



Dr. H. Groß
*Staatliches Materialprüfungsamt
Nordrhein-Westfalen, Dortmund*

Untersuchung beschichteter Bleche mit verschiedenen Zinkschichtdicken

Bericht Nr. 98
des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V.

Sonderdruck aus farbe + lack 91 (1985) 12, S. 1130/1134

Untersuchung beschichteter Bleche mit verschiedenen Zinkschichtdicken

Von Dr. Hubert Groß, Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund

Für tragende und gleichzeitig raumabschließende dünnwandige Bauteile aus beschichteten, feuerverzinkten Profiltafeln wird bauaufsichtlich eine Zinkauflage von 275 g/m² gefordert. Das Ziel der Arbeit war, zu klären, ob die Zinkauflage bei weitgehendem Erhalt der Korrosionsschutzwirkung herabgesetzt werden könnte. Für die Untersuchungen wurden eine Polyvinylidenfluorid- und eine Acrylat-Beschichtung auf Blechen mit Zinkauflagen von 100 g/m², 200 g/m² und 275 g/m² gewählt. Nach den Untersuchungsergebnissen (Laboratoriumsversuche, Freibewitterung) kann eine Herabsetzung der Zinkauflage von 275 g/m² auf 200 g/m² vertreten werden. Demgegenüber kann eine Verminderung der Zinkauflage auf 100 g/m² nicht empfohlen werden.

1 Problemstellung

Die Herstellung feuerverzinkter und anschließend beschichteter Bänder und Bleche erfolgt im kontinuierlichen Durchlauf in speziellen Fertigungsanlagen. Später erfolgt dann die mechanische Bearbeitung zu Profiltafeln.

Bei Profiltafeln, die als tragende Bauteile, beispielsweise als Dachdeckenkonstruktion, verwendet werden und für die Standsicherheit eines Gebäudes entscheidend sind, müssen erhöhte Anforderungen an den Korrosionsschutz gestellt werden.

Das Institut für Bautechnik, Berlin, hat 1973 eine „Richtlinie zur Beurteilung des ausreichenden Korrosionsschutzes im Rahmen der Zulassungsprüfungen für tragende und gleichzeitig raumabschließende dünnwandige Bauteile aus organisch beschichtetem feuerverzinktem Flachzeug aus allgemeinen Baustählen“ [1] herausgegeben, die Prüfungen und Anforderungen für Beschichtungssysteme enthält. Als Grundwerkstoff wird feuerverzinktes Band und Blech aus allgemeinen Baustählen mit einer Dicke des Zinküberzuges von 22 µm entsprechend rd. 150 g/m² je Seite vorgeschrieben. Als organische Beschichtungen können Flüssigbeschichtungen auf Basis wärmehärtender oder thermoplastischer Bindemittel oder Folienbeschichtungen mit thermoplastischen Kunststoffen Verwendung finden. Die Beschichtung soll eine Nennstärke von mindestens 25 µm und eine Mindestdicke ohne Untertoleranz von 20 µm aufweisen. Heutzutage werden Zinkauflagen von 275 g/m² beidseitig, entsprechend den Angaben in den DIN 17162 Teil 1 [2] gefordert.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden Anfang der 80er Jahre jährlich etwa 240 000 t Bänder und Bleche im Coil-Coating-Verfahren beschichtet, von denen mehr als 80 % vor dem Beschichten feuerverzinkt worden waren. Bei einer Reduzierung der bisher geforderten Zinkauflage von 275 g/m² auf 200 g/m² würde daraus eine Einsparung von 2520 t Zink pro Jahr resultieren. Eine Herabset-

zung der Zinkauflage auf 100 g/m² würde sogar zu einer Einsparung von 5880 t/Jahr führen. Da die Produktionsmengen in den vergangenen Jahren eine ansteigende Tendenz aufweisen und insbesondere die Rohstoffkosten einen auffallenden Anstieg verzeichnen, erschien es dringend notwendig, den Einfluß der Dicke des Zinküberzuges auf das Korrosionsverhalten von feuerverzinktem und zusätzlich beschichtetem Band und Blech zu untersuchen.

Die Durchführung der Untersuchungen wurde mit Mitteln des Bundesministers für Wirtschaft, Bonn, über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e. V. (AIF) gefördert. Die Herstellung der verschiedenen Beschichtungssysteme erfolgte durch Mitgliedsfirmen des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e. V. (GAV), Düsseldorf, und die Durchführung der Prüfungen durch das Staatliche Materialprüfungsamt NRW, Dortmund.

2 Versuchsplan

Die Zielsetzung war, festzustellen, ob geringere Zinkauflagen in Verbindung mit einer organischen Beschichtung einen ausreichenden Korrosionsschutz für Profibleche aufweisen.

