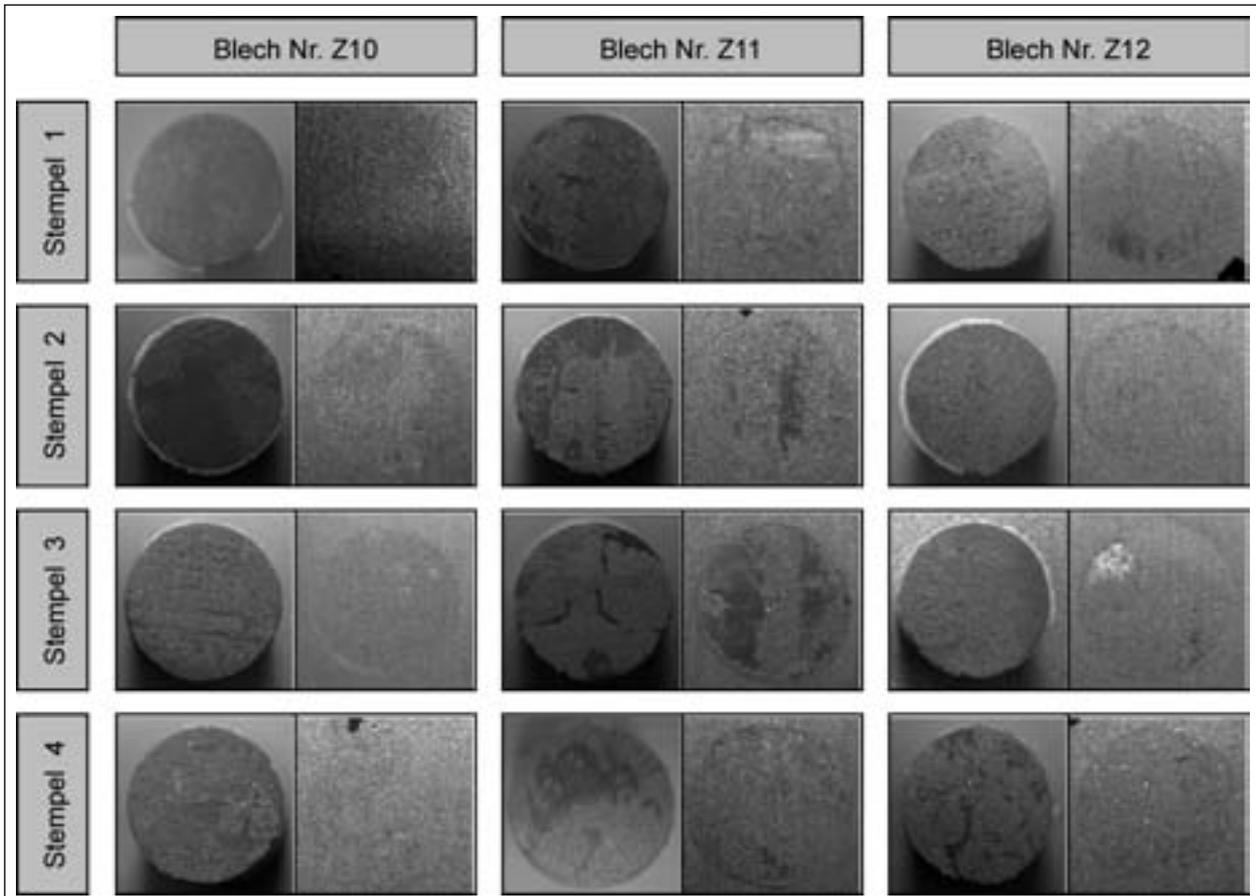


Bilder 122 bis 147: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 7 Tage	Zink	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		Z10	Z11	Z12
Stempel 1	[N/mm ²]	13,0	11,2	3,2
	A/B [%]	5	65	60
	B [%]	15	25	40
	B/Y, Y, Y/Z [%]	80	10	0
Stempel 2	[N/mm ²]	2,5	2,6	10,5
	A/B [%]	10	30	70
	B [%]	10	25	30
	B/Y, Y, Y/Z [%]	80	45	0
Stempel 3	[N/mm ²]	11,4	2,9	2,6
	A/B [%]	25	50	30
	B [%]	65	45	40
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	5	30
Stempel 4	[N/mm ²]	13,0	12,6	2,2
	A/B [%]	10	40	45
	B [%]	20	20	45
	B/Y, Y, Y/Z [%]	70	40	10

Tab. 7: Prüfergebnisse

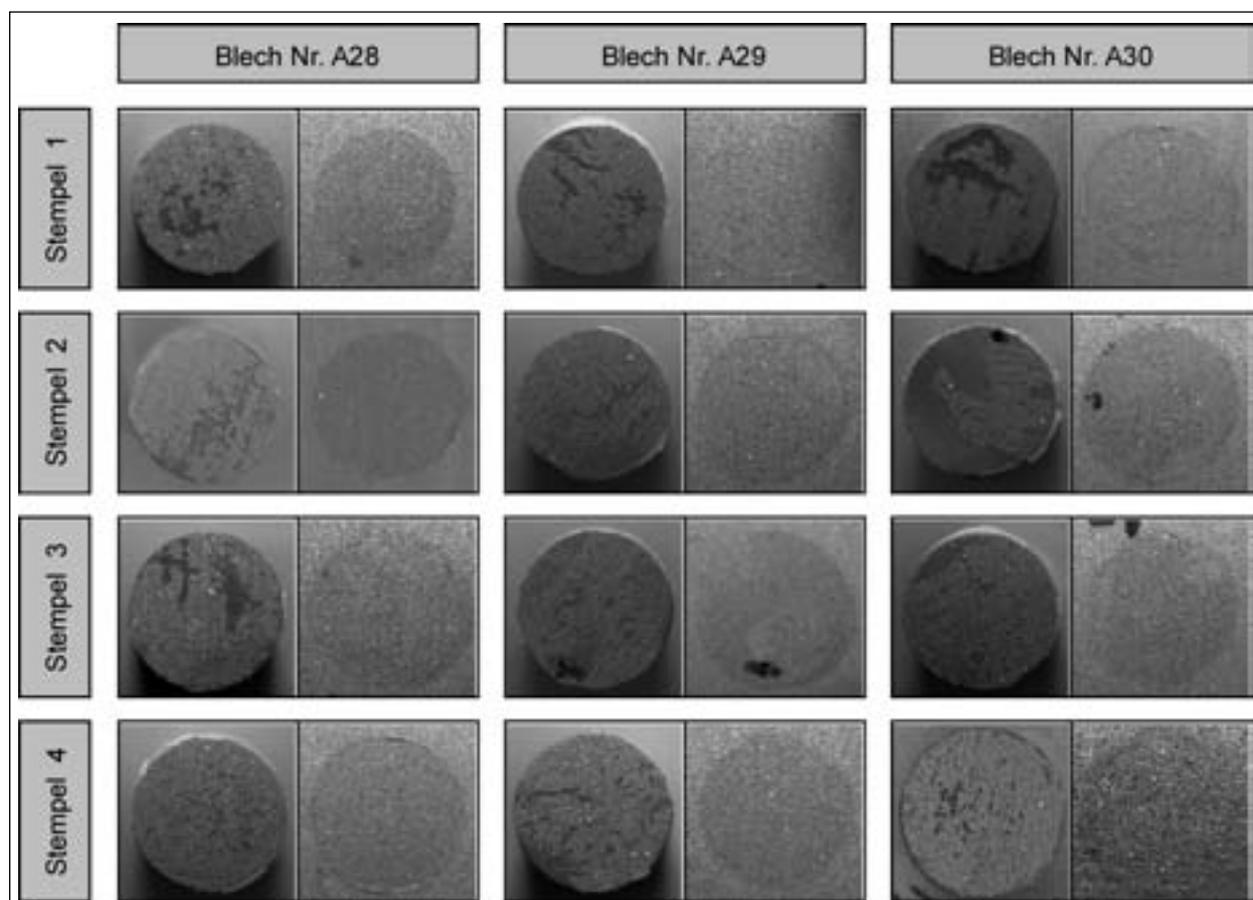


Bilder 148 bis 169: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 7 Tage	Galfan	Sweepen

Blech Nr.		A28	A29	A30
Stempel 1	[N/mm ²]	11,1	12,2	7,3
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	95	95	90
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	5	10
Stempel 2	[N/mm ²]	12,5	12,0	7,8
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	95	95	50
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	5	50
Stempel 3	[N/mm ²]	12,8	7,9	11,2
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	95	95	90
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	5	10
Stempel 4	[N/mm ²]	14,6	11,9	12,8
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	100	95	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	5	0

Tab. 8: Prüfergebnisse

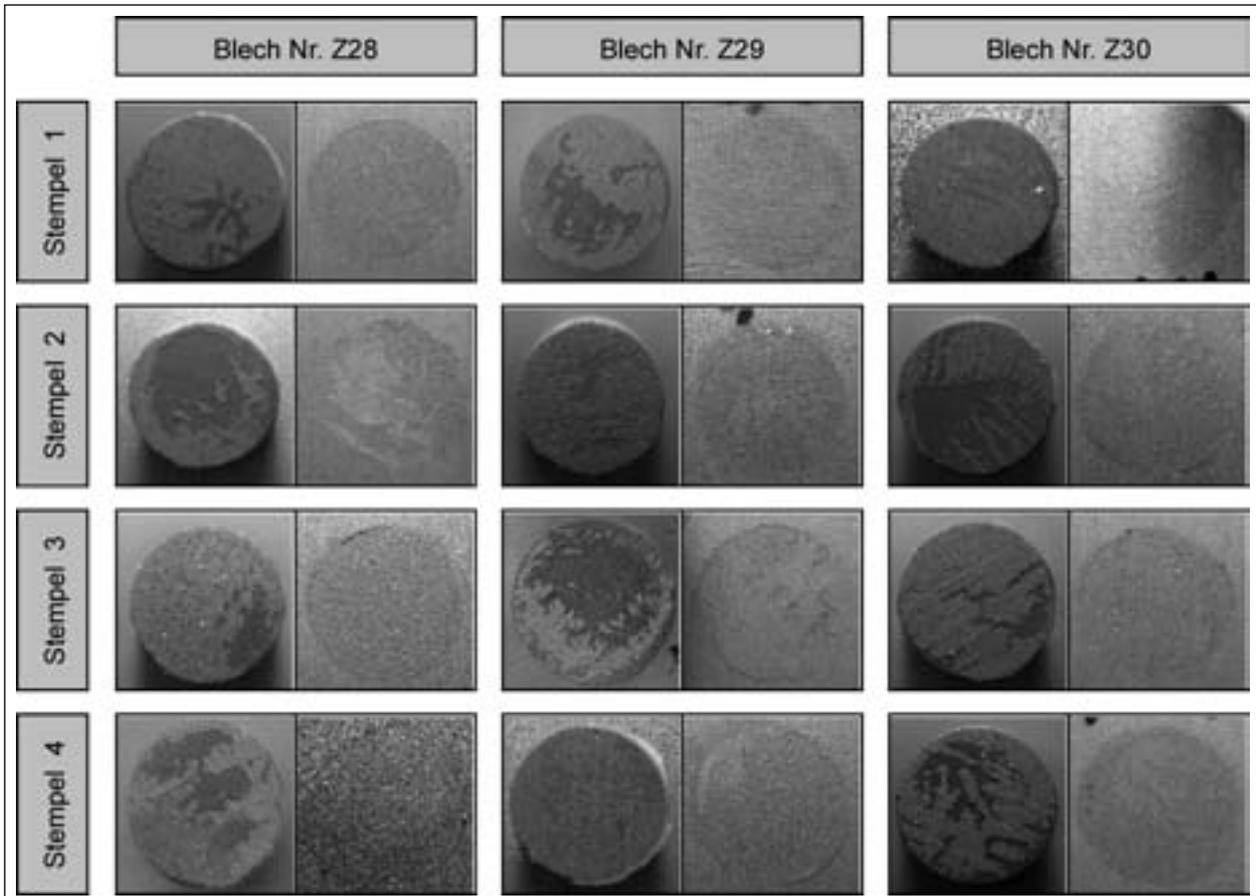


Bilder 170 bis 193: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 7 Tage	Zink	Sweepen

Blech Nr.		A28	A29	A30
Stempel 1	[N/mm ²]	8,2	11,2	5,2
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	90	80	60
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	20	40
Stempel 2	[N/mm ²]	2,9	11,3	7,5
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	30	95	70
	B/Y, Y, Y/Z [%]	70	5	30
Stempel 3	[N/mm ²]	10,9	6,2	11,9
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	90	30	85
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	70	15
Stempel 4	[N/mm ²]	7,9	14,6	10,9
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	50	95	90
	B/Y, Y, Y/Z [%]	50	5	10

Tab. 9: Prüfergebnisse

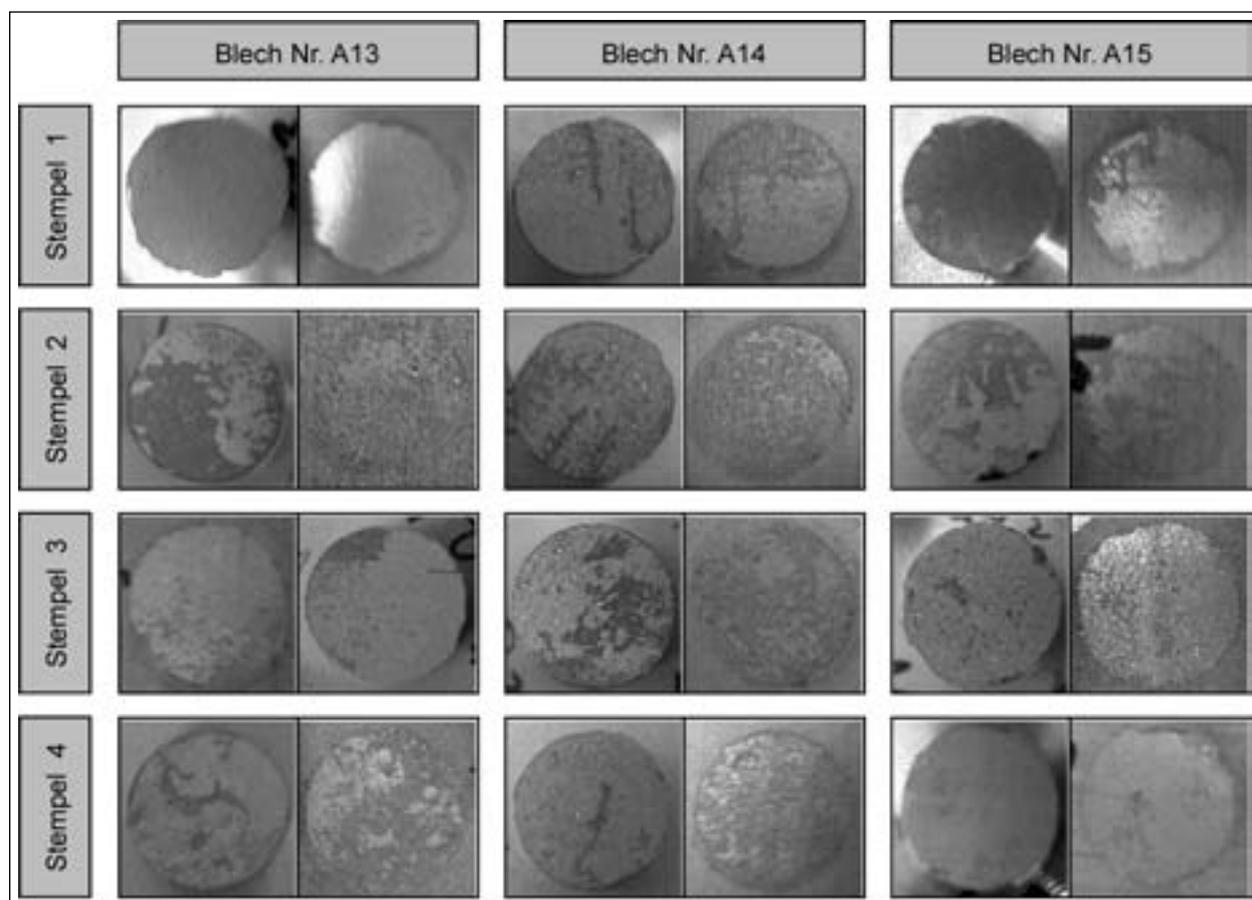


Bilder 194 bis 217: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 14 Tage	Galfan	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		A13	A14	A15
Stempel 1	[N/mm ²]	9,7	13,4	10,1
	A/B [%]	90	60	85
	B [%]	10	35	5
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	5	10
Stempel 2	[N/mm ²]	5,0	13,9	8,5
	A/B [%]	45	35	50
	B [%]	5	35	15
	B/Y, Y, Y/Z [%]	50	30	35
Stempel 3	[N/mm ²]	8,5	7,5	11,4
	A/B [%]	85	35	95
	B [%]	5	30	0
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	35	5
Stempel 4	[N/mm ²]	12,6	13,6	9,7
	A/B [%]	45	45	95
	B [%]	45	45	2
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	10	3

