

Korrosionsschutz von Schutzeinrichtungen

Dipl.-Math. techn. (PL) Malgorzata Schröder

Bundesanstalt für Straßenwesen

Bergisch Gladbach

1 Einleitung

Passive Schutzeinrichtungen aus Stahl werden gemäß der Technischen Lieferbedingungen für Stahlschutzplanken (TL-SP 99) [1] vor Korrosion durch Verzinken geschützt. Bis 2008 handelte es sich ausschließlich um Stückverzinkung nach DIN EN ISO 1461 [2]. Im Jahre 2008 hat das Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Stadtentwicklung (BMVBS) dem Einsatz von Schutzplankenholmen aus kontinuierlich schmelztauchveredeltem (im Weiteren „bandverzinkten“) Stahl nach DIN EN 10346 [3] zugestimmt. Die Zustimmung gilt bis auf Widerruf aufgrund zukünftiger Langzeiterfahrungen. Für andere Konstruktionsbauteile als Holme gilt sie nicht.

Im Folgenden werden

- das Verhalten von Zinküberzügen an der Atmosphäre,
- die Unterschiede zwischen Stück- und Bandverzinkung für Konstruktionsbauteile,
- die Grundlage der Zustimmung zum Einsatz von bandverzinkten Schutzplankenholmen und
- die Auswertung eines Freibewitterungsversuches mit bandverzinkten Schutzplankenholmen nach 9 Jahren

beschrieben.

2 Verhalten vom Zinküberzügen an der Atmosphäre

An der Atmosphäre verhalten sich Zinküberzüge jeglicher Herstellungsart dem reinen Zink (99,9 %) vergleichbar [4]. Die Schutzdauer eines Zinküberzuges ist proportional zur Schichtdicke. Der Schichtdickenabtrag ist wiederum zur Aggressivität der Atmosphäre gegenüber dem Zink proportional.

Zinküberzüge eignen sich zum Korrosionsschutz von Stahl, weil das Zink unedler als Eisen ist. Unedler bedeutet jedoch nicht weniger korrosionsbeständig. Zink bildet im Kontakt mit Sauerstoff und Feuchtigkeit aus der Luft Zinkhydroxid, das dann mit Kohlendioxid zum basischen Zinkcarbonat reagiert. So entsteht eine dichte festhaftende Deckschicht, die den Zutritt von Feuchtigkeit und

Sauerstoff und damit eine weitere Oxidation des Zinks weitgehend verhindert. Die Geschwindigkeit des Zinkabtrags wird durch die Abwitterung dieser Deckschicht bestimmt. Die Deckschicht ist basisch, daher findet ihre Auflösung in sauren Medien („saurer Regen“) statt. Schwefelsäure, die aus Schwefeldioxid, Sauerstoff und Wasser entsteht, ergibt so ein Medium.

Der Einfluss von Chloriden auf die Auflösung von Zink an der Atmosphäre wird dagegen in der Literatur als „meist überschätzt“ beschrieben. In der stark aerosolhaltigen Atmosphäre von Hallenschwimmbädern gibt es beispielsweise gute Langzeiterfahrungen mit verzinkten Stahlbauteilen [5]. In [6] wurde ein mittlerer jährlicher Zuwachs von Zinkabtragsraten in Höhe von 0,1 μm durch 50 % mehr Taumittel festgestellt. Der Autor führt das Phänomen auf die kurze saisonbedingte Belastungsdauer zurück. Mit verstärktem Zinkabtrag ist nur dann zu rechnen, wenn verzinkte Schutzplanken über einen längeren Zeitraum von mit Streusalz durchsetztem Schnee bedeckt sind [6] oder sich an der Küste in Brandungs- und Spritzwasserbereichen befinden [7].

3 Unterschiede zwischen Band- und Stückverzinkung für Konstruktionsbauteile

3.1 Überzüge

In Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Zinkschmelze wird die kontinuierliche Schmelztauchveredelung (hier Bandverzinkung) nach [3] u.a. in Schmelztauchverzinken (Z) bei 99 % Zink im Schmelzbad und in Schmelztauchveredeln mit Zink-Aluminium-Überzug (ZA) bei einem Schmelzbad aus hauptsächlich Zink und ungefähr 5 % Aluminium unterteilt. Das Legieren mit Aluminium verbessert generell die Beständigkeit des Überzuges gegen atmosphärische Korrosion.