Für diese Untersuchungen wurden Zinkauflagen von 100 g/m² und 200 g/m² entsprechend der Zinkauflagengruppen in DIN 17162 Teil 1 [2] und als Vergleich die z. Z. übliche Zinkauflage von 275 g/m² ausgewählt. Die Herstellung erfolgte in zwei Produktionseinheiten von ca. 10 bis 20 t. Je eine Produktionseinheit wurde dann mit einer Beschichtung auf Acrylat-Basis bzw. Polyvinylidenfluorid-Basis unter den üblichen Produktionsbedingungen versehen. Die Vorbehandlung vor dem Beschichten war dem jeweiligen Beschichtungssystem angepaßt.

Die mittleren Schichtdicken der einzelnen Beschichtungssysteme sind in *Tabelle 1* zusammengefaßt.

Die Zinkauflagen entsprachen nach der DIN 17162 Teil 1 [2] den Zinkauflagen-

Beschichtung (Bindemittelbasis)	Zinkauflage (g/m ²)	Mittlere Schichtdicken (µm)		
		Gesamt	Zinkschicht	Beschichtung
Polyvinylidenfluorid	100	30 ± 1,1	8,6 ± 0,7	21,4
	200	38 ± 1,4	14,4 ± 1,5	23,6
	275	45 ± 1,3	19,4 ± 1,6	25,6
Acrylat	100	28 ± 1,3	7,0 ± 1,6	21,0
	200	34 ± 2,3	13,8 ± 2,3	20,2
	275	37 ± 1,8	17,4 ± 3,6	19,6

Tabelle 1: Mittlere Schichtdicken der Beschichtungssysteme

gruppen 100, 200 und 275, der Oberflächenausführung „nachgewalzt S“ und der Oberflächenart „C“.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde ein Teil der Versuchsmaterialien auf einer Profilieranlage zu Trapezprofilen umgeformt. Der andere Teil wurde nicht umgeformt und als ebene Bleche unter den gleichen Bedingungen untersucht.

Die Korrosionsschutzwirkung der einzelnen Systeme war sowohl durch Kurzzeit-Prüfungen im Laboratorium als auch durch eine dreijährige Freibewitterung an verschiedenen Standorten zu untersuchen. Als wichtigstes Beurteilungskriterium sollte die Rotrostbildung an Flächen, mit und ohne Schnitt in der Beschichtung, und an Biegeschultern gelten. Ferner sollten die Anforderungen der Richtlinie des Instituts für Bautechnik herangezogen werden. Während der Durchführung der Versuche erschien der Entwurf (November 1982) der DIN 18807 Teil 1 [3]. Die teilweise über die Richtlinie hinausgehenden Anforderungen wurden ebenfalls berücksichtigt.

3 Versuchsergebnisse

3.1 Haftvermögen

Die Prüfung des Haftvermögens erfolgte nach DIN 53151 [4]. Abweichend von der Norm wird über den Kreuzschnitt ein Klebeband aufgepreßt und dann ruckartig abgerissen. Nach dieser Prüfung muß der Gitterschnitt-Kennwert Gt 0 sein.

Bei den angelieferten Proben (ebene Bleche und Trapezprofile) sowie nach dreijähriger Freibewitterung wurde immer der bestmögliche Gitterschnitt-Kennwert Gt 0 ermittelt.

3.2 Dehnbarkeit

Zur Untersuchung der Dehnbarkeit der Beschichtung wird die Tiefung nach DIN 53156 (1982 ersetzt durch DIN ISO 1520) [5] durchgeführt. Abweichend von der Norm wird vor der Tiefung ein rechtwinkliger Kreuzschnitt angebracht und nach der Tiefung ein Klebebandabriß wie bei der vorstehend beschriebenen Gitterschnittprüfung durchgeführt. Bei einer Tiefung von 4 mm darf keine Ablösung auftreten.

Bei allen Proben wurden keine Ablösungen festgestellt.

3.3 Korrosionsprüfungen

Bei den Probeblechen wurde vor den Beanspruchungen durch Kondenswasser-Wechsel-Klima mit und ohne Schwefeldioxid-Zugabe bzw. Salzsprühnebel je ein gerader Schnitt parallel zur Längs- und Schmalseite der Probebleche (ebene Bleche und Trapezprofile) angebracht. Als einheitliche Ritzbreite wurde 0,5 mm gewählt.

■ Kondenswasser-Wechselklima mit 0,2 l Schwefeldioxid-Zugabe

Die Prüfung erfolgt nach dem Verfahren mit 0,2 l Schwefeldioxid/300 l Prüfraum nach DIN 50018 [6]. Die Prüfdauer beträgt 30 Runden. Nach 25 Runden darf die Unterwanderung max. 2,0 mm je Seite nicht überschreiten. Die Blasenbildung darf bei der Beurteilung nach DIN 53209 [7] max. m2/g4 betragen. In dem Norm-Entwurf DIN 18807 Teil 1 [3] ist der zulässige Blasengrad auf m2/g3 herabgesetzt worden.