Tab. 10: Prüfergebnisse

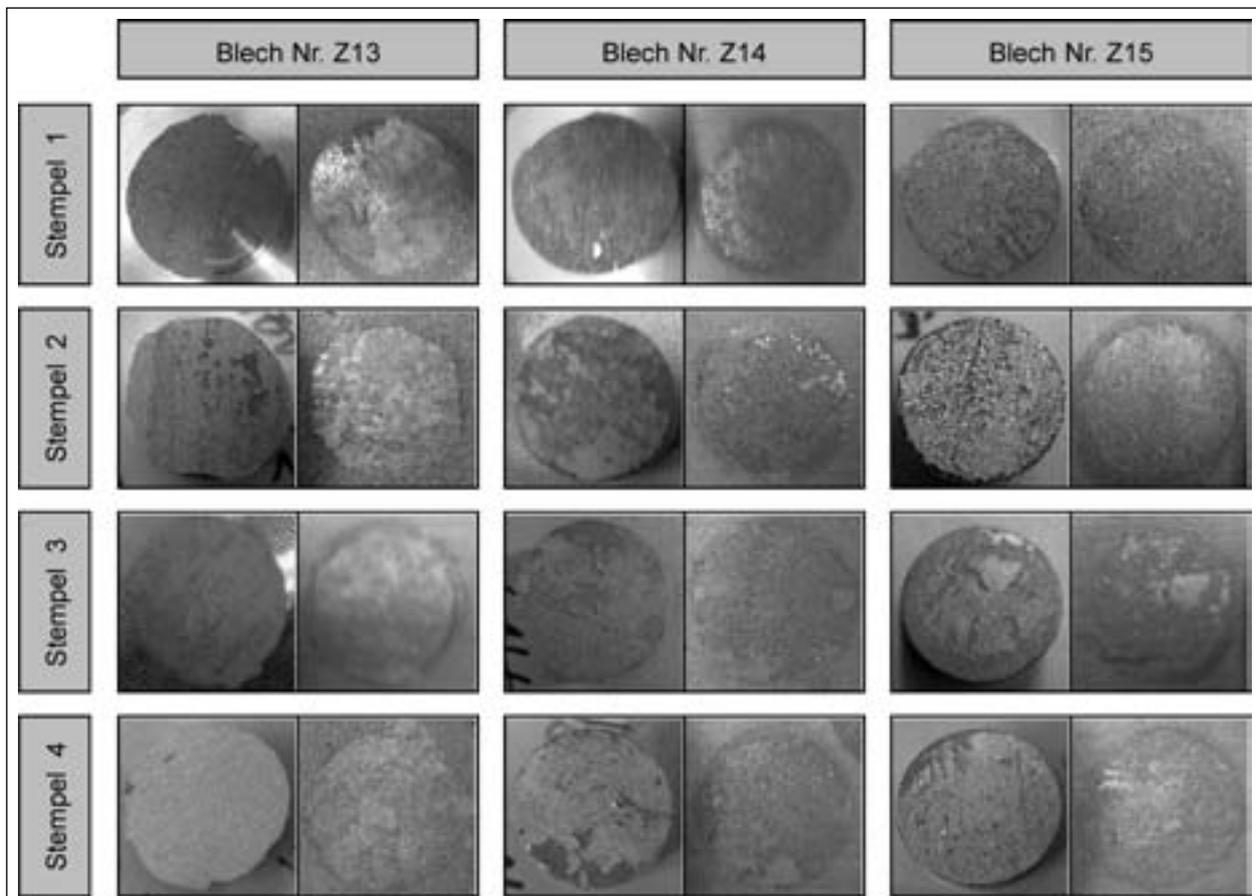


Bilder 218 bis 241: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 14 Tage	Zink	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		Z13	Z14	Z15
Stempel 1	[N/mm ²]	3,8	12,1	14,9
	A/B [%]	90	50	45
	B [%]	0	50	50
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	0	5
Stempel 2	[N/mm ²]	4,2	3,2	13,0
	A/B [%]	90	45	50
	B [%]	5	45	50
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	10	0
Stempel 3	[N/mm ²]	4,1	3,6	8,2
	A/B [%]	90	35	35
	B [%]	5	30	40
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	35	25
Stempel 4	[N/mm ²]	3,5	3,3	10,9
	A/B [%]	100	45	50
	B [%]	0	45	0
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	10	50

Tab. 11: Prüfergebnisse

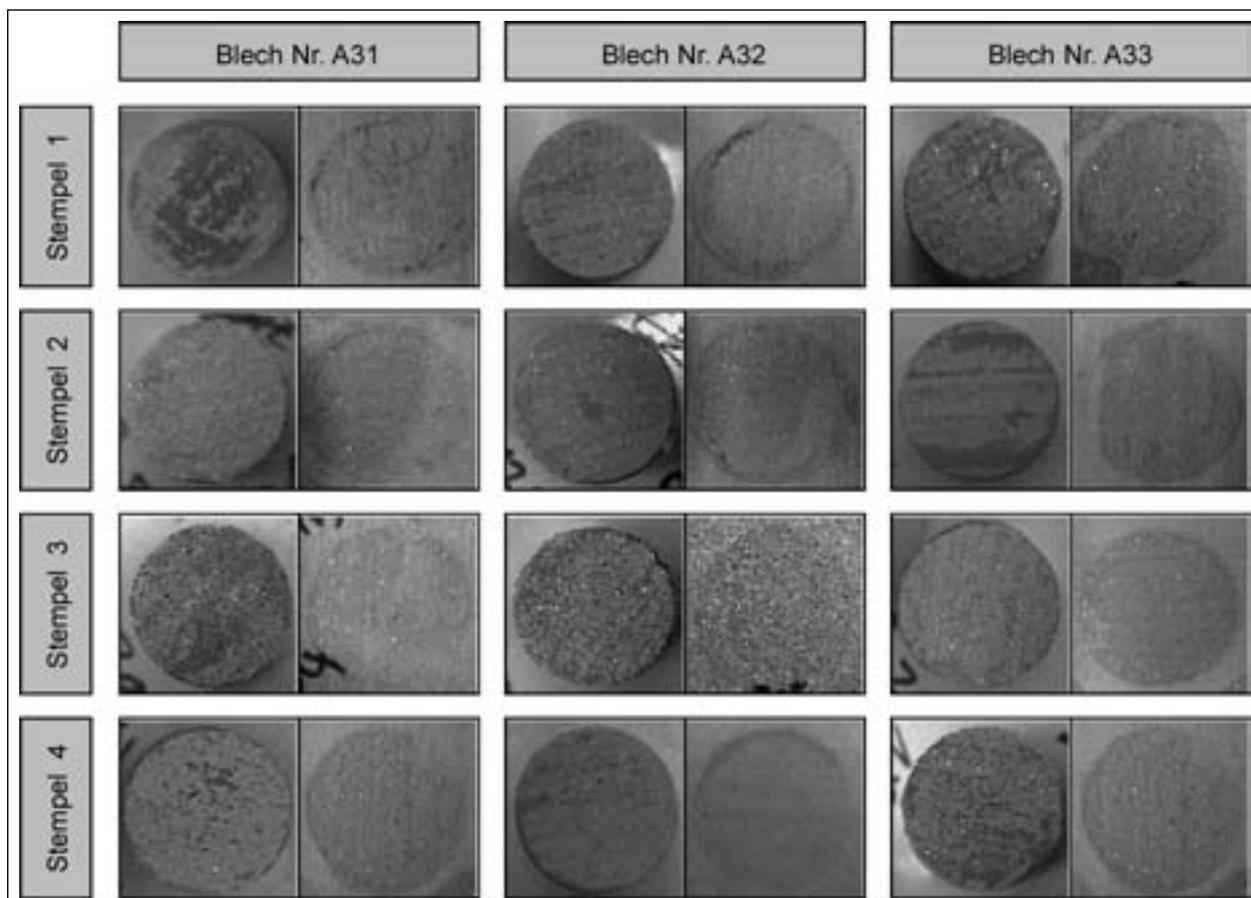


Bilder 242 bis 265: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 14 Tage	Galfan	Sweepen

Blech Nr.		A31	A32	A33
Stempel 1	[N/mm ²]	8,1	11,5	10,4
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	40	100	85
	B/Y, Y, Y/Z [%]	60	0	15
Stempel 2	[N/mm ²]	12,1	12,1	8,0
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	100	95	80
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	5	20
Stempel 3	[N/mm ²]	9,2	13,7	11,9
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	75	95	95
	B/Y, Y, Y/Z [%]	25	5	5
Stempel 4	[N/mm ²]	11,2	11,0	10,2
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	85	90	85
	B/Y, Y, Y/Z [%]	15	10	15

Tab. 12: Prüfergebnisse

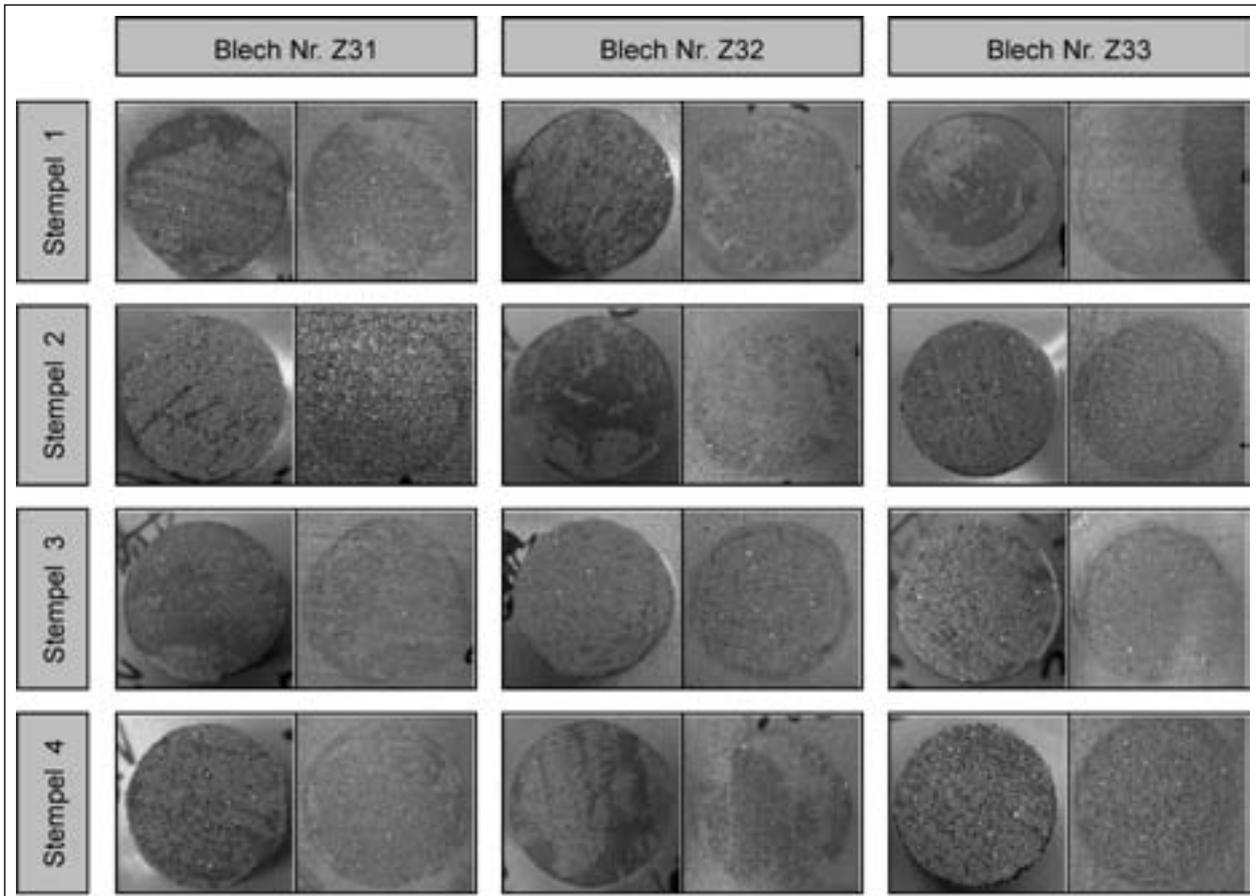


Bilder 266 bis 289: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 14 Tage	Zink	Sweepen

Blech Nr.		Z31	Z32	Z33
Stempel 1	[N/mm ²]	10,2	13,4	7,2
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	70	90	50
	B/Y, Y, Y/Z [%]	30	10	50
Stempel 2	[N/mm ²]	13,1	6,5	13,8
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	90	40	95
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	60	5
Stempel 3	[N/mm ²]	5,0	14,3	10,7
	A/B [%]	0	10	0
	B [%]	50	85	95
	B/Y, Y, Y/Z [%]	50	5	5
Stempel 4	[N/mm ²]	6,0	12,4	13,2
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	80	65	95
	B/Y, Y, Y/Z [%]	20	35	5

Tab. 13: Prüfergebnisse

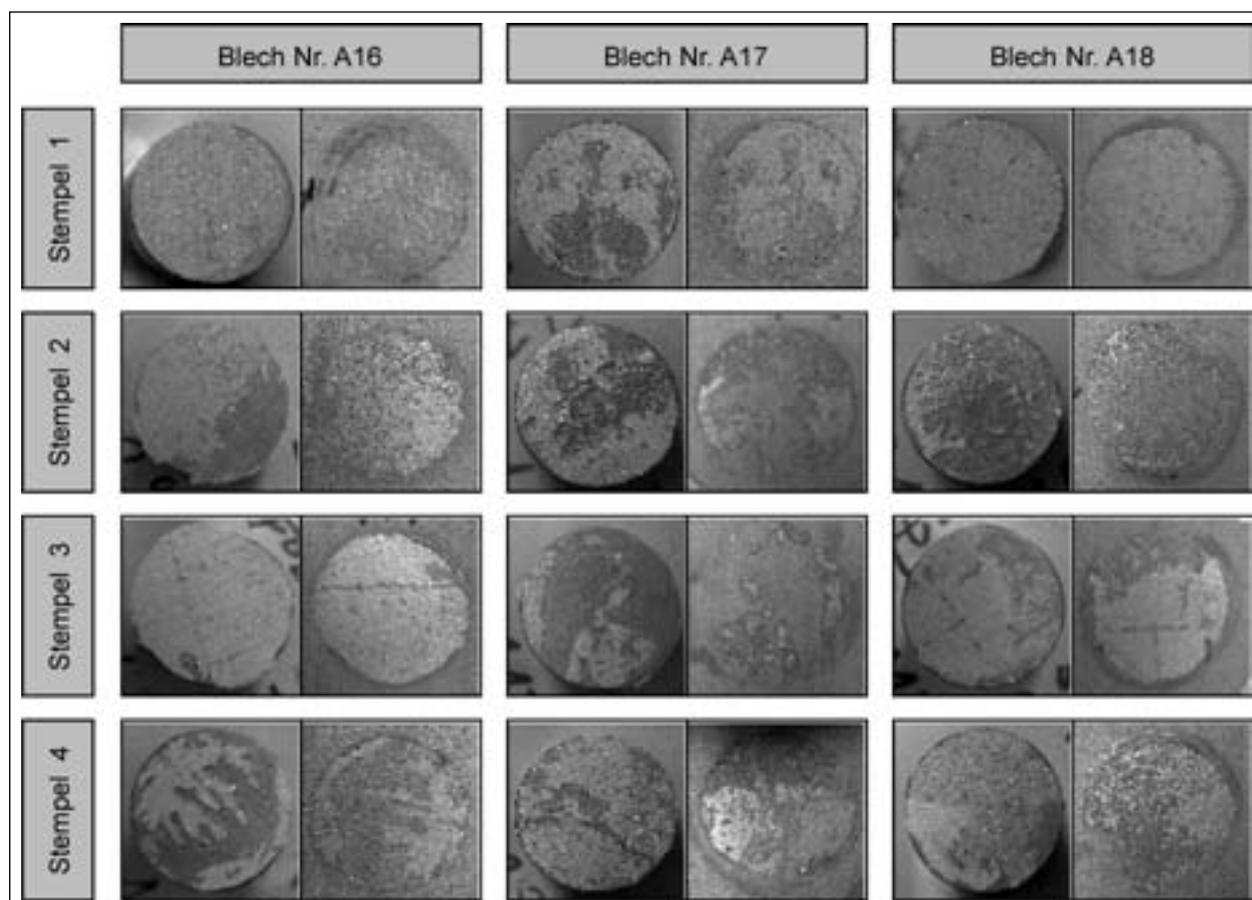


Bilder 290 bis 313: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 28 Tage	Galfan	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		A16	A17	A18
Stempel 1	[N/mm ²]	8,8	9,9	11,1
	A/B [%]	40	50	95
	B [%]	35	10	5
	B/Y, Y, Y/Z [%]	25	40	0
Stempel 2	[N/mm ²]	9,2	8,9	4,8
	A/B [%]	55	35	10
	B [%]	10	30	10
	B/Y, Y, Y/Z [%]	35	35	80
Stempel 3	[N/mm ²]	13,0	6,4	9,4
	A/B [%]	95	15	80
	B [%]	5	10	10
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	75	10
Stempel 4	[N/mm ²]	4,0	12,2	11,2
	A/B [%]	45	65	45
	B [%]	0	30	45
	B/Y, Y, Y/Z [%]	55	5	10

