

## Das Haften von Zinküberzügen auf allgemeinen Baustählen

Von Dietrich Horstmann in Düsseldorf\*)

Mitteilung aus dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Abhandlung 1215

[Bericht Nr. 62 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e. V.]

*Untersuchungen über das Haften von Zinküberzügen auf allgemeinen Baustählen. Vorgänge im Stahl und im Zinküberzug bei einer plastischen Verformung. Einfluß der mechanischen Eigenschaften des Stahles und seiner Oberflächenrauheit, der Dicke und des Gefügebauaufbaues des Zinküberzuges auf seine Haftung.*

**The adhesion of zinc coats on structural steels of general use.** *Studies on the adhesion of zinc coats on structural steels of general use. Processes going on in the steel and in the zinc coat during plastic deformation. Effect of the mechanical properties of the steel and of the roughness of its surface, of the thickness and structure of the zinc coat on its adhesion.*

**L'adhérence de revêtements en zinc sur les aciers de construction générale.** *Etudes sur l'adhérence de revêtements en zinc sur les aciers de construction générale. Les processus qui se déroulent dans l'acier et dans la couche de zinc lors d'une déformation plastique. Influence des propriétés mécaniques de l'acier et de la rugosité de sa surface, de l'épaisseur et de la structure du revêtement en zinc sur son adhérence.*

Die Gebrauchseigenschaften von Zinküberzügen hängen nicht nur von ihrer Dicke ab, die den Korrosionsschutzwert im wesentlichen bestimmt, sondern auch von ihrer Haftung am Stahluntergrund, da ein teilweise abgeplatzter Zinküberzug nur einen beschränkten Schutz gegen Korrosion bieten

Die Versuche wurden mit 2,8 mm dicken Blechstreifen aus sieben in DIN 17100 angegebenen Baustählen durchgeführt, und zwar Blechen aus USt 33, MUST 34, TUST 37, MUST 42, MRSt 37, MRSt 42 und MRRSt 52. Um zu sehen, wie Zinküberzüge auf Stählen mit höheren Kohlenstoff-

Tafel 1. Chemische Zusammensetzung der für die Untersuchung verwendeten Stähle

Stahl	Gehalte in Gew.-%									
	C	Si	Mn	P	S	N <sub>2</sub>	Al	Cu	Cr	Ni
USt 33 . . . .	0,06	0,006	0,40	0,013	0,020	0,004	0,004	0,07	0,06	0,04
MUST 34 . . . .	0,06	0,002	0,35	0,014	0,023	0,003	0,003	0,05	0,02	0,01
TUST 37 . . . .	0,10	0,005	0,40	0,049	0,040	0,009	0,007	0,03	0,03	0,02
MUST 42 . . . .	0,18	0,005	0,40	0,016	0,011	0,002	0,001	0,06	0,03	0,02
MRSt 37 . . . .	0,12	0,22	0,37	0,019	0,020	0,005	0,014	0,07	0,06	0,02
MRSt 42 . . . .	0,14	0,25	0,48	0,022	0,031	0,005	0,020	0,07	0,06	0,03
MRRSt 52 . . . .	0,17	0,35	1,42	0,020	0,013	0,005	0,032	0,06	0,03	0,03
C 67 . . . . .	0,68	0,28	0,73	0,032	0,013	0,005	0,008	0,04	0,06	0,02

kann. Betriebserfahrungen haben ergeben, daß Zinküberzüge auf unberuhigten Stählen meistens besser haften als auf beruhigten, was darauf zurückgeführt wird, daß die auf beruhigten Stählen aufgetragenen Überzüge im allgemeinen dicker sind und einen größeren Anteil an Eisen-Zink-Legierungsschichten enthalten als die auf unberuhigten Stählen aufgetragenen. Da aber neben diesen beiden sicher auch noch andere Einflußgrößen die Haftung von Zinküberzügen entscheidend mitbestimmen, schien es angebracht zu sein, in Weiterführung der Untersuchungen über das Haften von Zinküberzügen auf Drähten<sup>1) 2)</sup> und im Zusammenhang mit Versuchen über den Einfluß der Verzinkungsbedingungen auf die Dicke und den Gefügebau von Zinküberzügen auf allgemeinen Baustählen<sup>3)</sup> auch das Haften der Überzüge auf diesen Stählen näher zu untersuchen.