Nach den Untersuchungsergebnissen entsprachen alle untersuchten Beschichtungssysteme der Anforderung in der Richtlinie des Instituts für Bautechnik bzw. im Entwurf der DIN 18807 Teil 1; Rotrostauffahnen waren aus den horizontalen und vertikalen Ritzspuren nicht ausgetreten.

■ Kondenswasser-Wechselklima mit 1,0 l Schwefeldioxid-Zugabe*

Bei dieser Versuchsreihe wurde 1 l Schwefeldioxid/300 l Prüfraum nach DIN 50018 [6] zugegeben. Die Prüfdauer betrug ebenfalls 30 Runden.

Bei dieser Prüfung verhielten sich die Beschichtungssysteme mit 100 g Zinkauflage/m² hinsichtlich der Unterwanderung am Schnitt deutlich schlechter als die mit den höheren Zinkauflagen. Das Verhalten der Systeme mit Zinkauflagen von 200 und 275 g/m² kann hinsichtlich der Unterwanderung am Schnitt als gleich gut beurteilt werden.

■ Salzsprühnebelprüfung

Der Versuch ist nach DIN 50021 Verfahren SS auszuführen. Das Vorgehen wird

* Diese Prüfung ist nicht in der Richtlinie des IfBt bzw. DIN-Entwurf enthalten.

genau in der DIN 53167 [8] beschrieben. Nach einer Prüfdauer von 168 Stunden darf an den unbeschädigten Bereichen keine Blasenbildung aufgetreten sein. Die Unterwanderung am Schnitt darf max. 2,0 mm je Seite nicht überschreiten.

In dem Norm-Entwurf DIN 18807 Teil 1 [3] ist die Prüfdauer auf 360 Stunden erhöht worden. Eine Beurteilung des Blasengrades entfällt.

Bei allen Probeblechen mit Polyvinylidenfluorid-Beschichtungen entsprachen die Unterwanderungsbreiten den Anforderungen der Richtlinie mit maximal 2 mm. Die zusätzliche Forderung, daß keine Blasen auftreten dürfen, wurde mit einer Ausnahme erfüllt. Lediglich beim Trapezblech V - 100 (Systembezeichnungen s. Tabelle 2) wurde der minimale Blasengrad m1/g2 beobachtet, der eine Ablehnung dieses Musters jedoch kaum gerechtfertigen würde.

Bei den Probeblechen mit Acrylat-Beschichtung wurde mit einer Ausnahme ebenfalls die Forderung der Richtlinie nach Unterwanderungsbreiten von maximal 2 mm erfüllt. Lediglich bei dem Vertikalschnitt auf dem Steg des Trapezprofils A - 275 wurde eine einmalige, lokal begrenzte Unterwanderungsbreite von 2,1 mm ermittelt. Bei den Trapezprofilen A - 200 und A - 275 wurden keine Blasen beobachtet. Einige wenige Blasen, entsprechend Grad m1/g3 und m1/g4, wurden bei dem Trapezprofil A - 100 sowie den ebenen Blechen A - 200 und A-275 festgestellt. Bei dem ebenen Blech A - 100 wurde der Blasengrad m2/g4 beobachtet, der nicht mehr den Anforderungen der Richtlinie entspricht.

Die Unterwanderungsbreiten der Probekörper mit den verschiedenen Zinkauflagen unterscheiden sich zwar geringfügig, genügen aber der Anforderung der Richtlinie. Beim Blasengrad deutet sich eine gewisse Tendenz an. Die Probekörper mit 200 und 275 g Zinkauflage/m² zeigten immer einen vergleichbaren Blasengrad (ohne Blasen, m1/g3 oder m1/g4) und die Probekörper mit 100 g Zinkauflage/m² meistens einen höheren Blasengrad (m1/g2, m1/g3 oder m2/g4). Bei den ebenen Blechen mit Polyvinylidenfluorid-Beschichtungen war bei allen Zinkauflagen keine Blasenbildung eingetreten.

Nach den Untersuchungsergebnissen der Versuchsreihe gemäß Norm-Entwurf (360 h) [3] entsprachen alle Probebleche der Anforderung mit Unterwanderungsbreiten von maximal 2 mm. Eine Rotrostbildung war auch bei dieser Versuchsreihe nicht aufgetreten. Ein unterschiedliches Verhalten der Probekörper in Abhängigkeit von den verschiedenen Zinkauflagen war nicht signifikant.

Aus allen Versuchen im Rahmen dieser Prüfung ergibt sich, daß die drei verschie-

denen Zinkauflagen das Verhalten der Probekörper nicht in dem Maße beeinflussen, daß die Anforderungen der Richtlinie des Instituts für Bautechnik [1] bzw. des DIN-Entwurfes 18807 Teil 1 [3] nicht mehr erfüllt werden.