Tab. 14: Prüfergebnisse

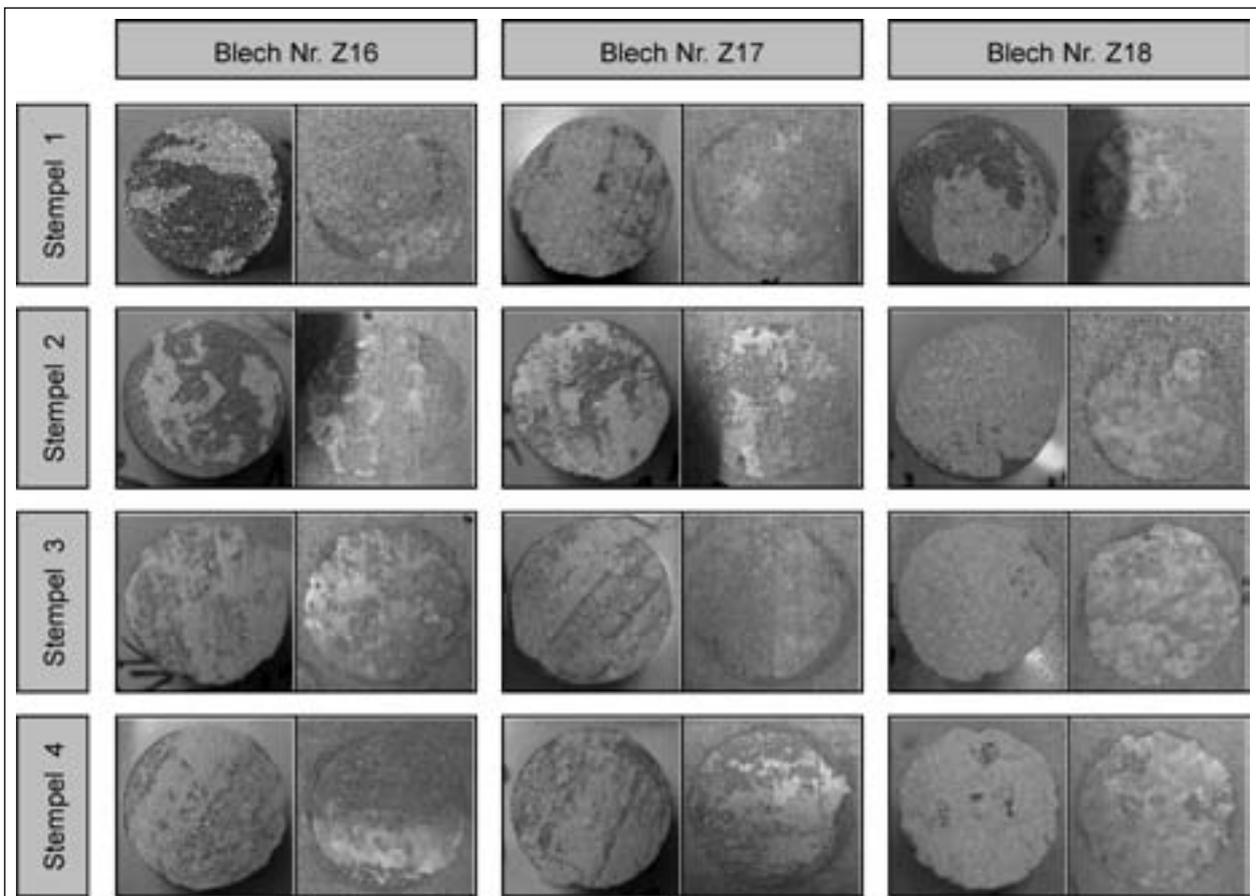


Bilder 314 bis 337: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 28 Tage	Zink	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		Z16	Z17	Z18
Stempel 1	[N/mm ²]	2,6	9,6	4,4
	A/B [%]	30	55	50
	B [%]	0	35	0
	B/Y, Y, Y/Z [%]	70	10	50
Stempel 2	[N/mm ²]	2,5	4,8	4,4
	A/B [%]	30	40	90
	B [%]	5	30	5
	B/Y, Y, Y/Z [%]	65	30	5
Stempel 3	[N/mm ²]	4,4	4,8	4,5
	A/B [%]	75	60	98
	B [%]	25	40	2
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	0	0
Stempel 4	[N/mm ²]	10,1	10,7	6,3
	A/B [%]	50	80	95
	B [%]	50	15	5
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	5	0

Tab. 15: Prüfergebnisse

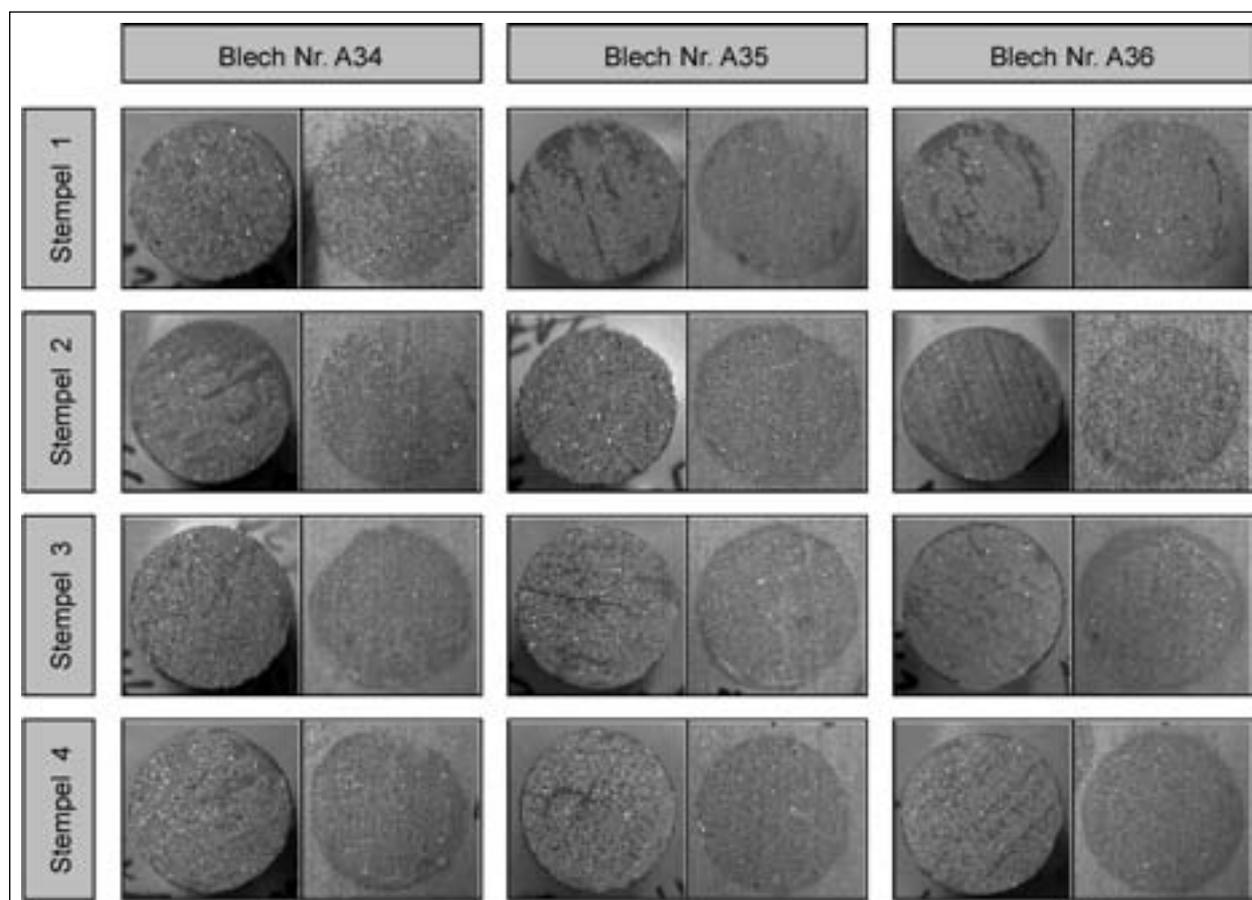


Bilder 338 bis 361: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 28 Tage	Galfan	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		A34	A35	A36
Stempel 1	[N/mm ²]	6,4	12,5	10,9
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	95	85	85
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	15	15
Stempel 2	[N/mm ²]	8,5	14,9	12,5
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	80	100	90
	B/Y, Y, Y/Z [%]	20	0	10
Stempel 3	[N/mm ²]	11,0	13,9	13,7
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	95	95	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	5	0
Stempel 4	[N/mm ²]	13,1	14,2	13,8
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	95	95	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	5	0

Tab. 16: Prüfergebnisse

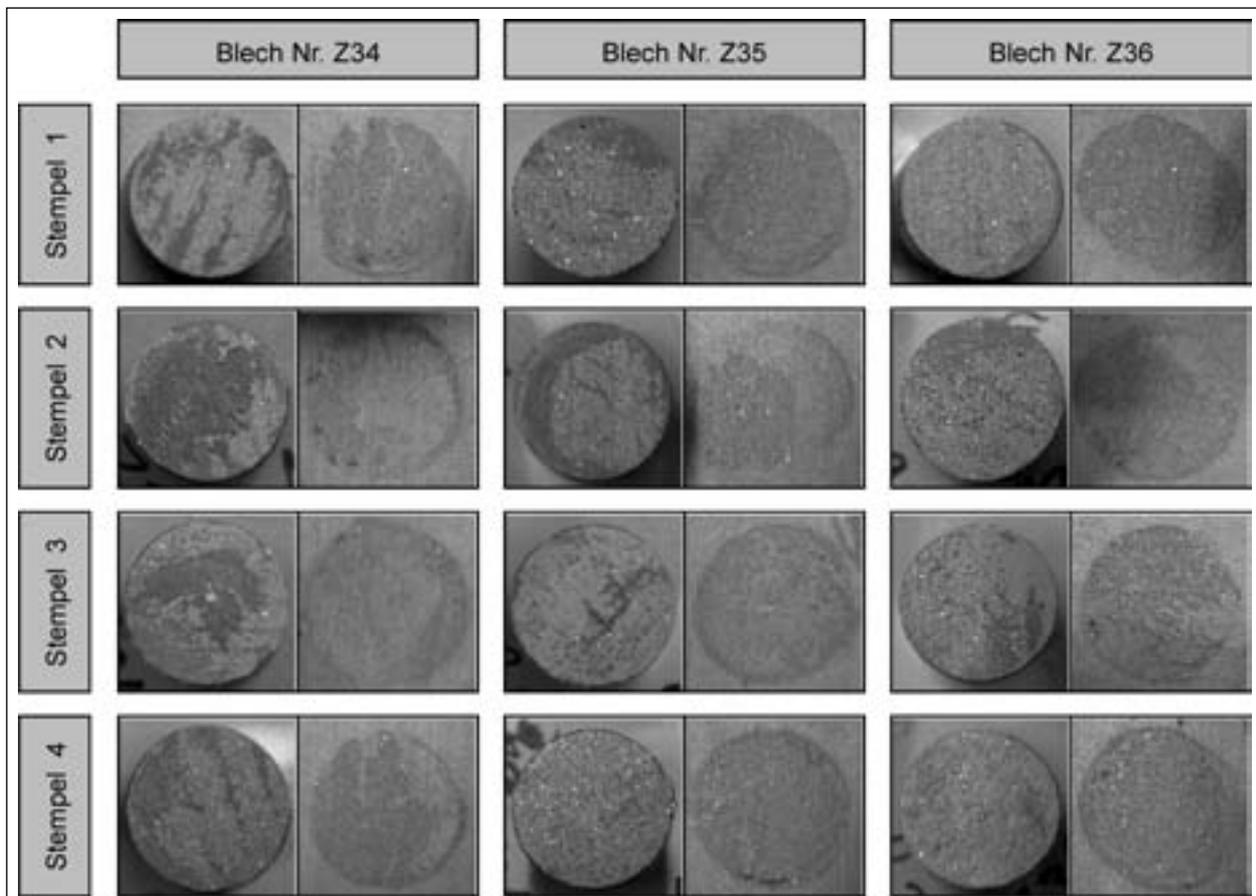


Bilder 362 bis 385: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Beständigkeit gegen Feuchtigkeit 28 Tage	Zink	Sweepen

Blech Nr.		Z34	Z35	Z36
Stempel 1	[N/mm ²]	11,4	12,5	12,7
	A/B [%]	5	0	0
	B [%]	55	90	90
	B/Y, Y, Y/Z [%]	40	10	10
Stempel 2	[N/mm ²]	3,9	6,3	12,4
	A/B [%]	0	0	5
	B [%]	15	75	85
	B/Y, Y, Y/Z [%]	85	25	10
Stempel 3	[N/mm ²]	4,3	9,7	9,5
	A/B [%]	0	10	15
	B [%]	35	85	75
	B/Y, Y, Y/Z [%]	65	5	10
Stempel 4	[N/mm ²]	8,9	13,3	13,4
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	70	95	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	30	5	0