Der stückverzinkte Überzug wird ähnlich dem Überzug Z durch Einsatz von nur sehr gering legierter Zinkschmelze erzeugt.

Beim Stückverzinken entstehen intermetallische Eisen/Zink-Phasen, die im Regelfall durch eine Reinzinkschicht bedeckt sind. Beim Bandverzinken entstehen die intermetallischen Phasen aufgrund der sehr kurzen Tauchdauer nicht oder nur in untergeordnetem Maße, und die Überzüge bestehen hauptsächlich aus der Reinzinkschicht.

3.2 Schichtdicken

Dicken der Überzüge, die beim Stückverzinken entstehen, sind u.a. von Dicken des Stahlbauteils abhängig. Bei 3 mm Blechdicke beträgt gemäß DIN EN ISO 1461: 2009 [2] der Mindestwert der örtlichen Schichtdicke 45 μm und der durchschnittliche Mindestwert 55 μm . In der vorherigen Ausgabe dieser Norm [8] betragen diese Schichtdicken 55 μm und 70 μm entsprechend. Beim Stückverzinken werden die „alten“ Mindestwerte in der Regel deutlich überschritten.

Die Dicken der Überzüge, die beim Bandverzinken entstehen, sind generell niedriger. Für den Z-Überzug bei der höchsten in der DIN EN 10346 beschriebenen Zinkauflage von 600 g/m^2 liegt der

typische Wert für die Schichtdicke bei 42 µm im Bereich von 32 µm bis 55 µm. Für den ZA-Überzug bei der höchsten in DIN EN 10346 beschriebenen Zinkauflage von 300 g/m² liegt der typische Wert bei 23 µm im Bereich von 17 µm bis 31 µm.

3.3 Konstruktionsteile

Stückverzinkte Konstruktionsteile sind Konstruktionsteile, die hergestellt (umgeformt, gestanzt, geschnitten, geschweißt) und dann verzinkt werden. Somit ist nach der Verzinkung im Normalfall ein geschlossener Überzug gegeben. Die Bauteildicke ist unbegrenzt.

Bandverzinkte Konstruktionsteile sind Konstruktionsteile, die aus bereits verzinktem Stahlband mit Blechdicke bis zu 3 mm umgeformt, gestanzt und geschnitten werden. Damit ergeben sich freigelegte Stahlstanz- und -schnittkanten und ein durch Umformung ggf. geschwächter Überzug. Das Schweißen von Bauteilen aus bandverzinktem Stahl ist mittels spezieller Verfahren möglich, erfordert jedoch eine Nachbehandlung.

4 Grundlage der Zustimmung zum Einsatz von bandverzinkten Schutzplankenholmen

Im Jahre 2002 haben die Vertreter der Stahlindustrie einen Antrag beim BMVBS auf Zustimmung gestellt, alternativ zu stückverzinkten bandverzinkte Schutzplanken an den Bundesfernstraßen zu verwenden. Es galt einen Nachweis der Gleichwertigkeit mit stückverzinkten Planken für diese Verwendung zu führen. Dabei waren sowohl die technologischen Unterschiede bei der Herstellung von Überzügen als auch bei der Herstellung von Konstruktionsteilen von Schutzplanken aus dem bereits verzinkten Stahlband zu berücksichtigen.

Diese Untersuchung erfolgte von 2002 bis 2008 in zwei Schritten: durch Laboruntersuchungen und durch Freibewitterungsversuche.

Die Laboruntersuchungen wurden im Rahmen des Projektes P 518 der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V. „Erhöhung der Sicherheit der Verkehrssysteme durch Optimierung der Schutzwirkung von Stahlschutzplanken“ [9] durchgeführt.

Im Rahmen eines BAST-Projektes [10] wurden zwei Freibewitterungsversuche mit bandverzinkten Schutzplankenholmen durchgeführt. Andere Konstruktionsteile von Stahlschutzplanken als Holme wurden nicht berücksichtigt.

Ausgehend von der statistischen Lebensdauer der Stahlschutzplanken von 15 Jahren wurden für eine Freibewitterungsdauer von fünf Jahren folgende Anforderungen hinsichtlich der Kriterien Sicherheit, Dauerhaftigkeit und Ästhetik an die untersuchten Schutzplankenholme gestellt:

- keine Lochaufweitung durch Korrosion,
- keine Abwitterung der Korrosionsschutzschicht um mehr als 30 % der Sollschichtdicke,

- keine Rotrostfahnen.