■ **Dornbiegeversuch/Kondenswasser-Wechselklima mit Schwefeldioxid-Zugabe***

Zur Untersuchung des Verhaltens der Korrosionsschutzsysteme an Biegeschultern, das teilweise durch die mit steigender Zinküberzugdicke zunehmende Ribbildung in der Zinkschicht beeinflusst werden kann, wurden Abschnitte der ebenen Bleche im Dornbiegeversuch nach DIN 53 152 [9] um einen 6 mm Dorn (Durchmesser) um 180° gebogen und anschließend einer Kondenswasser-Wechselklimabelastung nach DIN 50 018 – KFW 0,2 S [6] ausgesetzt. Die Prüfdauer betrug 30 Zyklen.

Nach den Versuchsergebnissen deutet sich zwar mit zunehmender Dicke der Zinkauflage eine Tendenz zur Ribbildung bei dem Dornbiege-Versuch an. Bei der anschließend durchgeführten Beanspruchung im Kondenswasser-Wechselklima mit 0,2 l Schwefeldioxid-Zugabe war

* Diese Prüfungen sind nicht in der Richtlinie des IfBt bzw. DIN-Entwurfs enthalten.

jedoch bei keinem der Systeme eine Minderung der Korrosionsschutzwirkung festzustellen.

■ **Kondenswasser-Wechselklima-Belastung***

Die Prüfungen wurden nach der DIN 50 017 – KFW [10] durchgeführt. Die Prüfdauer betrug 40 Runden.

Nach dieser Beanspruchung waren keine Schäden (Blasen, Unterwanderung, Rotrostauslauf) weder an den Schnitten noch auf den unverletzten Bereichen aufgetreten.

■ **Glanzgrad***

Der Glanzgrad der Proben wurde nach DIN 67 530 [11] beurteilt (Gardner-Glanzmeßgerät, Modell GG – 9095). Der Einstrahlwinkel betrug 60°. Vor der Messung der freibewitterten Proben mußten diese wegen der z. T. sehr starken Verschmutzungen mit warmem, netzmittelhaltigem Wasser gereinigt werden. Nach der Reinigung wurde mit warmem, netzmittelfreiem Wasser nachgespült und dann 60 h bei Normalklima 23/50-2 DIN 50 014 getrocknet.

Die Glanzgrad-Untersuchungen haben gezeigt, daß nur die Proben mit der Acrylat-Beschichtung durch die Freibewitterung einen Glanzgradverlust erleiden. Das Ausmaß der Glanzgradverluste ist vom Bewitterungsort, nicht jedoch von den Zinkauflagen abhängig.

3.4 Freibewitterung

Zur Ergänzung der Kurzzeitversuche und Gewinnung von Erfahrungen über das tatsächliche Korrosionsverhalten unter atmosphärischen Einflüssen können – unabhängig von der Zulassung – Langzeitversuche verlangt werden. Dazu werden mit den in Frage kommenden Korrosionsschutzsystemen versehene Abschnitte von Bauteilen in Nordseenähe und in Industriatmosphäre ausgelagert und jeweils nach einem Jahr beurteilt.

Die Probebleche (ebene Bleche und Trapezprofile) wurden auf Freibewitterungsständen an vier verschiedenen Standorten ausgelegt:

- ▷ Sahlenburg bei Cuxhaven (VDEh-Stand, am Wattenmeer auf dem Deich) mit Meeresatmosphäre
- ▷ Lütringhausen bei Olpe (VDEh-Stand, auf einer Wiese mit Hanglage) mit Land- bis Stadtatmosphäre
- ▷ Duisburg (Fa. Thyssen AG, auf dem Dach eines Laborgebäudes) mit Industriatmosphäre
- ▷ Dortmund (MPA NRW, auf dem Dach einer Prüfhalle) mit Stadt-/Industriatmosphäre.

* Diese Prüfungen sind nicht in der Richtlinie des IfBt bzw. DIN-Entwurfs enthalten

Die Freibewitterungsdauer betrug insgesamt 3 Jahre (Juli 1981–Juli 1984). Nach Ablauf von einem Jahr und zwei Jahren wurden jeweils Zwischenbeurteilungen vorgenommen. Zur objektiven Charakterisierung der Atmosphären wurden deren Korrosivität an den verschiedenen Standorten anhand der Standardproben nach DIN 50 917 [12] ermittelt [13].