Tab. 17: Prüfergebnisse

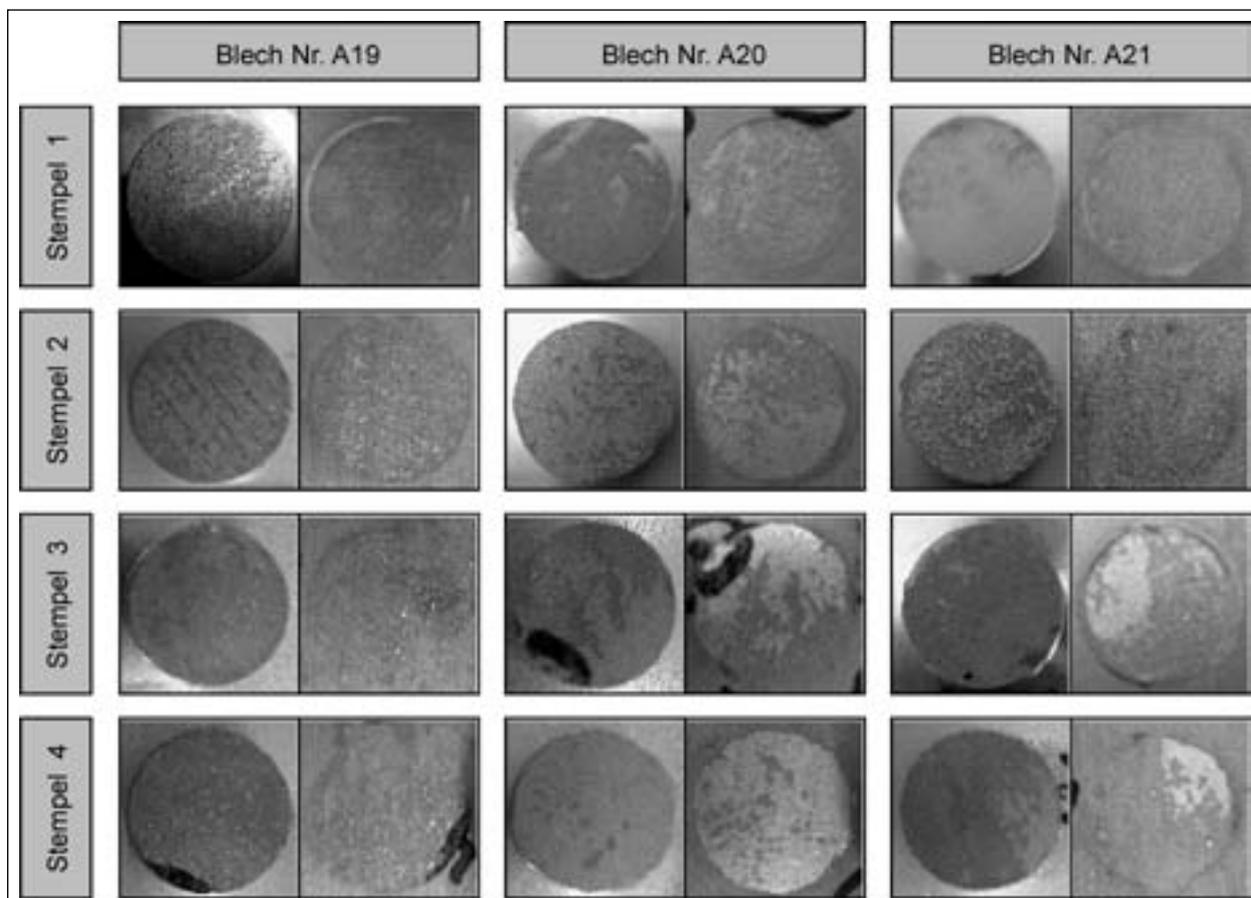


Bilder 386 bis 409: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Kondenswasser-Konstant-Klima 14 Tage	Galfan	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		A19	A20	A21
Stempel 1	[N/mm ²]	11,6	10,7	6,4
	A/B [%]	10	15	0
	B [%]	80	80	10
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	5	90
Stempel 2	[N/mm ²]	13,2	3,1	8,2
	A/B [%]	10	70	5
	B [%]	90	30	30
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	0	65
Stempel 3	[N/mm ²]	7,3	6,4	11,8
	A/B [%]	5	55	29
	B [%]	45	5	75
	B/Y, Y, Y/Z [%]	50	40	5
Stempel 4	[N/mm ²]	9,4	5,1	8,6
	A/B [%]	10	95	30
	B [%]	60	5	45
	B/Y, Y, Y/Z [%]	30	0	25

Tab. 18: Prüfergebnisse

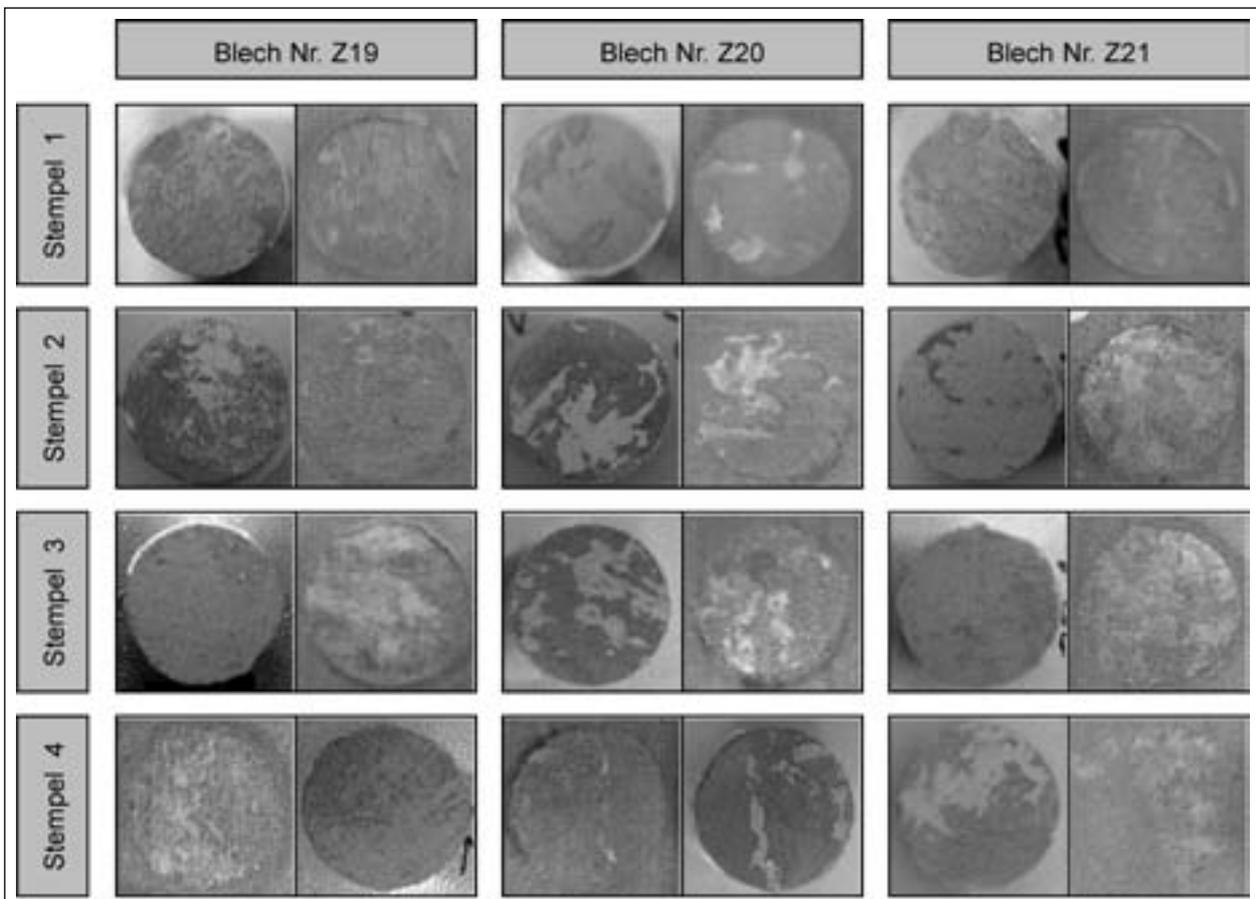


Bilder 410 bis 433: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Kondenswasser-Konstant-Klima 14 Tage	Zlnk	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		Z19	Z20	Z21
Stempel 1	[N/mm ²]	10,4	3,4	7,5
	A/B [%]	20	20	40
	B [%]	40	80	30
	B/Y, Y, Y/Z [%]	40	0	30
Stempel 2	[N/mm ²]	8,2	4,8	7,0
	A/B [%]	50	35	95
	B [%]	15	5	0
	B/Y, Y, Y/Z [%]	35	60	5
Stempel 3	[N/mm ²]	7,3	7,8	8,0
	A/B [%]	95	45	90
	B [%]	1	45	10
	B/Y, Y, Y/Z [%]	4	10	0
Stempel 4	[N/mm ²]	10,2	8,9	3,4
	A/B [%]	85	25	30
	B [%]	15	25	55
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	50	15

Tab. 19: Prüfergebnisse

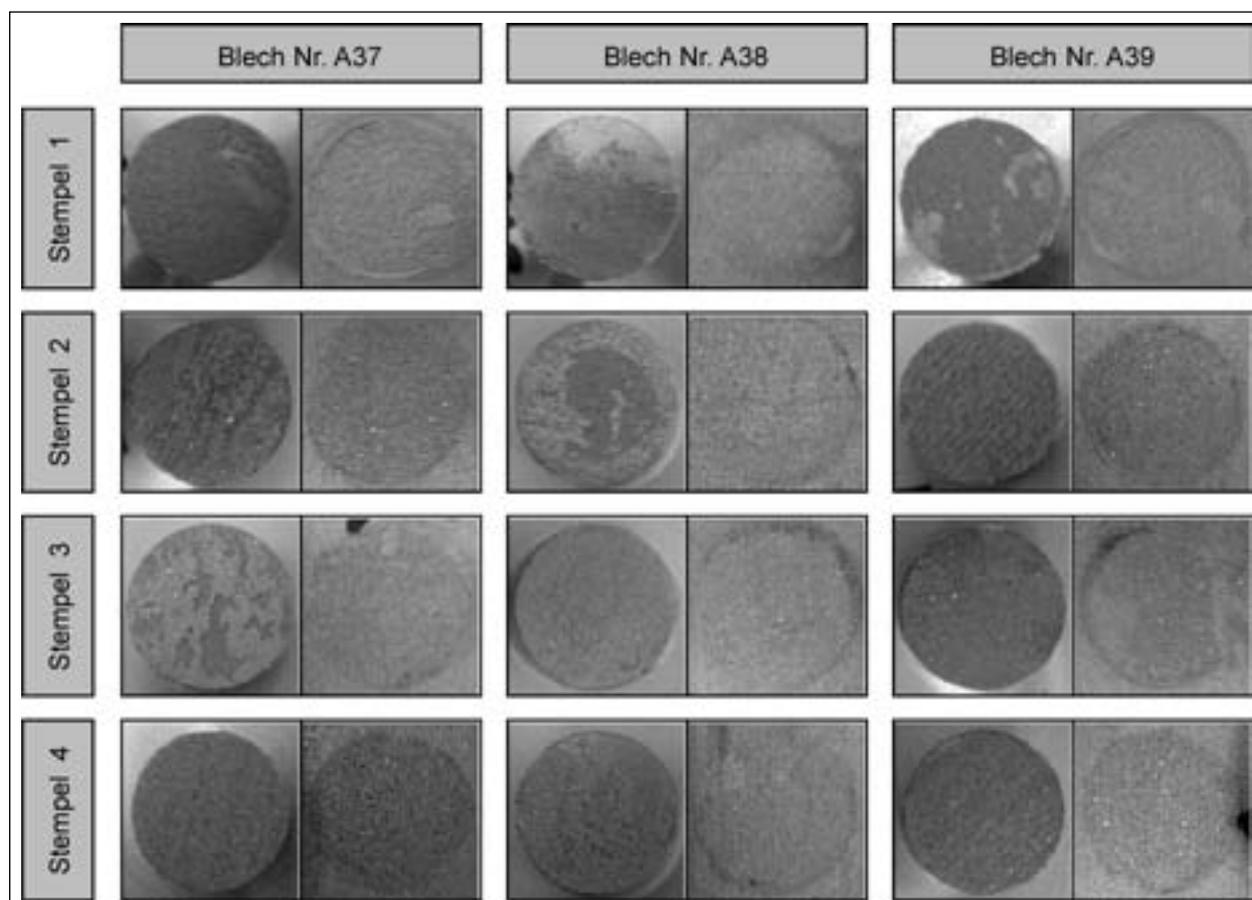


Bilder 434 bis 457: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Kondenswasser-Konstant-Klima 14 Tage	Galfan	Sweepen

Blech Nr.		A37	A38	A39
Stempel 1	[N/mm ²]	6,3	10,4	12,1
	A/B [%]	5	0	5
	B [%]	85	60	85
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	40	10
Stempel 2	[N/mm ²]	11,9	9,6	13,2
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	90	50	95
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	50	5
Stempel 3	[N/mm ²]	11,8	12,5	11,6
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	75	95	80
	B/Y, Y, Y/Z [%]	25	5	20
Stempel 4	[N/mm ²]	12,5	13,5	11,4
	A/B [%]	0	0	5
	B [%]	95	90	90
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	10	5

Tab. 20: Prüfergebnisse

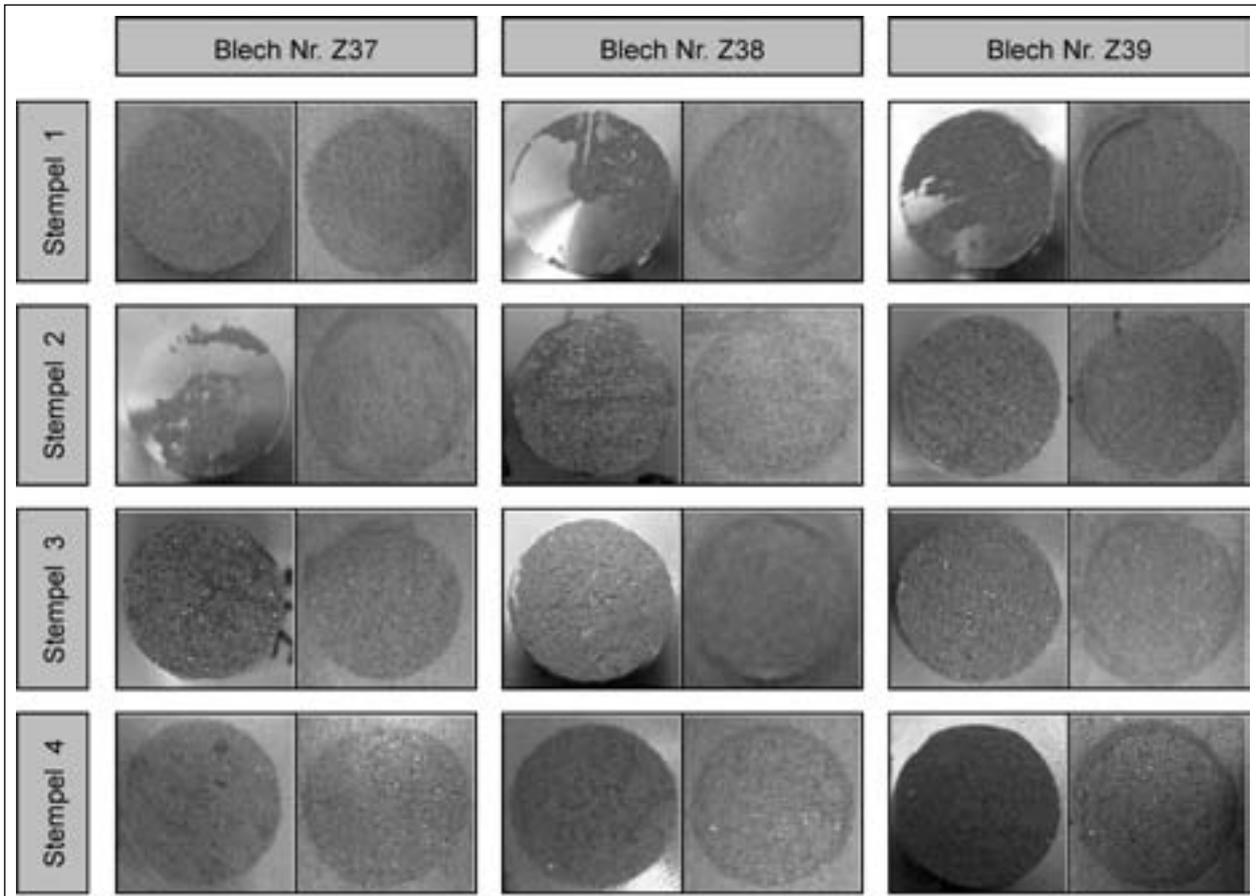


Bilder 458 bis 481: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Kondenswasser-Konstant-Klima 14 Tage	Zink	Sweepen