Die bandverzinkte Schutzplankenholme zeigten im Beobachtungszeitraum von fünf Jahren an zwei Versuchsstrecken keine Anzeichen von Rostbildung an den Schnitt- und Stanzkanten und somit auch keine Rostfahnen. Eine Schichtdickenabnahme war nicht festzustellen. Dies wurde als Nachweis der Gleichwertigkeit der untersuchten bandverzinkten Schutzplankenholme mit den stückverzinkten gewertet und die Zustimmung zum Einsatz wurde erteilt.

Im Frühjahr 2011, nach einem deutlich strengeren Winter mit verstärktem Einsatz von Streumitteln als in Vorjahren, wurde beschlossen, die Versuchsstrecke an der BAB A4 erneut zu bewerten.

Tabelle 1: Bezeichnung der untersuchten Überzüge

Bezeichnung	Überzüge
A	bandverzinkter Stahl: kontinuierlich schmelztauchveredeltes Stahlband mit Zink-Aluminium-Überzug I (in Anlehnung an DIN EN 10346 [3] EN 10346-S250GD+ZA300 jedoch mit Mindestauflagenmasse von 600 g/m ² beidseitig)
B	bandverzinkter Stahl: kontinuierlich schmelztauchveredeltes Stahlband mit Zink-Überzug (Stahl EN 10346-S250GD+Z600)
T	bandverzinkter Stahl: kontinuierlich schmelztauchveredeltes Stahlband mit Zink-Aluminium-Überzug II (Stahl EN 10346-S250GD+ZA300)
S	stückverzinkter Stahl Zinküberzug nach DIN EN ISO 1461

5 Freibewitterungsversuch, Auswertung nach 9 Jahren

5.1 Versuchsstrecke an der BAB A4

Die Versuchsstrecke wurde im März 2002 entlang des Seitenstreifens an der BAB A4 Richtung Olpe in der Nähe der AS Bensberg eingerichtet.

Die Überzüge sind in Tabelle 1 beschrieben. Die stückverzinkten Schutzplankenholme dienen als Referenz.

Je Überzug wurden im Jahre 2002 sechs Schutzplankenholme an der Versuchsstrecke eingebaut. Die Schutzplankenholme wurden mit den Buchstaben A, B, T und S entsprechend Tabelle 1 und mit den Zahlen von 1 bis 6 gekennzeichnet.

5.2 Begehung

Die Begehung fand am 31. März 2011 statt.

Entsprechend der Vorgehensweise in [9] wurden bei der Begehung der Zustand der durch Schneiden und Stanzen freigelegten Stahlkanten bewertet, photographisch dokumentiert und Schichtdickenmessungen durchgeführt.

Die Bilder 1 bis 11 zeigen beispielhaft Details der Schutzplankenholme.

In den Bildern 1, 4, 7 und 10 sind die unverkröpften Enden der Schutzplankenholme zu sehen.

Die Bilder 2, 5, 8 und 10 zeigen Stanzlochkanten.

Die Bilder 6 und 9 zeigen die Längsschnittkanten der Schutzplankenholme B und T. In Bild 3 ist die Querschnittkante eines Schutzplankenholmes A abgebildet. Die Längsschnittkanten beim Überzug A sind nicht abgebildet, weil sie aus einem Stahlband von 470 mm Breite hergestellt wurden und somit verzinkt sind.



Bild 1: Bandverzinkung, Überzug A; unverkröpftes Ende des Schutzplankenholmes A2; kein Rost sichtbar



Bild 2: Bandverzinkung, Schutzplankenholm A5; Makroaufnahme des Stanzloches; kein Rost sichtbar



Bild 3: Bandverzinkung, Schutzplankenholm A6; Makroaufnahme der 3 mm dicken Querschnittskante; kein Rost sichtbar



Bild 4: Bandverzinkung, Überzug B; unverkröpftes Ende des Schutzplankenholmes B2; kein Rost sichtbar



Bild 5: Bandverzinkung, Schutzplankenholm B2; Makroaufnahme der Stanzlochkante; kein Rost sichtbar



Bild 6: Bandverzinkung, Schutzplankenholm B2; Makroaufnahme der Längsschnittkante; mit bloßem Auge kaum erkennbarer Rostansatz



Bild 7: Bandverzinkung, Überzug T; unverkröpftes Ende des Schutzplankenholmes T4; kein Rost sichtbar



Bild 8: Bandverzinkung, Schutzplankenholm T4; Aufnahme der Stanzlochkante; kein Rost sichtbar