Im Zusammenhang mit der Charakterisierung der Korrosivität der Atmosphären an den Freibewitterungsstandorten soll auf ein Ergebnis der Freibewitterungsversuche vorgegriffen werden. Nach den Standardproben-Versuchen entspricht der Standort in Duisburg einer schweren Industrie-Atmosphäre. Demgegenüber ergab sich aus den Unterwanderungsbreiten an den Schnitten freibewitterter ebener Bleche und Trapezprofile, daß diese in Duisburg deutlich geringer als jene aus Olpe sowie gleich oder graduell kleiner als jene aus Dortmund waren. Die Ursache für dieses Verhalten wird darin gesehen, daß infolge starker Oberflächenverschmutzung der in Duisburg ausgelegten Probebleche die Horizontal- und Vertikalschnitte in den Beschichtungen weitgehend mit Schmutzpartikeln zugesetzt waren und somit die Unterwanderungstendenz wesentlich vermindert worden ist. Ferner wurde festgestellt, daß verschiedentlich die Unterwanderungsbreiten an der Olpe-Serie teilweise gleich oder etwas größer waren als bei der in Sahlenburg ausgelegten Serie. Eine Erklärung für dieses Verhalten wird darin gesehen, daß auf dem Bewitterungsstand in Olpe vermutlich die Betauungsphase länger dauert als in Sahlenburg, wo die fast permanente Windbewegung die Feuchtigkeit von der Beschichtungsoberfläche und in den Schnittverletzungen schnell abführt.

Bei Zusammenfassung dieser Ergebnisse ergibt sich nach den Standardprobenversuchen die folgende Rangordnung der Bewitterungsstände (nach abnehmender Korrosivität geordnet):

Sahlenburg > Duisburg > Olpe > Dortmund

Demgegenüber ergab sich nach den Unterwanderungsbreiten an den Schnitten der freibewitterten Probebleche die folgende Rangordnung (nach abnehmenden Unterwanderungsbreiten geordnet):

Sahlenburg > Olpe > Dortmund
≥ Duisburg

Es wurden sowohl Trapezprofile als auch ebene Bleche verwendet. Auf den Probekörpern wurden in die Beschichtungen künstliche Schnittverletzungen von 0,5 mm Breite angebracht. Die Trapezbleche (28 cm × 40 cm) erhielten einen Horizontalschnitt vom Obergurt über den Steg zum Untergurt in einem Abstand von ca. 4 cm von der unteren Schnittkante. Ferner wurde je ein Vertikalschnitt auf dem Obergurt, Steg und Untergurt angebracht. Die ebenen Bleche (30 cm × 40

cm) erhielten einen Horizontalschnitt parallel zur unteren, schmaleren Schnittkante und einen Vertikalschnitt parallel zur seitlichen, breiteren Schnittkante.

Nach einjähriger Freibewitterung wurde bei einigen Probekörpern eine geringe, teilweise nur mit einer Lupe (5fach) erkennbare Bläschenbildung entlang der künstlichen Schnittverletzungen festgestellt.

Nach zweijähriger Freibewitterung hatte die Bläschenbildung entlang der Schnitte zugenommen. Sie trat unabhängig vom Ort der Freibewitterung bei den Probekörpern mit 100 g Zinkauflage/m² immer ausgeprägter auf als bei den höheren Zinkauflagen. Ein deutlicher Unterschied zwischen den Proben mit 200 und 275 g Zinkauflage/m² war nicht erkennbar.

Bei beiden Beschichtungssystemen wurde bei den ebenen Blechen entlang der Schnitte vermehrt Bläschenbildung als bei den entsprechenden Trapezblechen beobachtet. Weiterhin zeigte es sich deutlich, daß die Bläschenbildung entlang der Horizontalschnitte ausgeprägter war als an den Vertikalschnitten. Ferner war bei den Proben mit Acrylat-Beschichtung die Zunahme der Bläschenbildung deutlicher erkennbar als bei den Proben mit Polyvinylidenfluorid-Beschichtung.

Nach Ablauf der dreijährigen Freibewitterung wurden die Trapezprofile und die ebenen Bleche im Laboratorium untersucht. Eine Rotrostbildung beschränkte sich nur auf die Schnitte. Rotrostauslaufnahmen waren weder an den Schnitten noch an den Biegeschultern aufgetreten. Auch beschränkte sich die Bläschenbildung nur auf die Bereiche entlang der Horizontal- und Vertikalschnitte.

Bei allen Probekörpern wurde die Breite der Bläschenbildung entlang der Horizontal- und Vertikalschnitte ermittelt. Anschließend wurde nach Entfernen der von den Schnitten her unterwanderten Beschichtungsbereiche die Unterwanderungsbreite (DIN 53167) [8] ermittelt. Der Vergleich dieser beiden Untersuchungen zeigte, daß die ermittelten Bläschenbreiten entlang der Schnitte mit den ermittelten Unterwanderungsbreiten praktisch übereinstimmen.

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse der Unterwanderungsbreiten und der Unterrostungen, sofern solche aufgetreten waren, ergab ein unterschiedliches Verhalten der Probekörper mit Polyvinylidenfluorid-Beschichtung bzw. Acrylat-Beschichtung. In der Regel waren bei den Polyvinylidenfluorid-beschichteten Blechen die Unterwanderung und Unterrostung geringer.