Blech Nr.		Z37	Z38	Z39
Stempel 1	[N/mm ²]	5,4	6,8	11,0
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	95	50	75
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	50	25
Stempel 2	[N/mm ²]	4,4	4,0	5,8
	A/B [%]	50	0	0
	B [%]	0	80	85
	B/Y, Y, Y/Z [%]	50	20	15
Stempel 3	[N/mm ²]	4,3	15,9	14,3
	A/B [%]	0	10	0
	B [%]	85	85	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	15	5	0
Stempel 4	[N/mm ²]	5,5	5,1	15,9
	A/B [%]	0	30	0
	B [%]	95	60	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	10	0

Tab. 21: Prüfergebnisse

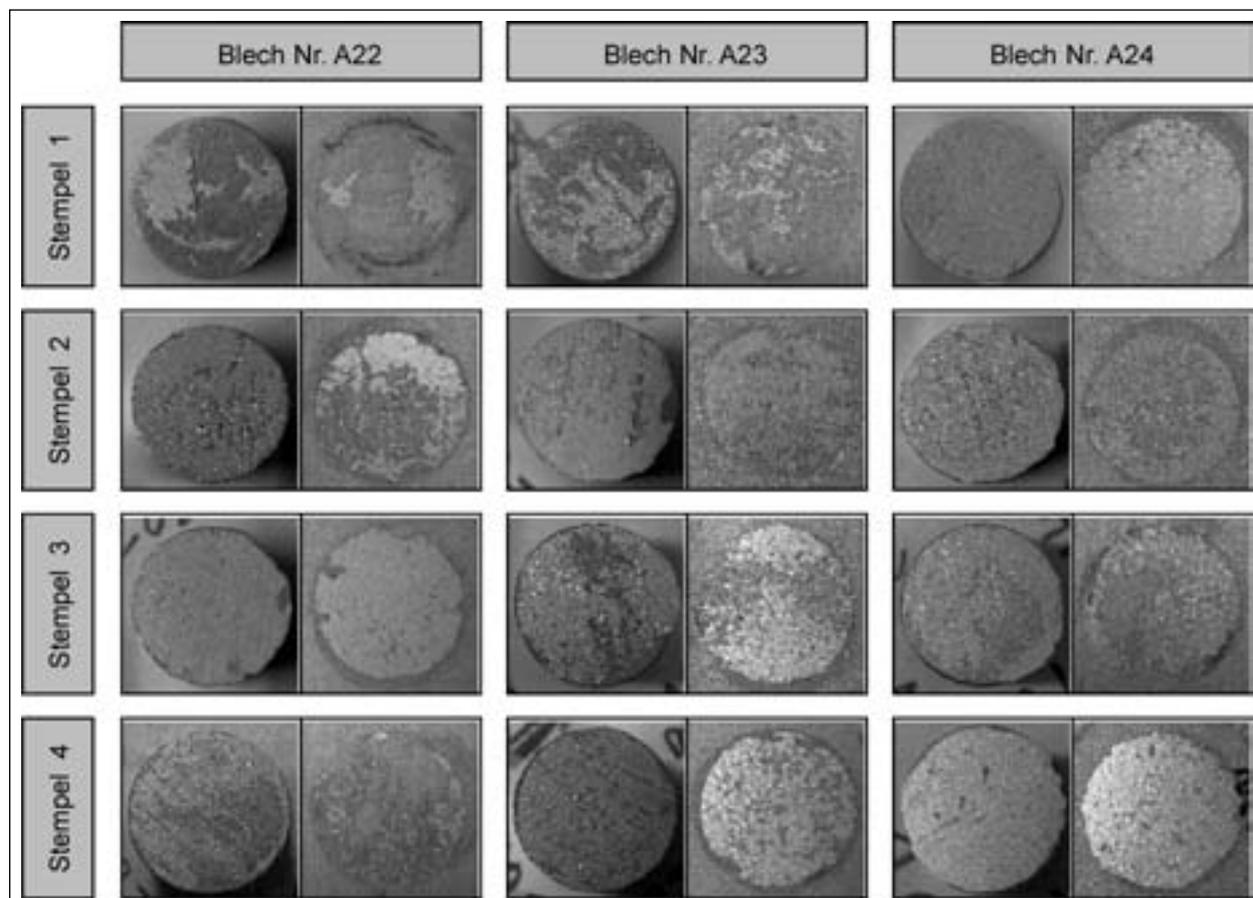


Bilder 482 bis 505: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Kondenswasser-Konstant-Klima 28 Tage	Galfan	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		A22	A23	A24
Stempel 1	[N/mm ²]	5,7	10,3	11,1
	A/B [%]	35	50	98
	B [%]	0	0	2
	B/Y, Y, Y/Z [%]	65	50	0
Stempel 2	[N/mm ²]	14,1	10,7	12,3
	A/B [%]	50	75	45
	B [%]	50	20	55
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	5	0
Stempel 3	[N/mm ²]	8,6	9,9	7,9
	A/B [%]	90	80	80
	B [%]	5	5	5
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	15	15
Stempel 4	[N/mm ²]	10,3	15,8	9,5
	A/B [%]	30	90	95
	B [%]	30	10	5
	B/Y, Y, Y/Z [%]	40	0	0

Tab. 22: Prüfergebnisse

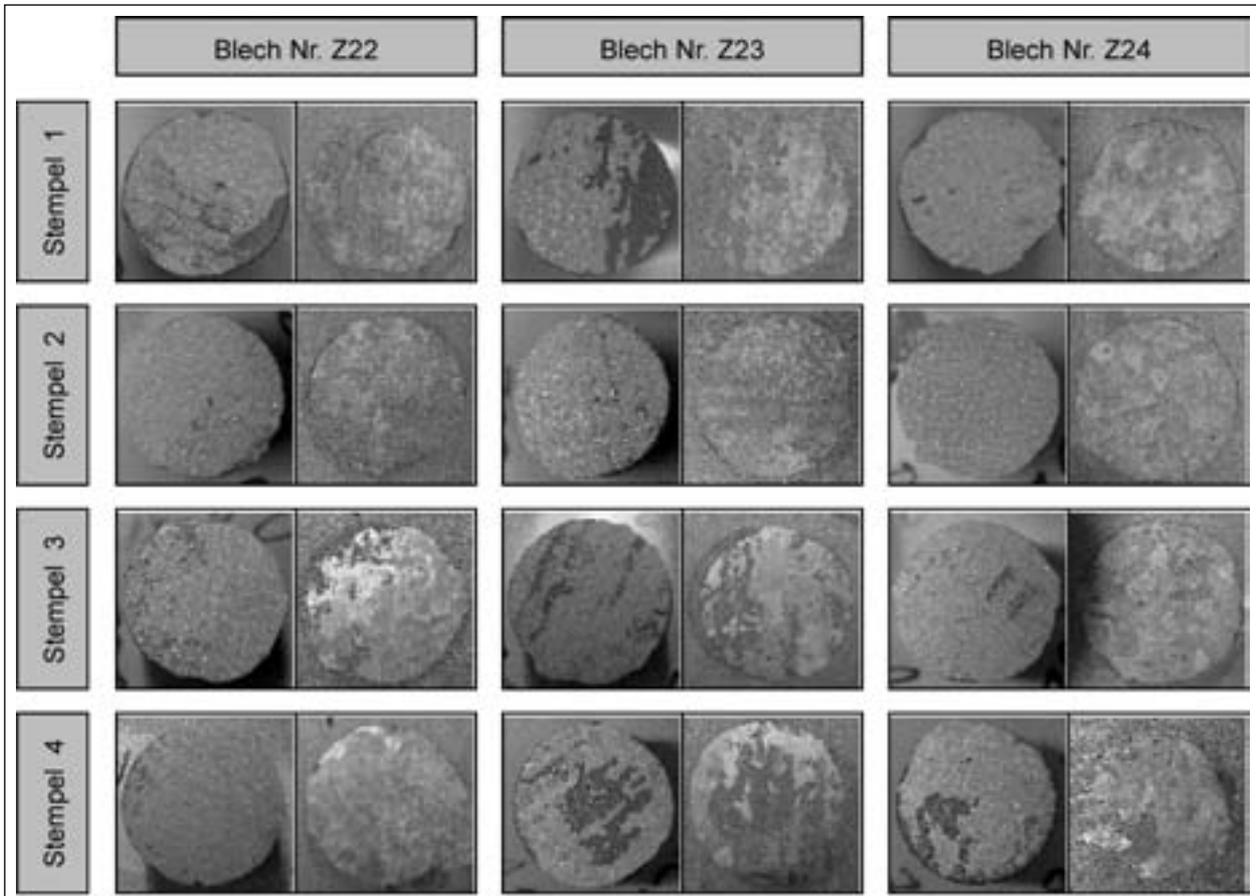


Bilder 506 bis 529: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Kondenswasser-Konstant-Klima 28 Tage	Zink	Netzmittelwäsche

Blech Nr.		Z22	Z23	Z24
Stempel 1	[N/mm ²]	4,3	5,3	2,9
	A/B [%]	75	60	95
	B [%]	15	5	2
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	35	3
Stempel 2	[N/mm ²]	4,7	5,6	2,3
	A/B [%]	80	95	100
	B [%]	20	5	0
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	0	0
Stempel 3	[N/mm ²]	3,5	6,8	6,6
	A/B [%]	90	80	95
	B [%]	10	20	5
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	0	0
Stempel 4	[N/mm ²]	2,2	3,8	2,5
	A/B [%]	95	80	85
	B [%]	5	5	3
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	15	12

Tab. 23: Prüfergebnisse

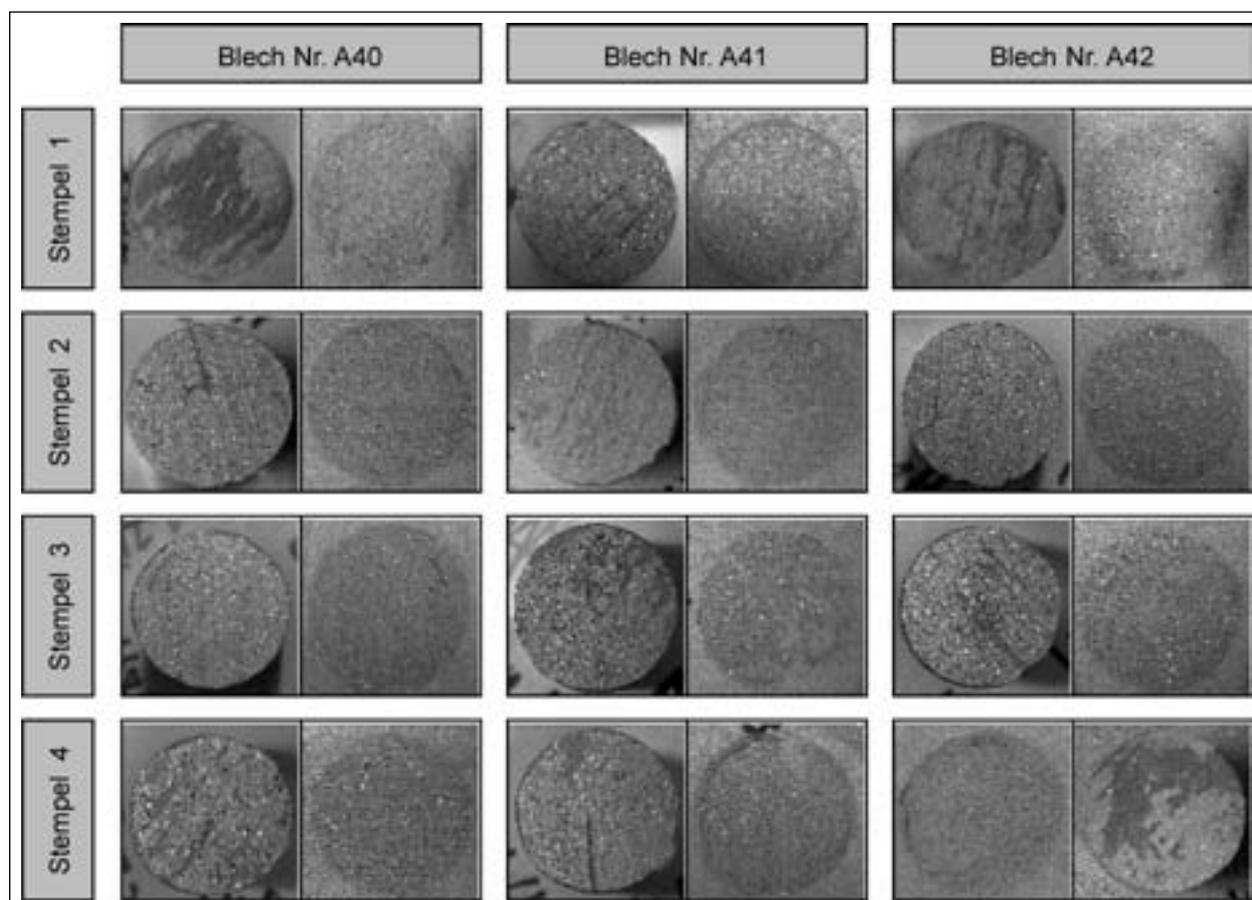


Bilder 530 bis 553: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Kondenswasser-Konstant-Klima 28 Tage	Galfan	Sweepen

Blech Nr.		A40	A41	A42
Stempel 1	[N/mm ²]	11,1	14,9	14,5
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	45	95	90
	B/Y, Y, Y/Z [%]	55	5	10
Stempel 2	[N/mm ²]	15,7	13,2	13,5
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	95	95	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	5	0
Stempel 3	[N/mm ²]	15,5	12,2	12,8
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	100	85	90
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	15	10
Stempel 4	[N/mm ²]	11,8	13,2	10,9
	A/B [%]	0	0	0
	B [%]	95	95	50
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	5	50

Tab. 24: Prüfergebnisse

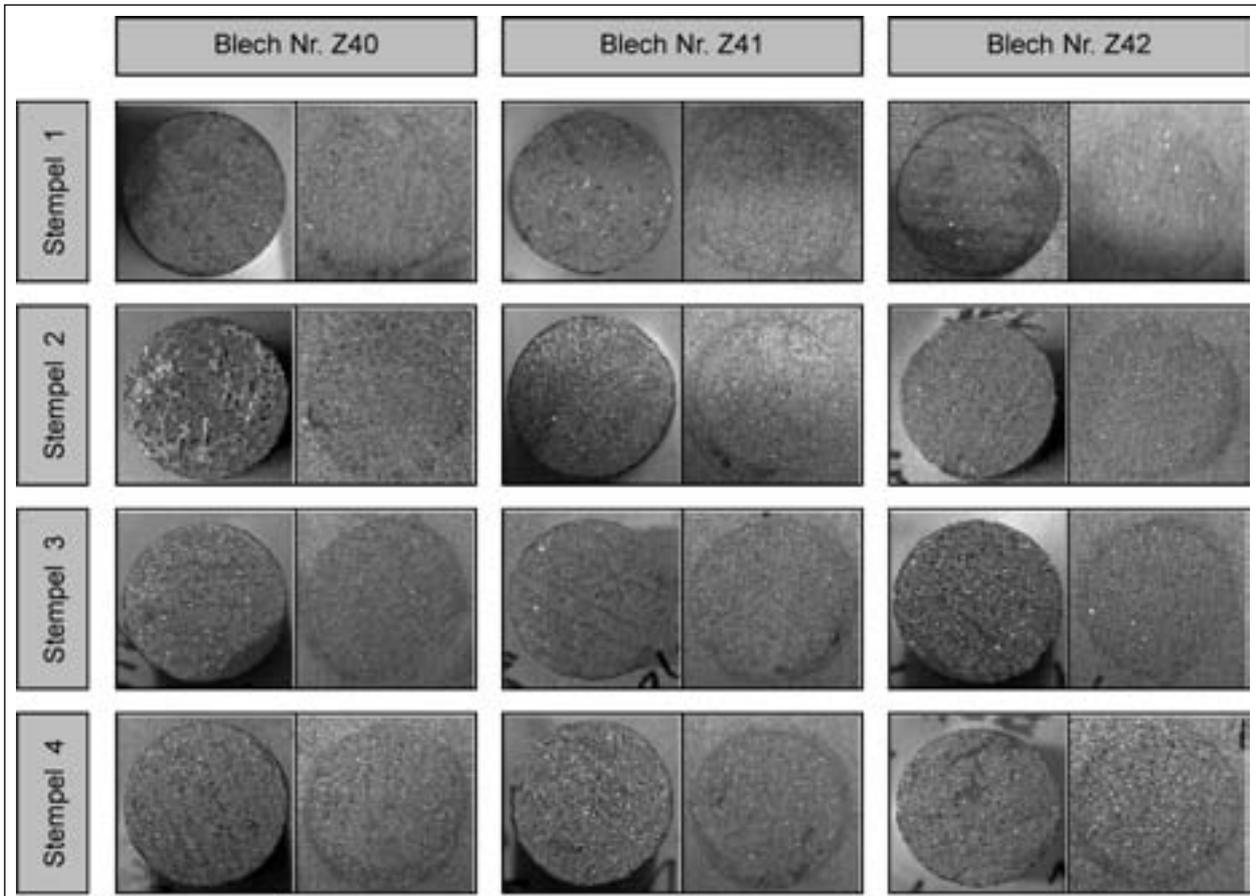


Bilder 554 bis 577: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Kondenswasser-Konstant-Klima 28 Tage	Zink	Sweepen