Bild 9: Bandverzinkung, Schutzplankenholm T4;
Makroaufnahme der Längsschnittkante; mit bloßem Auge kaum erkennbarer Rostansatz



Bild 10: Stückverzinkung, Schutzplankenholm S1; unverkröpftes Ende; kein Rost sichtbar



Bild 11: Stückverzinkung; Schutzplankenholm S1

Zur Festlegung der Messpunkte für Schichtdickenmessungen wurde die im Jahre 2002 angefertigte Schablone benutzt. Mit ihrer Hilfe wurden die Messpunkte früherer Begehungen wiedergefunden. Der Durchmesser der Messpunkte beträgt ca. 1 cm. Pro Messpunkt wurden 10 Schichtdickenmessungen nach dem magnetinduktiven Verfahren durchgeführt und der Mittelwert, das Minimum und das Maximum dokumentiert.

An jedem Schutzplankenholm wurde die Schichtdicke an 4 Messpunkten an der Vorderseite (die dem Verkehr zugewandte Seite) und an 4 Messpunkten auf der Rückseite (die dem Verkehr abgewandte Seite) gemessen.

Um die Messpunkte von Verschmutzung zu befreien, wurden sie mit einem trockenen Tuch kräftig abgewischt.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Zustand der Kanten und Stanzlöcher

An Stanzlöchern ist kein Rotrost sichtbar.

An den oberen Längsschnittkanten der Schutzplankenholme B und T sind an einigen Stellen kleine Rostverfärbungen zu sehen (siehe Bilder 6 und 9), die beim Betrachten aus kurzer Distanz mit bloßem Auge gerade zu erkennen sind.

An den Querkanten aller Schutzplankenholme ist kein Rost sichtbar.

Rostfahnen sind an keinem der Schutzplankenholme zu beobachten.

5.3.2 Schichtdickenmessungen

Die Diagramme 1 bis 4 zeigen je drei Kurven mit den Schichtdickenmittelwerten der Überzüge A, B, T und S bei insgesamt 8 Messungen über einen Zeitraum von neun Jahren. Die Kurven stehen für die Mittelwerte über alle Messungen, über die Messungen an der dem Verkehr zugewandten und über die an der abgewandten Seite der Schutzplankenholme.

Es sind keine Schichtdickenabnahmen (Abwitterung) messbar.