gehalten haften, wurde ein Stahl der Güte C 67 nach DIN 17222 mit in diese Untersuchungen einbezogen. Die chemische Zusammensetzung dieser Stähle ist in *Tafel 1* angegeben, sie entspricht in allen Fällen den in den Normen festgelegten Bedingungen. Proben dieser Bleche wurden in zwei Verzinkereien nach dem Trocken- und Naßverzinkungsverfahren verzinkt, wobei Eintauchdauer, Ausziegeschwindigkeit und die Temperatur des Zinkbades gezielt so verändert wurde, daß Zinküberzüge von verschiedener Dicke und mit unterschiedlichem Gefügebau hergestellt werden konnten. Die auf diese Weise erreichten Grenzwerte in der Dicke der Überzüge und im Verhältnis der Dicke der Zinkschicht zur Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht sind zusammen mit den Werten für die mechanischen Eigenschaften der verzinkten Bleche, der Oberflächenrauheit der gebeizten Bleche und zwei Werten, die das Haftvermögen der Zinküberzüge kennzeichnen, in *Tafel 2* zusammengestellt.

Um ein besseres Maß für die Haftung der Überzüge zu bekommen, wurde bei dieser Untersuchung nicht auf die bis-

\*) Sonderabdrucke sind unter Angabe der Bestellnummer Gruppe C Nr. 874 lieferbar.

<sup>1)</sup> Horstmann, D.: Stahl u. Eisen 87 (1967) S. 331/36.

<sup>2)</sup> Horstmann, D.: Stahl u. Eisen 88 (1968) S. 499/507.

<sup>3)</sup> Horstmann, D.: Stahl u. Eisen 90 (1970) S. 571/79.

Aus diesen Versuchen geht weiterhin hervor, daß man einen auf Stahl aufgetragenen Zinküberzug bei einer Verformung als drei- bzw. zweischichtigen Verbundwerkstoff auffassen muß, der aus den Schichten Stahluntergrund,

Bereich in verschiedener Art ablaufen. Die chemischen Einflüsse dürften gegenüber diesen rein mechanischen zurücktreten, da man annehmen kann, daß die Haftkräfte zwischen Phasen der gleichen Art annähernd gleich groß sind. Sie

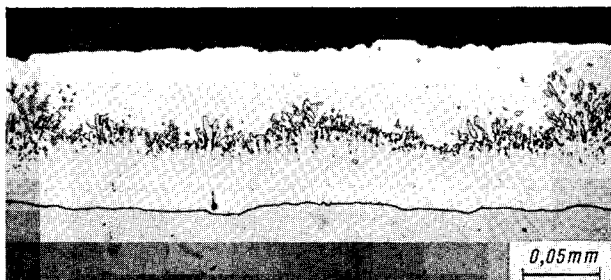


Bild 1a. Gefüge eines Zinküberzuges mit vorhandener Zinkschicht (200:1)

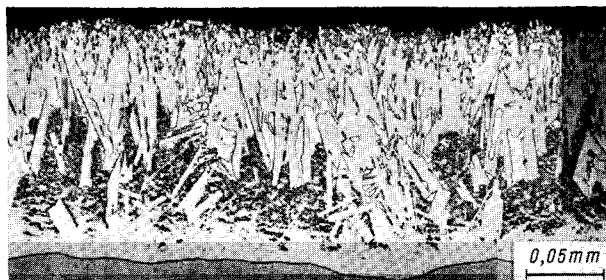


Bild 2a. Gefüge eines Zinküberzuges mit durchgewachsener Legierungsschicht (200:1)