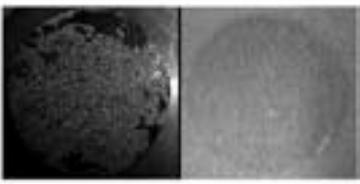
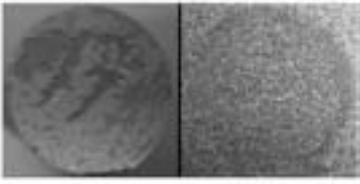
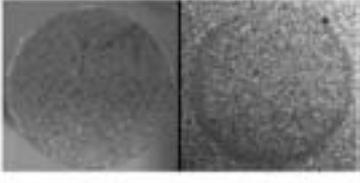
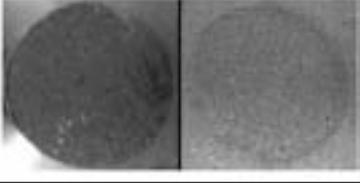
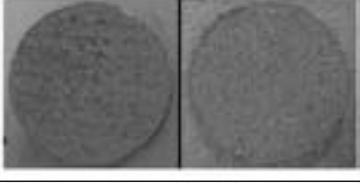
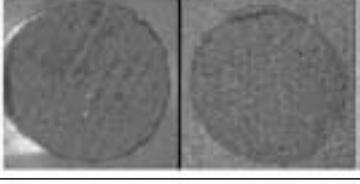
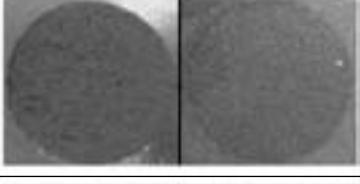
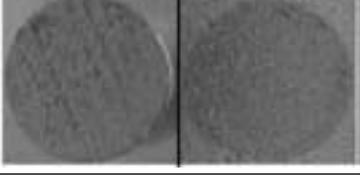
Blech Nr.		Z40	Z41	Z42
Stempel 1	[N/mm ²]	11,8	13,2	11,4
	A/B [%]	30	15	0
	B [%]	50	80	90
	B/Y, Y, Y/Z [%]	20	5	10
Stempel 2	[N/mm ²]	3,5	8,1	12,8
	A/B [%]	0	10	0
	B [%]	15	40	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	85	50	0
Stempel 3	[N/mm ²]	10,9	12,5	13,2
	A/B [%]	0	15	0
	B [%]	90	85	100
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	0	0
Stempel 4	[N/mm ²]	13,2	11,5	15,4
	A/B [%]	30	5	0
	B [%]	70	95	97
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	0	3

Tab. 25: Prüfergebnisse



Bilder 578 bis 601: Bruchflächen

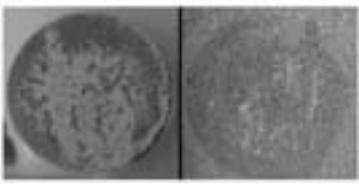
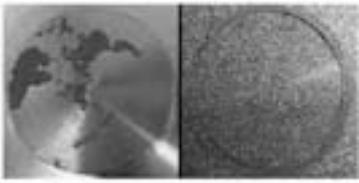
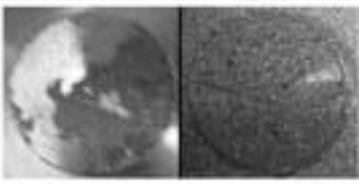
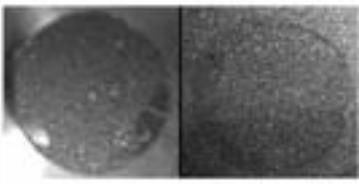
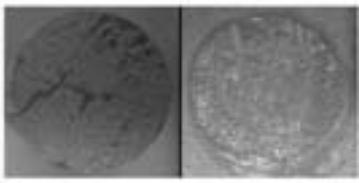
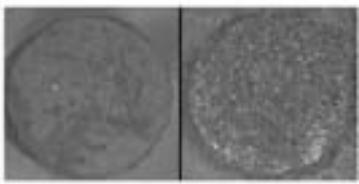
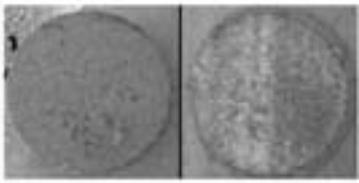
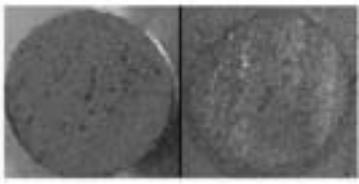
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 5 Tage	Galfan	Sweepen
Blech Nr.	A1	

Stempel 1	[N/mm ²]	9,4	
	A/B [%]	0	
	B [%]	85	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	15	
Stempel 2	[N/mm ²]	5,3	
	A/B [%]	0	
	B [%]	70	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	30	
Stempel 3	[N/mm ²]	6,2	
	A/B [%]	0	
	B [%]	100	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 4	[N/mm ²]	11,6	
	A/B [%]	5	
	B [%]	90	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 5	[N/mm ²]	16,1	
	A/B [%]	0	
	B [%]	100	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 6	[N/mm ²]	14,5	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 7	[N/mm ²]	12,0	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 8	[N/mm ²]	15,7	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	

Tab. 26: Prüfergebnisse

Bilder 602 bis 617: Bruchflächen

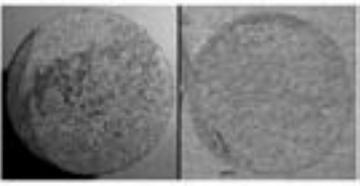
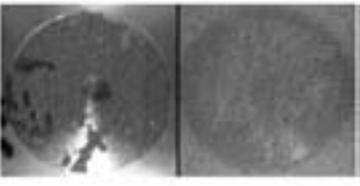
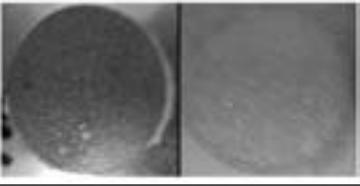
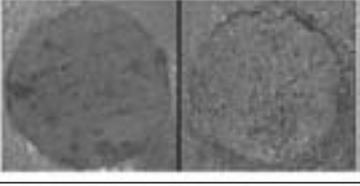
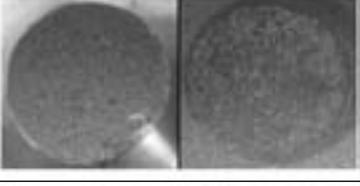
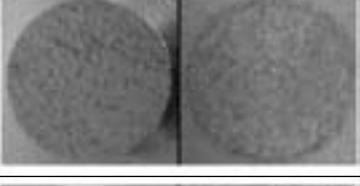
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 5 Tage	Zink	Sweepen
Blech Nr.	Z1	

Stempel 1	[N/mm ²]	4,2	
	A/B [%]	80	
	B [%]	5	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	15	
Stempel 2	[N/mm ²]	4,6	
	A/B [%]	15	
	B [%]	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	35	
Stempel 3	[N/mm ²]	8,3	
	A/B [%]	0	
	B [%]	70	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	30	
Stempel 4	[N/mm ²]	11,2	
	A/B [%]	10	
	B [%]	80	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	
Stempel 5	[N/mm ²]	6,7	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 6	[N/mm ²]	11,7	
	A/B [%]	10	
	B [%]	85	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 7	[N/mm ²]	6,3	
	A/B [%]	45	
	B [%]	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 8	[N/mm ²]	5,4	
	A/B [%]	35	
	B [%]	0	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	

Tab. 27: Prüfergebnisse

Bilder 618 bis 633: Bruchflächen

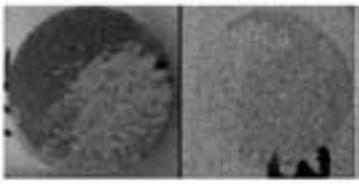
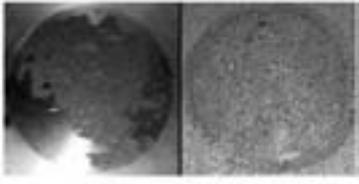
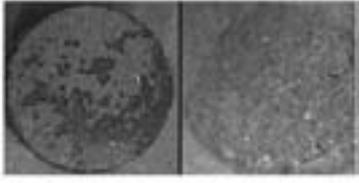
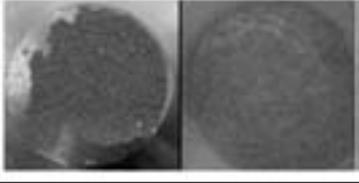
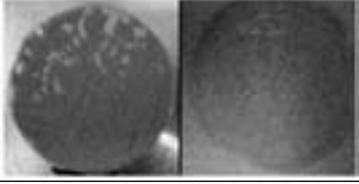
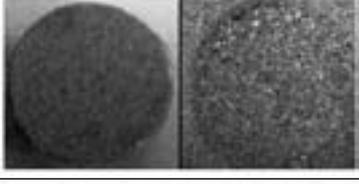
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 5 Tage	Galfan	Netzmittelwäsche
Blech Nr.	A4	

Stempel 1	[N/mm ²]	5,1	
	A/B [%]	20	
	B [%]	65	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	15	
Stempel 2	[N/mm ²]	8,5	
	A/B [%]	5	
	B [%]	65	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	30	
Stempel 3	[N/mm ²]	12,2	
	A/B [%]	5	
	B [%]	75	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	20	
Stempel 4	[N/mm ²]	4,2	
	A/B [%]	60	
	B [%]	30	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	
Stempel 5	[N/mm ²]	13,3	
	A/B [%]	15	
	B [%]	80	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 6	[N/mm ²]	4,0	
	A/B [%]	20	
	B [%]	65	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	15	
Stempel 7	[N/mm ²]	4,4	
	A/B [%]	50	
	B [%]	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 8	[N/mm ²]	4,2	
	A/B [%]	45	
	B [%]	45	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	

Tab. 28: Prüfergebnisse

Bilder 634 bis 649: Bruchflächen

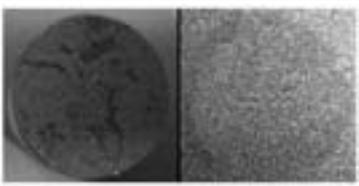
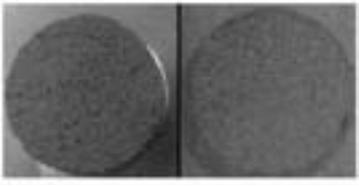
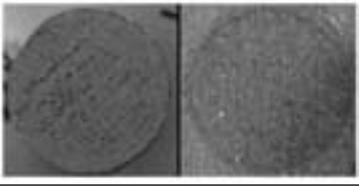
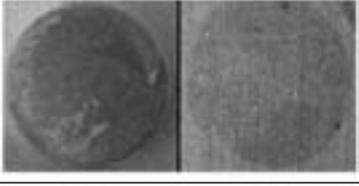
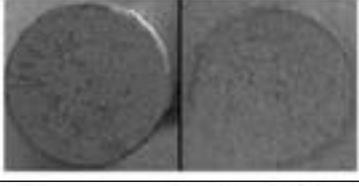
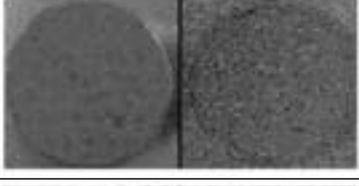
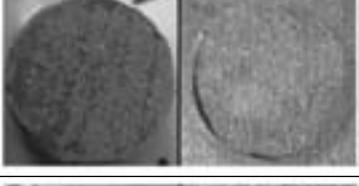
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 5 Tage	Zink	Netzmittelwäsche
Blech Nr.	Z4	

Stempel 1	[N/mm ²]	5,7	
	A/B [%]	10	
	B [%]	40	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	50	
Stempel 2	[N/mm ²]	11,4	
	A/B [%]	15	
	B [%]	55	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	30	
Stempel 3	[N/mm ²]	11,9	
	A/B [%]	5	
	B [%]	65	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	30	
Stempel 4	[N/mm ²]	10,9	
	A/B [%]	30	
	B [%]	60	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	
Stempel 5	[N/mm ²]	12,6	
	A/B [%]	5	
	B [%]	90	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 6	[N/mm ²]	15,4	
	A/B [%]	15	
	B [%]	80	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 7	[N/mm ²]	14,7	
	A/B [%]	30	
	B [%]	65	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 8	[N/mm ²]	14,8	
	A/B [%]	45	
	B [%]	55	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	

Tab. 29: Prüfergebnisse

Bilder 650 bis 665: Bruchflächen

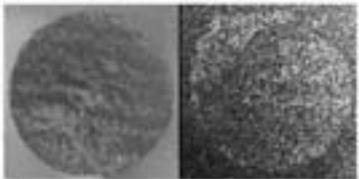
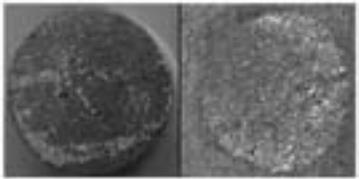
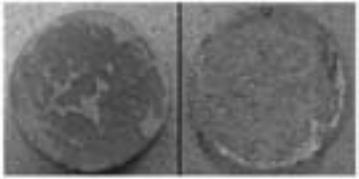
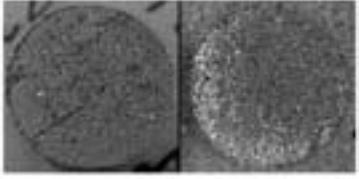
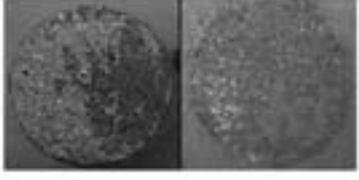
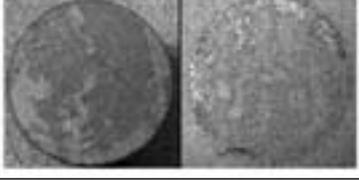
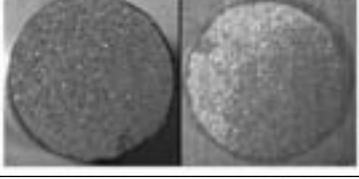
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 10 Tage	Galfan	Sweepen
Blech Nr.	A2	

Stempel 1	[N/mm ²]	5,5	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 2	[N/mm ²]	10,9	
	A/B [%]	0	
	B [%]	100	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 3	[N/mm ²]	12,0	
	A/B [%]	0	
	B [%]	100	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 4	[N/mm ²]	6,1	
	A/B [%]	0	
	B [%]	35	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	65	
Stempel 5	[N/mm ²]	10,1	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 6	[N/mm ²]	10,0	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 7	[N/mm ²]	6,1	
	A/B [%]	0	
	B [%]	35	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	65	
Stempel 8	[N/mm ²]	6,6	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	