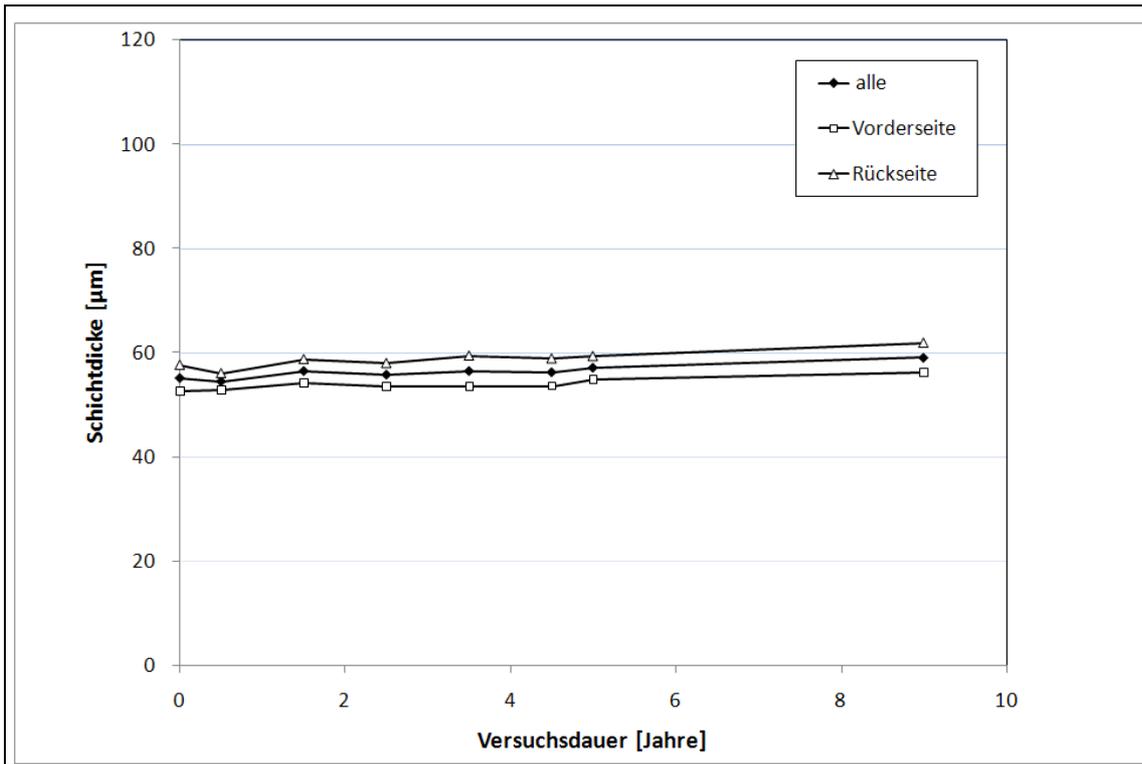


Diagramm 1: Mittelwerte der Schichtdicken vom Überzug A gemessen innerhalb von 9 Jahren

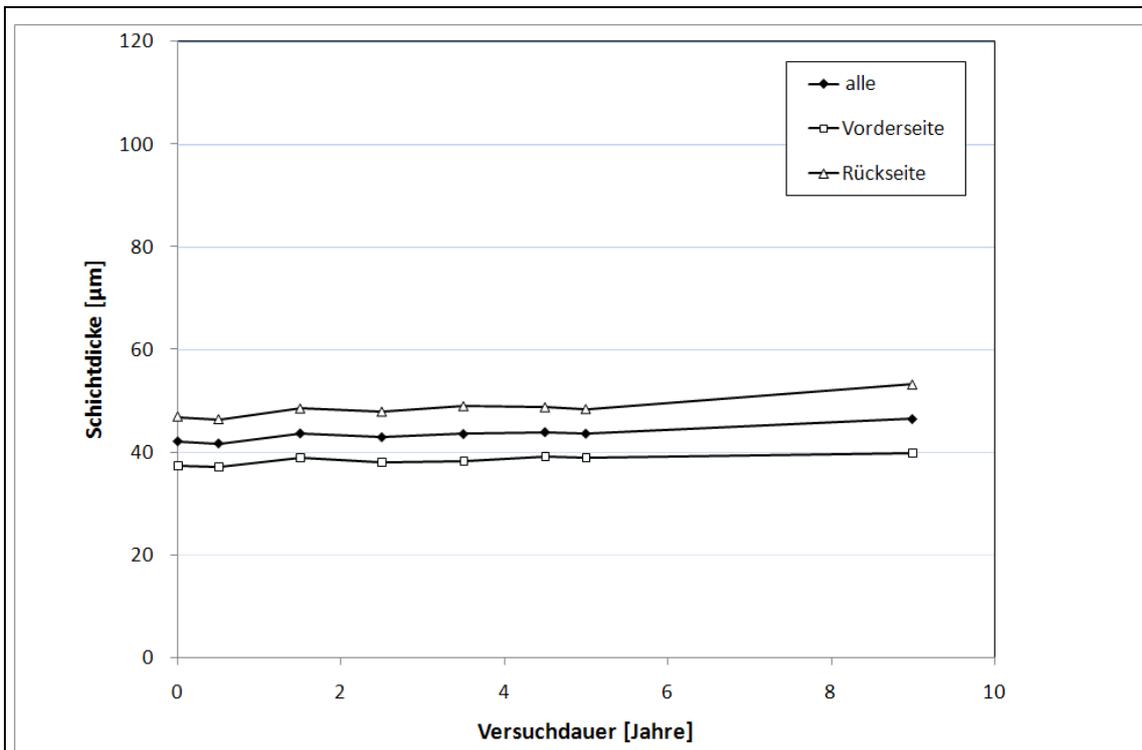


Diagramm 2: Mittelwerte der Schichtdicken vom Überzug B gemessen innerhalb von 9 Jahren