Beim Vergleich der mittleren Unterwanderungsbreiten nach dreijähriger Freibewitterung an den vier verschiedenen Standorten zeigt sich, daß die größten Unterwanderungen bei den in Sahlenburg bewitterten Probekörpern aufgetre-

System	Probekörper		Unterwanderungsbreiten (mm)			
	Schnitt	Sahlenburg	Olpe	Dortmund	Duisburg	
V - 100	H	3,1	1,5	1,0	1,1	
	V	1,5	1,2	0,8	0,9	
V - 200	H	0,9	0,9	0,8	0,5	
	V	0,7	0,9	0,6	0,5	
V - 275	H	0,5	0,8	0,6	0,4	
	V	0,3	0,5	0,4	0,3	
A - 100	H	2,0	1,9	1,8	1,4	
	V	2,0	1,7	1,8	1,3	
A - 200	H	1,4	1,4	1,0	0,8	
	V	1,0	0,9	0,9	0,7	
A - 275	H	0,8	1,2	1,1	0,8	
	V	0,7	0,8	0,7	0,5	

System:
V = Polyvinylidenfluorid-Beschichtung
A = Acrylat-Beschichtung
100 bzw. 200 bzw. 275 g Zink/m²

Schnitt:
H = Horizontalschnitt
V = Vertikalschnitt

Tabelle 2: Mittlere Unterwanderungsbreiten an Horizontal- und Vertikalschnitten der Trapezprofile

ten sind. Dann folgen, bei einer Ordnung nach abnehmenden Unterwanderungsbreiten, die Proben aus Lütringhausen (Olpe) und Dortmund/Duisburg. In der Regel wiesen die Proben aus Duisburg die geringsten Unterwanderungsbreiten auf.

Beim Vergleich der Unterwanderungsbreiten in Abhängigkeit von der Probekörperform, d. h. ebene Bleche und Trapezprofile, zeigte sich, daß die Unterwanderungsbreiten bei den ebenen Blechen größer waren als bei dem vergleichbaren Trapezprofil. Ferner war festzustellen, daß die größeren Unterwanderungsbreiten und Unterrostungen an den Horizontalschnitten aufgetreten waren.

Die mittleren Unterwanderungsbreiten für die einzelnen Beschichtungssysteme und Freibewitterungsorte sind in *Tabelle 2* für die Trapezprofile und in *Tabelle 3* für die ebenen Bleche zusammengefaßt worden.

Die Durchsicht der *Tabellen 2* und *3* zeigt, daß bei beiden Beschichtungssystemen die geringsten Unterwanderungsbreiten sowohl an den Trapezprofilen als auch an ebenen Blechen in der Regel bei der 275 g Zinkauflage/m² ermittelt wurden. Die mittleren Unterwanderungsbreiten be-

trugen in Abhängigkeit von den Freibewitterungsorten bei den Polyvinylidenfluorid-Beschichtungen der Trapezprofile am Horizontalschnitt 0,5 ... 0,8 mm und am Vertikalschnitt 0,3 ... 0,5 mm bzw. der ebenen Bleche am Horizontalschnitt 0,4 ... 2,4 mm und am Vertikalschnitt 0 ... 0,5 mm. Bei der Acrylat-Beschichtung betrugen die mittleren Unterwanderungsbreiten bei den Trapezprofilen am Horizontalschnitt 0,8 ... 1,2 mm und am Vertikalschnitt 0,3 ... 0,8 mm bzw. bei den ebenen Blechen am Horizontalschnitt 0,8 ... 2,3 mm und am Vertikalschnitt 0,3 ... 0,7 mm. In der Regel etwas größere Unterwanderungsbreiten wurden bei den jeweils vergleichbaren Probekörpern mit 200 g Zinkauflage/m² ermittelt. Die jeweils größten Unterwanderungsbreiten wurden aber bei den Probekörpern mit der geringsten Zinkauflage von 100 g/m² beobachtet. Bei der Polyvinylidenfluorid-Beschichtung (V - 100) lagen die mittleren Unterwanderungsbreiten bei den Trapezprofilen am Horizontalschnitt zwischen 1,0 und 3,1 mm, am Vertikalschnitt zwischen 0,8 und 1,5 mm bzw. bei den ebenen Blechen am Horizontalschnitt zwischen 1,1 und 4,3 mm, am Vertikal-

System	Probekörper		Unterwanderungsbreiten (mm)			
	Schnitt	Sahlenburg	Olpe	Dortmund	Duisburg	
V - 100	H	4,3	2,1	2,2	1,5	
	V	1,6	1,3	1,1	1,1	
V - 200	H	2,8	2,4	1,1	1,1	
	V	0,7	0,5	0,4	0,3	
V - 275	H	2,4	1,6	1,2	0,8	
	V	0,5	0,5	0,1	0,3	
A - 100	H	5,8	*	3,1	2,5	
	V	2,2	*	1,1	1,3	
A - 200	H	2,7	1,6	2,1	1,4	
	V	0,8	0,5	0,4	0,5	
A - 275	H	2,3	2,3	1,7	1,2	
	V	0,7	0,6	0,3	0,3	

Tabelle 3: Mittlere Unterwanderungsbreiten an Horizontal- und Vertikalschnitten ebener Bleche

* ausgefallen

schnitt zwischen 0,9 und 1,6 mm. Bei der Acrylat-Beschichtung (A - 100) betragen die mittleren Unterwanderungsbreiten bei den Trapezprofilen am Horizontalschnitt 1,8 ... 2,2 mm und am Vertikalschnitt 1,3 ... 2,0 mm bzw. bei den ebenen Blechen am Horizontalschnitt 1,4 ... 5,8 mm und am Vertikalschnitt 1,1 ... 2,2 mm.