Tab. 30: Prüfergebnisse

Bilder 666 bis 681: Bruchflächen

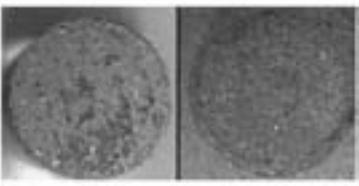
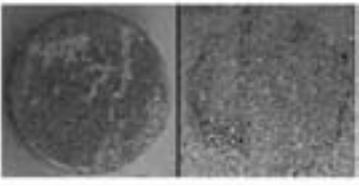
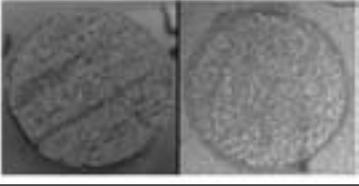
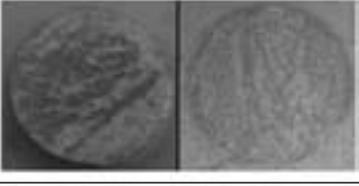
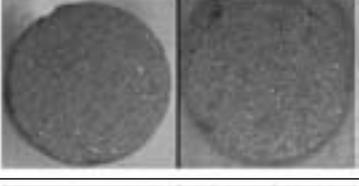
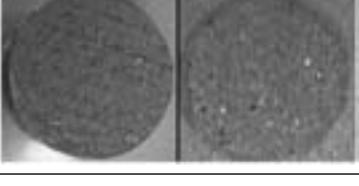
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 10 Tage	Zink	Sweepen
Blech Nr.	Z2	

Stempel 1	[N/mm ²]	6,1	
	A/B [%]	15	
	B [%]	10	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	75	
Stempel 2	[N/mm ²]	5,2	
	A/B [%]	70	
	B [%]	25	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 3	[N/mm ²]	6,1	
	A/B [%]	10	
	B [%]	85	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 4	[N/mm ²]	13,9	
	A/B [%]	30	
	B [%]	70	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 5	[N/mm ²]	8,5	
	A/B [%]	10	
	B [%]	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	40	
Stempel 6	[N/mm ²]	9,7	
	A/B [%]	10	
	B [%]	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	40	
Stempel 7	[N/mm ²]	13,7	
	A/B [%]	40	
	B [%]	55	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 8	[N/mm ²]	8,0	
	A/B [%]	40	
	B [%]	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	

Tab. 31: Prüfergebnisse

Bilder 682 bis 697: Bruchflächen

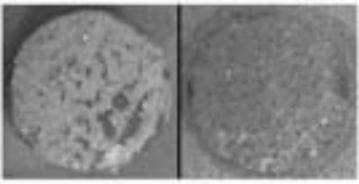
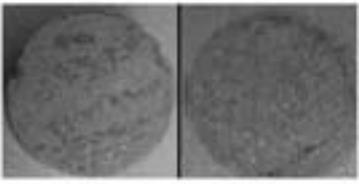
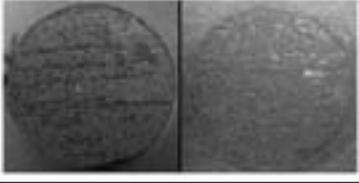
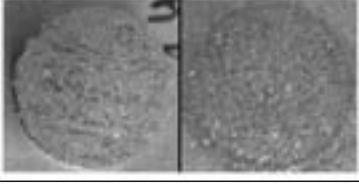
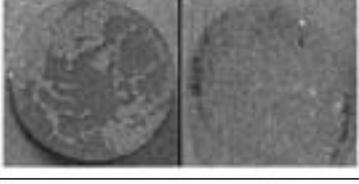
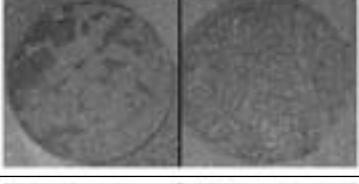
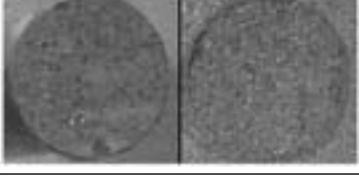
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 10 Tage	Galfan	Netzmittelwäsche
Blech Nr.	A5	

Stempel 1	[N/mm ²]	13,0	
	A/B [%]	15	
	B [%]	75	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	
Stempel 2	[N/mm ²]	6,3	
	A/B [%]	0	
	B [%]	15	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	85	
Stempel 3	[N/mm ²]	10,2	
	A/B [%]	20	
	B [%]	75	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 4	[N/mm ²]	10,7	
	A/B [%]	10	
	B [%]	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	40	
Stempel 5	[N/mm ²]	12,5	
	A/B [%]	10	
	B [%]	70	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	20	
Stempel 6	[N/mm ²]	10,4	
	A/B [%]	5	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 7	[N/mm ²]	15,6	
	A/B [%]	0	
	B [%]	90	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	
Stempel 8	[N/mm ²]	14,1	
	A/B [%]	5	
	B [%]	90	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	

Tab. 32: Prüfergebnisse

Bilder 698 bis 713: Bruchflächen

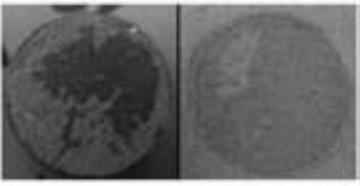
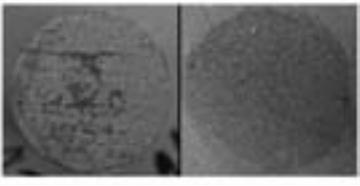
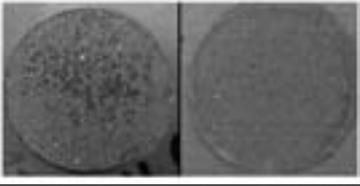
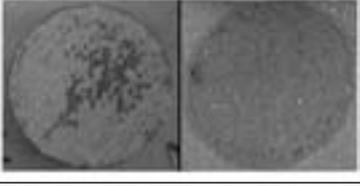
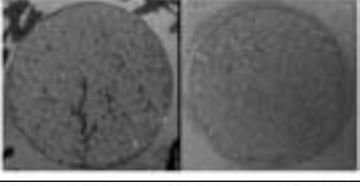
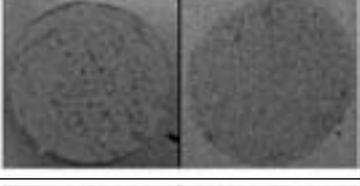
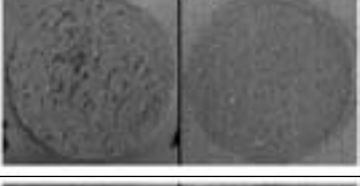
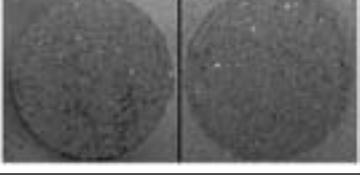
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 10 Tage	Zink	Netzmittelwäsche
Blech Nr.	Z5	

Stempel 1	[N/mm ²]	4,6	
	A/B [%]	20	
	B [%]	70	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	
Stempel 2	[N/mm ²]	4,7	
	A/B [%]	10	
	B [%]	85	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 3	[N/mm ²]	3,2	
	A/B [%]	85	
	B [%]	10	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 4	[N/mm ²]	4,5	
	A/B [%]	10	
	B [%]	90	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 5	[N/mm ²]	4,6	
	A/B [%]	10	
	B [%]	85	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 6	[N/mm ²]	10,6	
	A/B [%]	30	
	B [%]	30	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	40	
Stempel 7	[N/mm ²]	13,8	
	A/B [%]	5	
	B [%]	85	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	
Stempel 8	[N/mm ²]	16,7	
	A/B [%]	40	
	B [%]	60	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	

Tab. 33: Prüfergebnisse

Bilder 714 bis 729: Bruchflächen

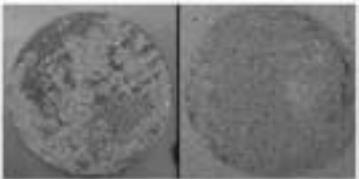
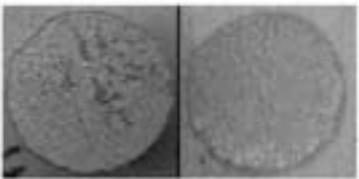
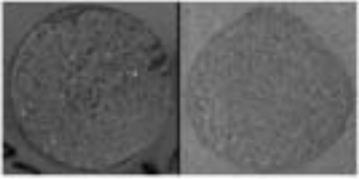
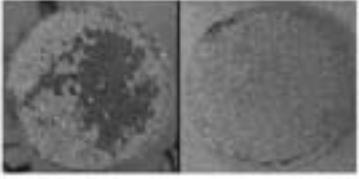
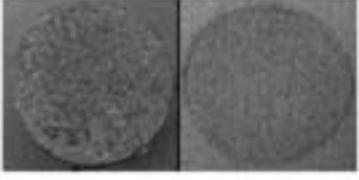
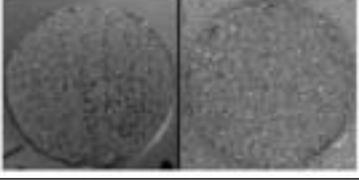
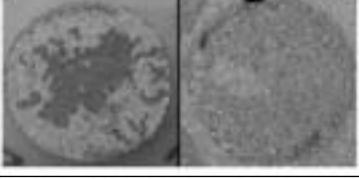
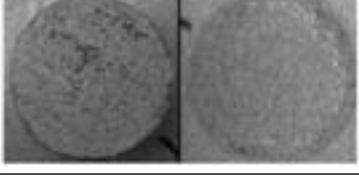
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 20 Tage	Galfan	Sweepen
Blech Nr.	A3	

Stempel 1	[N/mm ²]	14,2	
	A/B [%]	0	
	B [%]	70	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	30	
Stempel 2	[N/mm ²]	15,7	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 3	[N/mm ²]	4,9	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 4	[N/mm ²]	14,0	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 5	[N/mm ²]	15,5	
	A/B [%]	0	
	B [%]	100	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 6	[N/mm ²]	15,8	
	A/B [%]	0	
	B [%]	100	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 7	[N/mm ²]	16,8	
	A/B [%]	0	
	B [%]	100	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 8	[N/mm ²]	16,9	
	A/B [%]	0	
	B [%]	100	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	

Tab. 34: Prüfergebnisse

Bilder 730 bis 745: Bruchflächen

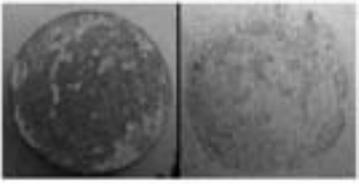
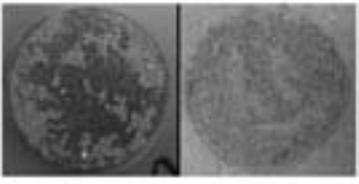
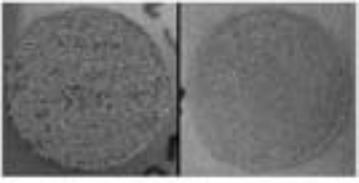
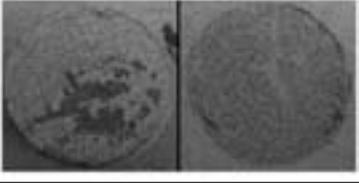
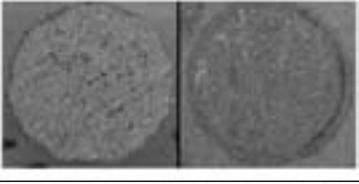
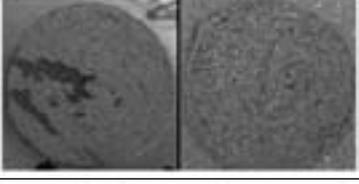
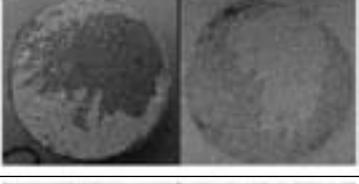
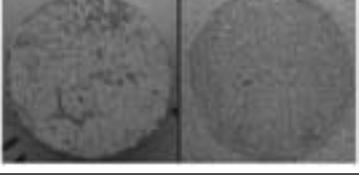
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 20 Tage	Zink	Sweepen
Blech Nr.	Z3	

Stempel 1	[N/mm ²]	11,4	
	A/B [%]	0	
	B [%]	80	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	20	
Stempel 2	[N/mm ²]	15,5	
	A/B [%]	0	
	B [%]	98	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	2	
Stempel 3	[N/mm ²]	12,7	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 4	[N/mm ²]	13,6	
	A/B [%]	0	
	B [%]	70	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	30	
Stempel 5	[N/mm ²]	14,6	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 6	[N/mm ²]	15,2	
	A/B [%]	0	
	B [%]	100	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 7	[N/mm ²]	10,4	
	A/B [%]	0	
	B [%]	65	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	35	
Stempel 8	[N/mm ²]	15,9	
	A/B [%]	3	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	2	

Tab. 35: Prüfergebnisse

Bilder 746 bis 761: Bruchflächen

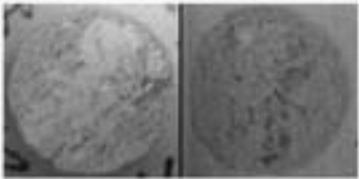
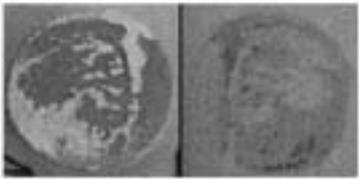
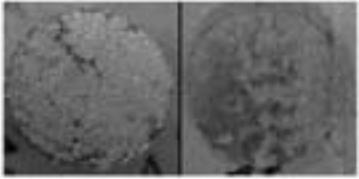
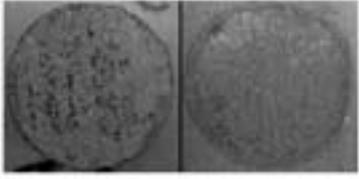
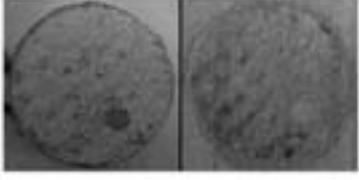
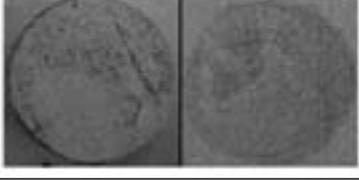
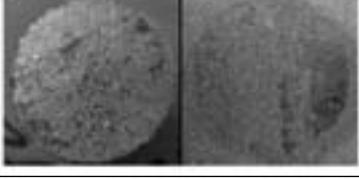
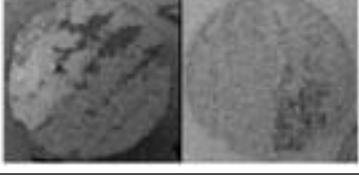
Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 20 Tage	Galfan	Netzmittelwäsche
Blech Nr.	A6	

Stempel 1	[N/mm ²]	6,1	
	A/B [%]	0	
	B [%]	20	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	80	
Stempel 2	[N/mm ²]	8,7	
	A/B [%]	0	
	B [%]	40	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	60	
Stempel 3	[N/mm ²]	8,9	
	A/B [%]	0	
	B [%]	95	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 4	[N/mm ²]	13,7	
	A/B [%]	0	
	B [%]	90	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	10	
Stempel 5	[N/mm ²]	6,2	
	A/B [%]	15	
	B [%]	85	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 6	[N/mm ²]	15,3	
	A/B [%]	5	
	B [%]	85	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 7	[N/mm ²]	7,2	
	A/B [%]	5	
	B [%]	30	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	60	
Stempel 8	[N/mm ²]	13,4	
	A/B [%]	0	
	B [%]	98	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	2	

Tab. 36: Prüfergebnisse

Bilder 762 bis 777: Bruchflächen

Korrosionsversuch	Überzug	Oberflächenvorbereitung
Wärme-Kälte-Wechselbelastung 20 Tage	Zink	Netzmittelwäsche
Blech Nr.	Z6	

Stempel 1	[N/mm ²]	4,7	
	A/B [%]	65	
	B [%]	35	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 2	[N/mm ²]	3,6	
	A/B [%]	15	
	B [%]	5	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	80	
Stempel 3	[N/mm ²]	4,8	
	A/B [%]	80	
	B [%]	15	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 4	[N/mm ²]	12,4	
	A/B [%]	65	
	B [%]	35	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 5	[N/mm ²]	10,5	
	A/B [%]	85	
	B [%]	10	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 6	[N/mm ²]	13,7	
	A/B [%]	45	
	B [%]	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	
Stempel 7	[N/mm ²]	4,2	
	A/B [%]	50	
	B [%]	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	0	
Stempel 8	[N/mm ²]	6,6	
	A/B [%]	45	
	B [%]	50	
	B/Y, Y, Y/Z [%]	5	

Tab. 37: Prüfergebnisse

Bilder 778 bis 793: Bruchflächen

8 Zusammenfassung und Ausblick

Bei der Rheinbrücke Flehe ist aufgrund von Schäden in Form von Drahtbrüchen unter anderem der Austausch von 9 Brückenseilen vorgesehen. Dabei sollen erstmalig Seile aus Drähten mit Galfan-Überzug zum Einsatz kommen – einer Zink-Aluminium-Legierung –, womit sich ein noch besserer Korrosionsschutz erreichen lässt als vergleichsweise mit unlegiertem Zink.