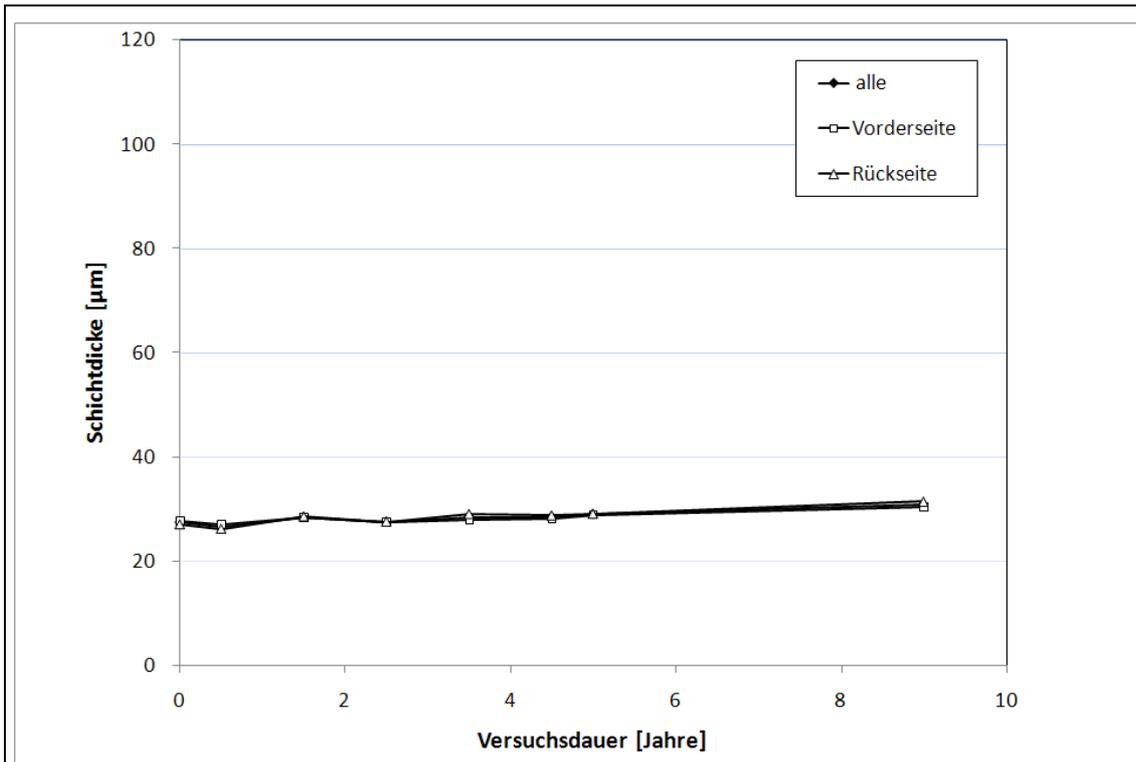


Diagramm 3: Mittelwerte der Schichtdicken vom Überzug T gemessen innerhalb von 9 Jahren