Aus diesen Untersuchungsergebnissen deutet sich eine Abhängigkeit der Unterwanderungsbreiten von der Zinkauflage auf dem Stahlblech an. Der Unterschied zwischen den 275 g/m² und 200 g/m² wurde als relativ gering eingestuft, während der Unterschied zwischen 275 g Zinkauflage/m² und 100 g Zinkauflage/m² als ziemlich deutlich erschien. Zur Prüfung dieser Annahme wurde der multiple Vergleich unabhängiger Stichproben nach *Nemenyi* [14] durchgeführt.

Nach diesem Test auf Gleichheit bzw. Unterschiede der Unterwanderungsbreiten in Abhängigkeit der Zinkauflagen ergibt sich einmal, daß die Unterwanderungsbreiten bei Zinkauflagen von 275 g/m² und 200 g/m² als gleich gewertet werden müssen. Demgegenüber ergab der Test beim Vergleich zwischen den mittleren Unterwanderungsbreiten bei den Zinkauflagen von 275 g/m² und 100 g/m², daß bei 7 der 8 möglichen Kombinationen ein echter Unterschied besteht. Lediglich bei einer Gruppe, der Polyvinylidenfluorid-Beschichtung auf dem ebenen Blech, ergab sich für die Unterwanderungsbreiten entlang des Horizontalschnittes kein echter Unterschied, d. h. die Ergebnisse des Systems V - 100 müssen in diesem Falle als gleich mit jenen des Systems V - 275 gesehen werden.

Die Beurteilung der Unterrostungsbreiten zeigte ebenfalls, daß die größten Breiten bevorzugt bei den Blechen mit 100 g Zinkauflage/m² auftraten. Eine gleichartige Auswertung nach *Nemenyi* war jedoch nicht möglich, da die Unterrostungen in sehr unterschiedlichem Maße und häufig lokal begrenzt auftraten.

Die Frage nach der Ursache für die vermehrte Unterwanderung der Beschichtungen bei Stahlblechen mit 100 g Zinkauflage/m² konnten nicht belegbar geklärt werden. Es kann z. Zt. nur vermutet werden, daß hier zinkschichtdickenabhängige Einflüsse in Zusammenhang mit der Anbringung der künstlichen Schnitte zum Tragen kommen.

4 Ergebnis

Als Ergebnis der Kurzzeitprüfungen kann zusammengefaßt werden, daß die mit Zinkauflagen von 200 g/m² oder 275 g/m² versehenen und mit Polyvinylidenfluorid bzw. Acrylat beschichteten Trapezprofile und Bleche den Anforderun-

gen der Richtlinie des Instituts für Bautechnik [1] sowie den DIN 18807 Teil 1, Entwurf November 1982 [3], entsprechen.

Bei der deutlich verminderten Zinkauflage von 100 g/m² entsprachen die Prüfungsergebnisse bei beiden Beschichtungen mit nur einer einzigen Ausnahme den Anforderungen für die Kurzzeitprüfungen beider Richtlinien [1, 3]. Die Abweichung war die bei einem ebenen Blech mit Acrylatbeschichtung beobachtete Blasenbildung entsprechend einem Blasengrad m₂/g₄ (DIN 53209; [9]).

Bei den zusätzlich durchgeführten Kurzzeitprüfungen, nämlich der Kondenswasser-Wechselklima-Belastung mit und ohne vorheriger Dornbiegebelastung der Probekörper wurden bei den beiden Beschichtungen auf den verschiedenen Zinkauflagen keine Schäden festgestellt. Lediglich bei der Kondenswasser-Wechselklima-Belastung mit erhöhter Schwefeldioxid-Zugabe (1¹/₃₀₀ l Prüfraum) wurde bei den Probeblechen (Trapezprofile und ebene Bleche) mit 100 g Zinkauflage/m² sowie am Vertikalschnitt der ebenen Bleche mit 200 g Zinkauflage/m² eine vom Schnitt ausgehende Unterwanderung von mehr als 2 mm festgestellt.

Nach einjähriger Freibewitterung wurde bei einigen Probeblechen und Trapezprofilen geringe Bläschenbildung entlang der Schnitte beobachtet. Nach dreijähriger Freibewitterung hatte die Bläschenbildung/Unterwanderung der Beschichtung bei allen Probekörpern zugenommen. Teilweise wurden im Unterwanderungsbereich Unterrostungen beobachtet. Es wurden jedoch in keinem Falle Rotrostauslauffahnen aus den Schnitten oder an den Biegeschultern festgestellt.