Da jedoch unbekannt war, ob das vorgesehene und gleichzeitig einzig zugelassene Beschichtungssystem über eine ausreichende Haftfestigkeit auf Stahlflächen mit Galfan-Überzug verfügt, wurde das hier beschriebene Projekt initiiert, um entsprechende Laboruntersuchungen durchzuführen. Vorrangiges Ziel dieser Untersuchungen war es, im direkten Vergleich nachzuweisen, dass die Grundbeschichtung auf Stahlflächen mit Galfan-Überzug eine mindestens gleich gute Haftfestigkeit erreicht wie auf Stahlflächen mit herkömmlichem Zink-Überzug.

Im Interesse einer möglichst guten Reproduzierbarkeit wurden die Versuche nicht an seilartigen Probekörpern, sondern an ebenen Blechen mit homogener Oberfläche durchgeführt, wobei die eine Hälfte dieser Probekörper feuerverzinkt und die andere Hälfte mit einem Galfan-Überzug versehen war. Darüber hinaus erfolgte die Untersuchung zweier unterschiedlicher Arten der Oberflächenvorbereitung. Die Probekörper, sowohl mit herkömmlichem Zink-Überzug als auch mit Galfan-Überzug, wurden je zur Hälfte mit ammoniakalischer Netzmittelwäsche und mit Sweep-Strahlen vorbereitet. Auf sämtlichen Probekörpern erfolgte schließlich eine Applikation der Grundbeschichtung per Pinsel. Insgesamt wurden 80 Probekörper in 4 unterschiedlichen Varianten hergestellt.

Nach einer Konditionierungsphase von mindestens einer Woche wurden die Probekörper unterschiedlichen Korrosionsversuchen auf Grundlage der ZTV-KOR-Stahlbauten unterzogen. Da diese Versuche für komplette Beschichtungssysteme ausgelegt sind, im vorliegenden Fall jedoch lediglich eine Prüfung der Grundbeschichtung vorgesehen war, wurden die Belastungsdauern verkürzt. Aus diesem Grund konnten die Versuche auch nur „in Anlehnung“ an die bestehenden Prüfvorschriften erfolgen. Als Korrosionsversuche wurden durchgeführt:

- Null-Probe,
- Beständigkeit gegen Feuchtigkeit,
- Kondenswasser-Konstant-Klima,
- Temperatur-Wechsel-Beanspruchung.

Im Anschluss an die Korrosionsversuche (nach einer ausreichenden Konditionierungsphase) erfolgte die Prüfung der Haftfestigkeit in Form von Abreißversuchen. Aufgrund ihrer geringen Blechstärke wurden die Probekörper zunächst auf Beton-Platten geklebt. Anschließend konnten die Positionierung und die Befestigung der Prüfstempel (mittels Cyanacrylat-Klebstoff) auf den beschichteten Probekörper erfolgen. Nach dem Härten des Klebstoffs wurden die Prüfstempel einzeln mit einem hydraulischen Zugprüfgerät abgezogen und die Kraft bzw. die Zugspannung gemessen, die erforderlich war, um die schwächste Grenzfläche oder die schwächste Stelle zu brechen.

Im Rahmen des Projekts wurden insgesamt 384 Abreißversuche durchgeführt und die entsprechenden Abreißfestigkeiten und Bruchflächenanteile ermittelt. Aus den Versuchsergebnissen an den gleichartigen Probekörpern (d. h. identisch in Überzug, Oberflächenvorbereitung, Grundbeschichtung, Art und Dauer der Korrosionsbelastung) erfolgte jeweils eine Berechnung der Mittelwerte. Dabei wurden die für die Auswertung unbrauchbaren Werte nicht berücksichtigt.

Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass bei allen 4 Varianten eine gute Haftung der Grundbeschichtung auf dem Substrat erreicht wird. Dabei machen sowohl die mittleren Abreißwerte als auch die mittleren Bruchflächenverteilungen deutlich, dass sich mit dem Sweep-Strahlen eine noch bessere Haftfestigkeit erreichen lässt als mit der alkalischen Netzmittelwäsche. Für beiden Arten der Oberflächenvorbereitung wurden bei den Probekörpern mit Galfan-Überzug jeweils bessere Ergebnisse erreicht als bei den herkömmlich verzinkten Probekörpern. Folglich kann der Überzug Galfan gegenüber dem Überzug aus reinem Zink im Hinblick auf die Haftfestigkeit der verwendeten Grundbeschichtung als mindestens gleichwertig angesehen werden.

Damit wurde im Rahmen des hier beschriebenen Projekts der Nachweis erbracht, dass die untersuchte Grundbeschichtung über eine ausreichende Haftfestigkeit auf Oberflächen mit Galfan-Überzug verfügt. Im Hinblick auf die demnächst anlaufenden

den Instandsetzungsmaßnahmen bei der Rheinbrücke Flehe sprechen die gewonnenen Resultate eindeutig für den Einsatz von Seilen aus Drähten mit Galfan-Überzug.

Parallel zu einer möglichen Pilotanwendung von Brückenseilen mit Galfan-Überzug ist die Durchführung einer begleitenden fachtechnischen Studie zu empfehlen. Erst wenn hierbei aufgezeigt wird, dass sich der Überzug Galfan auch in der Praxis bewährt, sollte eine entsprechende Ergänzung des relevanten Regelwerks (Abschnitt 4 des Teils 4 der ZTV ING [5] „Korrosionsschutz von Seilen und Kabeln“) erfolgen. Zukünftig könnten dann auch andere Bauwerke (Brückenseile) von den überlegenen Korrosionsschutzeigenschaften des Galfan-Überzugs profitieren.

9 Literatur

- [1] PREHN, W.: Schäden an den Tragseilen der Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe – Ursachen und Instandsetzung; Tagungsband Bund/Länder-Hauptausschuss Brücken- und Ingenieurbau, 103. Internationale Arbeitstagung, Kasel, Juni 2004
- [2] BOUÉ, A., MÜLLER, A.: Diagnosebericht Nr. 188.04 Versuche an Korrosionsschutz von Seilen mit ZA-vergüteter Oberfläche; Diagnose Institut Boué – Forschungs-, Entwicklungs- und Dienstleistungsgesellschaft mbH, Simmerath, 25.04.2004
- [3] DEWITTE, M., VANHOUTTE, J.: Bezinal® Eine neue Generation von Korrosionsschutzschichten; Belgien, 05/93
- [4] SEDLACEK, G., KAMEL, C., GESSLER, A.: Erhöhung der Sicherheit der Verkehrssysteme durch Optimierung der Schutzwirkung von Stahlschutzplanken; Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. Verlag und Vertriebsgesellschaft mbH, Düsseldorf
- [5] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING); Verkehrsblatt Verlag, Dortmund, 01/03
- [6] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Korrosionsschutz von Stahlbauten (ZTV-KOR-Stahlbauten); Verkehrsblatt Verlag, Dortmund, 12/02
- [7] DIN EN ISO 6270-1 Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit, Teil 1: Kontinuierliche Kondensation; Deutsches Institut für Normung, Februar 2002
- [8] DIN 50017 Klimate und ihre technische Anwendung – Kondenswasser-Prüfklimate; Deutsches Institut für Normung, Oktober 82
- [9] Technische Lieferbedingungen und technische Prüfbedingungen für den Korrosionsschutz von Stahlbauten (TL/TP-KOR-Stahlbauten); Verkehrsblatt Verlag, Dortmund, 12/02
- [10] Richtlinien für den Korrosionsschutz von Seilen und Kabeln im Brückenbau (RKS-Seile)
- [11] BERKENKOPF: Prüfzeugnis Nr. 22 1575 1 96 – 01 Erstprüfung (Grundprüfung) von Beschichtungsstoffen; Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund, 20.02.1998
- [12] DIN EN ISO 4624 Beschichtungsstoffe – Abreiβversuch zur Beurteilung der Haftfestigkeit; Europäisches Komitee für Normung, Mai 2003

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

1993

- B 1: Realkalisierung karbonatisierter Betonrandzonen
Budnik, Laakkonen, Maaß, Großmann vergriffen
- B 2: Untersuchungen an Fertigteilbrücken BT 70/BT 700
Haser kostenlos
- B 3: Temperaturunterschiede an Betonbrücken
Knabenschuh vergriffen
- B 4: Merkblatt zur Entnahme repräsentativer Strahlschuttproben
MES-93 € 9,00

1994

- B 5: Spezielle Probleme bei Brückenbauwerken in den neuen
Bundesländern
von H. Hase, R. Kaschner
Teil 1: Nachrechnung von Gewölbebrücken
Teil 2: Schubsicherung bei Fertigteilträgern BT 70 und BT 50
Haser, Kaschner € 11,50

1995

- B 6: Zur Berechnung von Platten mit schwacher Querbewehrung
Kaschner € 11,50
- B 7: Erprobung von dichten lärmindernden Fahrbelägen für
Brücken
Sczyslo € 12,50
- B 8: Untersuchungen am Brückenbelag einer orthotropen Fahrbelag-
platte
Krieger, Rat € 17,50
- B 9: Anwendung von zerstörungsfreien Prüfmethode bei Beton-
brücken
Krieger € 13,00
- B 10: Langzeituntersuchungen von Hydrophobierungsmitteln
Maaß, Krieger € 12,50

1996

- B 11: Fahrbeläge auf Sohlen von Trogbauwerken
Wruck € 12,00
- B 12: Temperaturmessungen bei der Verbreiterung der Rodenkir-
chener Brücke
Goebel € 15,50
- B 13: Strukturanalyse von Beton
Gatz, Gusia € 11,00

1997

- B 14: Verhalten von Fahrbelagübergängen aus Asphalt infolge Ho-
rizontallasten
Krieger, Rath € 16,00
- B 15: Temperaturbeanspruchung im Beton und Betonersatz beim
Einbau von Abdichtungen
Großmann, Budnik, Maaß € 14,50
- B 16: Seilverfüllmittel – Mechanische Randbedingungen für Brük-
kenseile
Eilers, Hemmert-Halswick € 27,50
- B 17: Bohrverfahren zur Bestimmung der Karbonisierungstiefe
und des Chloridgehaltes von Beton
Gatz, Gusia, Kuhl € 14,00

1998

- B 18: Erprobung und Bewertung zerstörungsfreier Prüfmethode
für Betonbrücken
Krieger € 16,50
- B 19: Untersuchung von unbelasteten und künstlich belasteten Be-
schichtungen
Schröder € 11,00
- B 20: Reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl
Eilers, Ritter € 12,50
- B 21: Windlasten für Brücken nach ENV 1991-3
Krieger € 10,50

1999

- B 22: Algorithmen zur Zustandsbewertung von Inge-nieurbauwerken
Haardt € 11,50
- B 23: Bewertung und Oberflächenvorbereitung schwieriger Un-
tergründe
Schröder, Sczyslo € 11,00
- B 24: Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünn-
beläge auf Stahl
Eilers, Stoll € 11,00
- B 25: Konzeption eines Managementsystems zur Erhaltung von
Brücken- und Ingenieurbauwerken
Haardt € 12,50
- B 26: Einsatzmöglichkeiten von Kletterrobotern bei der Bauwerks-
prüfung
Krieger, Rath, Berthold € 10,50
- B 27: Dynamische Untersuchungen an reaktionsharzgebundenen
Dünnbelägen
Eilers, Ritter, Stoll € 11,00

2000

- B 28: Erfassung und Bewertung von reaktionsharzgebundenen
Dünnbelägen auf Stahl
Eilers € 11,00
- B 29: Ergänzende Untersuchungen zur Bestimmung der Karbo-
natisierungstiefe und des Chloridgehaltes von Beton
Gatz, Quaas € 12,00
- B 30: Materialkonzepte, Herstellungs- und Prüfverfahren für elutions-
arme Spritzbetone
Heimbecher € 11,00
- B 31: Verträglichkeit von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen
mit Abdichtungssystemen nach den ZTV-BEL-ST
Eilers, Stoll € 10,50
- B 32: Das Programm ISOCORRAG: Ermittlung von Korrosivitäts-
kategorien aus Massenverlusten
Schröder € 11,50
- B 33: Bewehrung von Belägen auf Stahlbrücken mit orthotropen
Fahrbelagplatten
Eilers, Sczyslo € 17,00
- B 34: Neue reaktionsharzgebundene Dünnbeläge als Fahrbelag-
beläge auf einem D-Brücken-Gerät
Eilers, Ritter € 13,00

2002

- B 35: Bewehrung von Brückenbelägen auf Betonbauwerken
Wruck € 11,50
- B 36: Fahrbelagübergänge aus Asphalt
Wruck € 11,00
- B 37: Messung der Hydrophobierungsqualität
Hörner, von Witzhausen, Gatz € 11,00
- B 38: Materialtechnische Untersuchungen beim Abbruch der Tal-
brücke Haiger
Krause, Wiggenhauser, Krieger € 17,00

B 39: Bewegungen von Randfugen auf Brücken
Eilers, Wruck, Quaas € 13,00

2003

B 40: Schutzmaßnahmen gegen Graffiti
von Weschpfennig € 11,50

B 41: Temperaturmessung an der Unterseite orthotroper Fahr-
tafeln beim Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht
Eilers, Küchler, Quaas € 12,50

B 42: Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes im Tunnelbau
Von A. Städing, T. Krockner € 12,00

B 43: Entwicklung eines Bauwerks Management-Systems für das
deutsche Fernstraßennetz – Stufen 1 und 2
Haardt € 13,50

B 44: Untersuchungen an Fahrbahnübergängen zur Lärminderung
Hemmer-Halswick, Ullrich € 12,50

B 45: Stahlbrücken – Schäden – wetterfeste Stähle Seile
Teil 1: Dokumentation über Schäden an Stahlbrücken
Teil 2: Dokumentation und Erfahrungssammlung mit Brücken aus
wetterfesten Stählen
Teil 3: Erfahrungssammlung über die Dauerhaftigkeit von Brücken-
seilen und -kabeln
Hemmer-Halswick € 13,00

2004

B 46: Einsatzbereiche endgültiger Spritzbetonkonstruktionen im
Tunnelbau
Heimbecher, Decker, Faust € 12,50

2005

B 47: Gussasphaltbeläge auf Stahlbrücken
Steinauer, Scharnigg € 13,50

2006

B 48: Scannende Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von
Brückenbauwerken
Streicher, Gardei, Kohl, Wöstmann, Wiggerhauser € 15,00

B 49: Einfluss der Betonoberflächenvorbereitung auf die Haf-
tung von Epoxidharz
Raupach, Rößler € 13,50

B 50: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für
das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 3
Holst € 13,50

B 51: Hydrophobierungsqualität von flüssigen und pastösen
Hydrophobierungsmitteln
Holst € 12,50

B 52: Brückenseile mit Galfan-Überzug – Untersuchung der
Haftfestigkeit von Grundbeschichtungen
Friedrich, Staack € 14,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.