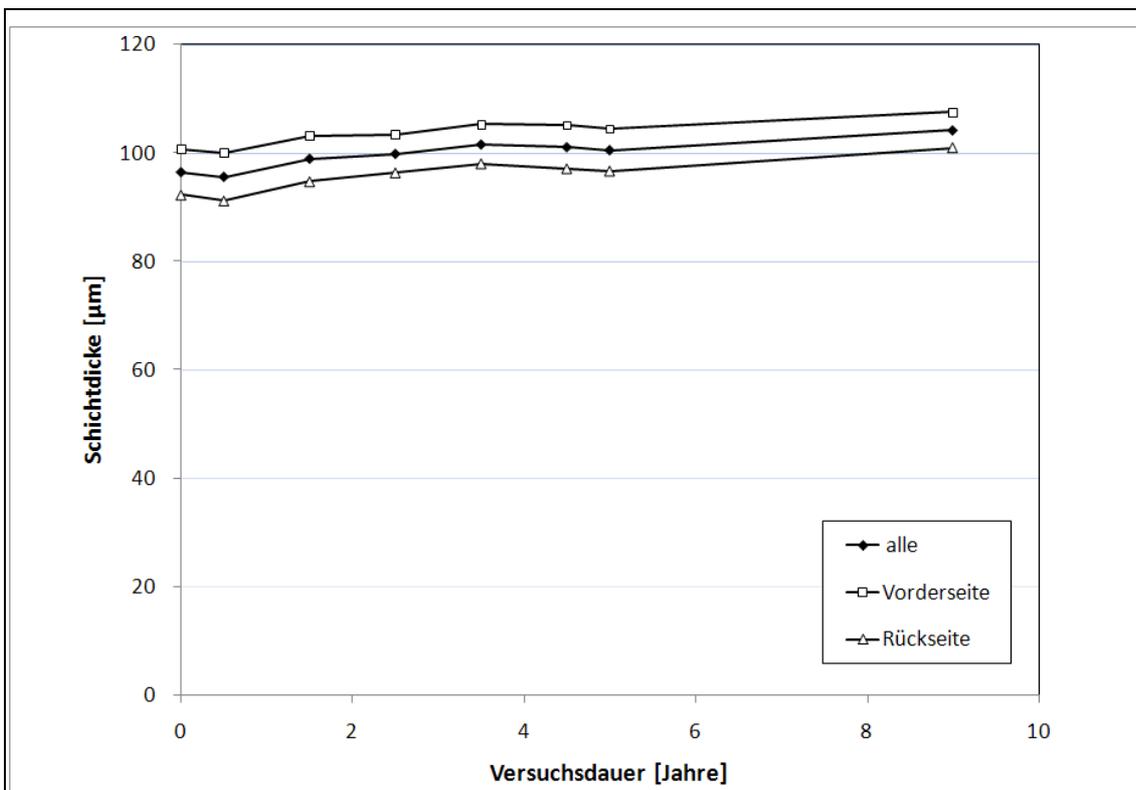


Diagramm 4: Mittelwerte der Schichtdicken vom Überzug S gemessen innerhalb von 9 Jahren.

5.4 Bewertung

Die untersuchten bandverzinkten Schutzplankenholme mit Zink- bzw. Zinkaluminiumüberzügen weisen kaum sichtbare bzw. messbare Veränderungen auf. Damit erfüllen sie die ursprünglich für fünf Jahre Freibewitterung gestellten Anforderungen bezüglich der Sicherheit, Dauerhaftigkeit und Ästhetik nach neun Jahren in vollem Umfang.

Die im Versuchszeitraum praktisch unveränderte Schichtdicke von allen Zinküberzügen ist mit der generellen Verbesserung der Luftqualität, insbesondere der Reduzierung von Schwefeldioxid zu erklären. Das Umweltbundesamt schreibt hierzu auf seiner Homepage (Stand: 16.08.2011, siehe auch Bild 12): „Die noch vor einigen Jahrzehnten starke Verschmutzung der Luft in Deutschland durch Schwefeldioxid ist inzwischen Geschichte. (...) Nicht nur im „Ruhrpott“, auch im Osten Deutschlands ist der Himmel heute wieder blau.“

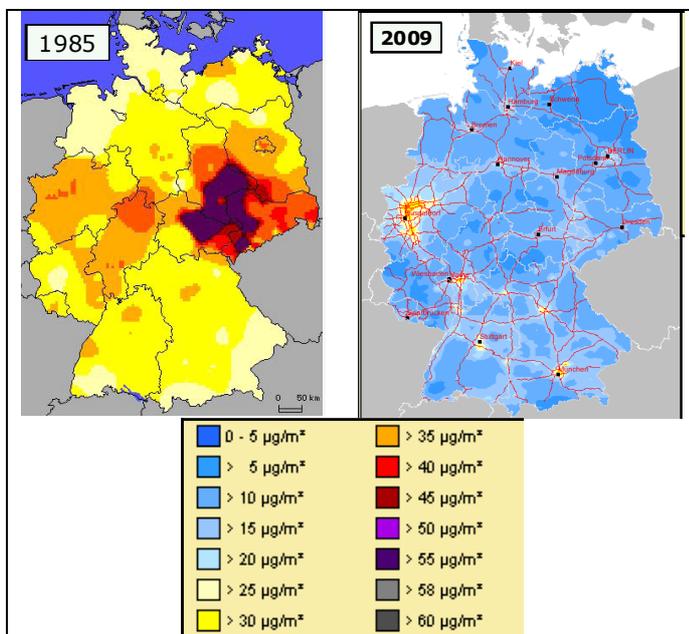


Bild 12: Jahresmittelwerte von Schwefeldioxid in Deutschland (Quelle: Internetseiten des Umweltbundesamtes)

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Stückverzinkung hat sich seit mehreren Jahrzehnten als Korrosionsschutz von Schutzeinrichtungen aus Stahl bewährt.

Alternativ zu stückverzinkten Schutzplankenholmen dürfen seit 2008 bandverzinkte Schutzplankenholmen verwendet werden, weil sie die Anforderungen bezüglich der Sicherheit, Dauerhaftigkeit und Ästhetik erfüllen.

Das Stanzen von bandverzinktem Stahlband beim Herstellen von Schutzplankenholmen legt Stahl frei, was mit der Gefahr der Lochaufweitung durch Rosten führt und ggf. die Sicherheit (das Aufhaltevermögen der Schutzeinrichtung) mindern könnte. Beobachtungen nach neun Jahren ergaben keine Anzeichen der Rostbildung und damit der Lochaufweitung im Bereich der Stanzlöcher.