Die größten Unterwanderungsbreiten wurden bei den Probekörpern mit 100 g Zinkauflage/m² und die geringsten Unterwanderungsbreiten in der Regel bei jenen mit 275 g Zinkauflage/m² festgestellt. Der Vergleich der Untersuchungsergebnisse der Proben von den verschiedenen Freibewitterungsorten ergab für die drei Zinkauflagen, daß sich die größeren Unterwanderungsbreiten bei 100 g Zinkauflage/m² deutlich von jenen mit der üblichen Zinkauflage von 275 g/m² unterschieden. Demgegenüber waren die Unterwanderungsbreiten bei 200 und 275 g Zinkauflage/m² im Sinne des Tests nach *Nemenyi* [14] als gleich zu betrachten.

Außerhalb der mechanisch verletzten Beschichtungsbereiche, d. h. der künstlich angebrachten Schnitte sowie den Kanten der Trapezprofile und ebenen Bleche, wurden bei allen Freibewitterungen keine Beschichtungsschäden beobachtet.

Im Hinblick auf die Fragestellung der Forschungsarbeit nach einer möglichen Minderung der Zinkauflage ergibt sich, daß nach den Kurzzeitprüfungen die

Trapezprofile und ebenen Bleche mit 200 g Zinkauflage/m² den Anforderungen bei der Richtlinien entsprechen und bei der Langzeitprüfung, einer dreijährigen Freibewitterung, in ihrem Verhalten mit jenen mit 275 g Zinkauflage/m² gleich zu beurteilen sind. Nach diesen Ergebnissen ist die Herabsetzung der Zinkauflage von 275 g/m² auf 200 g/m² möglich. Dabei muß natürlich vorausgesetzt werden, daß die Schichtdicke der organischen Beschichtungen (Mittelwerte, Standardabweichung, unterer Grenzwert) nicht ebenfalls vermindert werden und die Zinküberzug-Dickentoleranzen (Mittelwerte $\geq 13,8 \mu\text{m}$, Variationskoeffizienten $< 17\%$) nicht vergrößert werden.

Bei der Zinkauflage von 100 g/m² wurden im überwiegenden Maße ebenfalls die Anforderungen bei den Kurzzeitprüfungen erfüllt. Es deutete sich jedoch bei den Prüfungen wie der Salzsprühnebelbeanspruchung und der Kondenswasser-Wechselklima-Belastung mit erhöhtem Schwefeldioxid-Anteil (1 l) eine graduell verminderte Korrosionsschutzwirkung an, die durch den Langzeitversuch, die dreijährige Freibewitterung, bestätigt wurde. Eine Verminderung der Zinkauflage von 275 g/m² auf 100 g/m² kann für tragende Bauteile im Sinne der Richtlinie des Instituts für Bautechnik [1] deshalb nicht empfohlen werden.

Literatur

- [1] Institut für Bautechnik Mitteilungen des IfBt Heft 6 (1973), S. 171-173
- [2] DIN 17162 Teil 1, Feuerverzinktes Band und Blech aus weichen unlegierten Stählen, Technische Lieferbedingungen, Sept. 1977
- [3] DIN 18807 Teil 1, Entwurf, Nov. 1982, Trapezprofile im Hochbau, Stahltrapezprofile, Allgemeine Anforderungen, Ermittlung der Tragfähigkeitswerte durch Berechnung
- [4] DIN 53151, Gitterschnittprüfung von Anstrichen und ähnlichen Beschichtungen, Mai 1981
- [5] DIN 53156, ersetzt durch DIN ISO 1520 Tiefungsprüfung, Februar 1982
- [6] DIN 50018, Beanspruchung in Kondenswasser-Wechselklima mit schwefeldioxidhaltiger Atmosphäre, Mai 1978
- [7] DIN 53209, Bezeichnung des Blasengrades an Anstrichen, November 1970
- [8] DIN 53167, Salzsprühnebelprüfung an Anstrichen und ähnlichen Beschichtungen, August 1972
- [9] DIN 53152, Dornbiegeversuch an Anstrichen und ähnlichen Beschichtungen, Mai 1971
- [10] DIN 50017, Kondenswasser-Prüfklimat, Oktober 1982
- [11] DIN 67530, Reflektometer als Hilfsmittel zur Glanzbeurteilung an ebenen Anstrich- und Kunststoff-Oberflächen
- [12] DIN 50917 Teil 1, Korrosion der Metalle, Naturversuche, Freibewitterung, August 1979
- [13] *Groß, H., Kruse, C.-L.*, farbe+lack, 88 (1982), 269-273
- [14] *Sachs, L.*, Statistische Auswertemethoden, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1972