An Längsschnittkanten von bandverzinkten Holmen sind dagegen nach neun Jahren vereinzelt sehr kleine Rostverfärbungen zu sehen. Es ist nicht zu erwarten, dass sich daraus mittelfristig Rostfahnen bilden, was die Ästhetik der Holme beeinträchtigen würde.

Die Dauerhaftigkeit von Zinküberzügen ist direkt proportional zu ihrer Schichtdicke und umgekehrt proportional den Einflussfaktoren, die Zinkkorrosion hervorrufen. Überzüge, die durch Bandverzinken erzeugt werden, sind in der Regel dünner als die durch Stückverzinken. Ihre Eignung als Korrosionsschutz für Schutzplankenholme ist in entscheidendem Maße Folge des niedrigen Gehaltes an Schwefeldioxid in der Luft über dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Das Schwefeldioxid in Verbindung mit Feuchtigkeit beeinflusst hauptsächlich und nahezu ausschließlich Abtragsraten von Zink an der Atmosphäre. Die Rolle der Chloride wird in der Literatur als meist überschätzt (auch explizit im Zuge der Bundesfernstraßen) beschrieben. Unter diesen Bedingungen ergibt weniger Zink auch eine ausreichende Schutzdauer.

Im Jahre 2002 wurde die Untersuchung von bandverzinkten Schutzplanken mit der Annahme einer Schutzdauer für diese Konstruktionsteile von 15 Jahren begonnen. Aktuell werden 25 Jahre als Schutzdauer für Schutzeinrichtungen festgelegt. Daher sind weitere Beobachtungen von Versuchsstrecken notwendig. Beobachtungen nach neun Jahren ergaben keine Anzeichen dafür, dass die bandverzinkten Schutzplankenholme die 25 Jahre Schutzdauer nicht erreichen.

Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit wurden die band- und stückverzinkten Schutzplankenholme miteinander noch nicht explizit verglichen. Es wird jedoch angenommen, dass bandverzinkte Schutzplankenholme durch die automatisierte Herstellung des Überzuges wirtschaftlicher als stückverzinkte sind und mit niedrigeren Zinkauflagen zur Ressourcenschonung beitragen.

Andere Konstruktionsteile von Schutzeinrichtungen als Holme können ohne weitere Untersuchungen auf Antrag aus bandverzinktem Stahlband hergestellt werden, wenn sie für nicht erdberührende Anwendung vorgesehen sind, nicht geschweißt werden und nicht mit einem wesentlich kleineren Radius als Holme profiliert werden.

Literatur

- [1] Technische Lieferbedingungen für Stahlschutzplanken (TL-SP 99):
Forschungsgesellschaft für Straße und Verkehrswesen e.V., Köln
- [2] DIN EN ISO 1461
Durch Feuerverzinken auf Stahl aufbrachte Zinküberzüge (Stückverzinken)
Ausgabe 2009

- [3] DIN EN 10346
Kontinuierlich schmelztauchveredelte Flacherzeugnisse aus Stahl, Technische Lieferbedingungen, Ausgabe 2009 (Ersatz für DIN EN 10326, Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Baustählen – Technische Lieferbedingungen: 2004)
- [4] SCHIKORR, G.:
Korrosionsverhalten von Zink, Band 1: Verhalten von Zink an der Atmosphäre,
Metall-Verlag GmbH, Berlin
- [5] N ÜRBERGER, U.:
Korrosionsschutz von Bauteilen
- [6] Gößwein
- [7] BÖTTCHER, H.-J.:
Zur atmosphärischen Korrosion von Zink und Zinküberzügen
Sonderdruck aus „Werkstoffe und ihre Veredelung“ 4 (1982) 3 (März)
- [8] DIN EN ISO 1461
Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrauchte Zinküberzüge (Stückverzinken),
Ausgabe 1999
- [9] SEDLACEK G., KAMMEL CHR., GEßLER U.J., BLEC W., MYSLOWICKI ST., POPRAWER., VITR G.:
Erhöhung der Sicherheit der Verkehrssysteme durch Optimierung der Schutzwirkung von
Stahlschutzplanken, Forschungsbericht P518, ISBN 3-934238-36-X,
Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf 2004
- [10] M. SCHRÖDER:
Bandverzinkte Schutzplankenholme,
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B 59, 2008