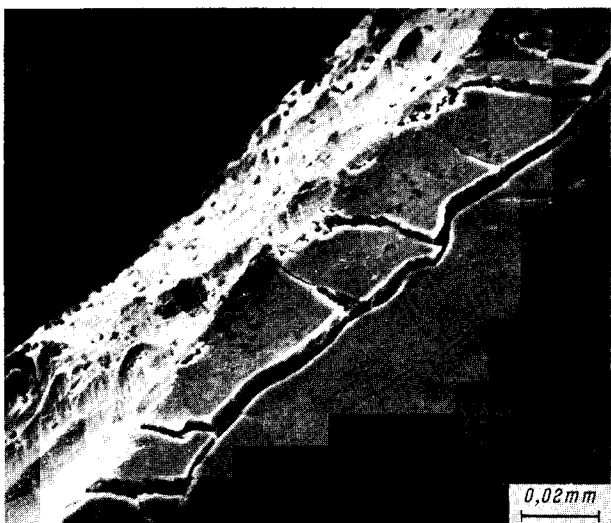


Bild 1b. Rastermikroskopische Ansicht des verbogenen Zinküberzuges (500:1)

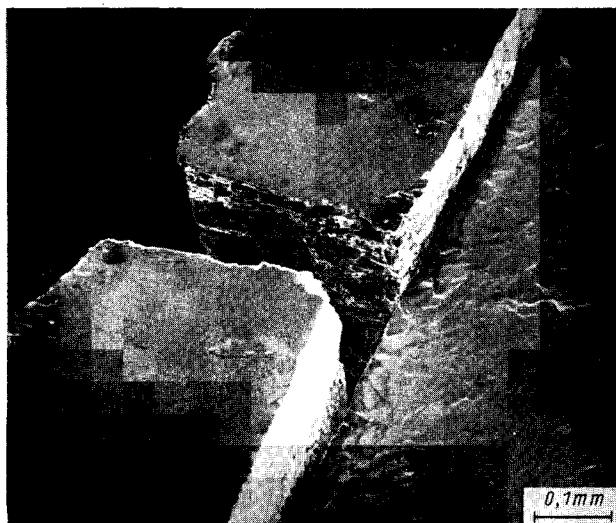


Bild 2b. Rastermikroskopische Ansicht des verbogenen Zinküberzuges (100:1)

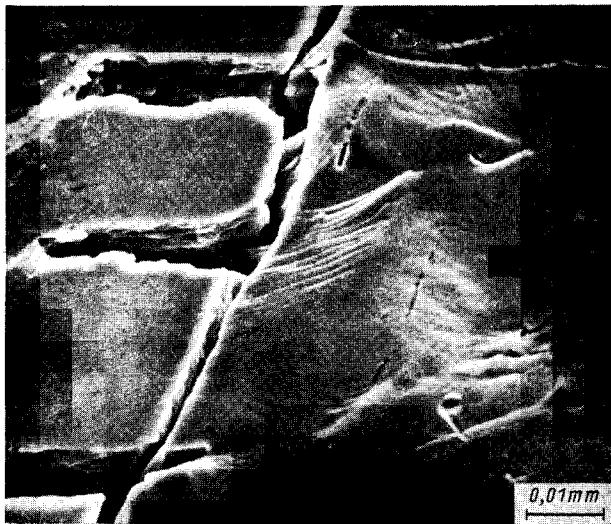


Bild 1c. Rastermikroskopische Ansicht des verbogenen Zinküberzuges (1000:1)



Bild 2c. Rastermikroskopische Ansicht des verbogenen Zinküberzuges (200:1)

Eisen-Zink-Legierungsschicht und Zinkschicht besteht und bei dem die letztgenannte manchmal fehlt. Daher können Unterschiede im elastischen und plastischen Verhalten dieser Schichten dazu führen, daß an den Phasengrenzen Scherspannungen auftreten, die größer als die Haftkräfte zwischen den einzelnen Schichten sind, so daß es zu einer Trennung an den Phasengrenzen kommt. Dies wird um so leichter der Fall sein, wenn der Beginn des Fließens in den einzelnen Schichten sehr unterschiedlich ist und die Fließvorgänge im plastischen

wirken sich jedoch indirekt aus, da die chemische Zusammensetzung des Grundwerkstoffes dessen mechanische Eigenschaften verändert und den Reaktionsablauf zwischen dem Stahl und der Zinkschmelze, also die Bildung und das Wachstum der Eisen-Zink-Legierungsschichten, mehr oder weniger stark beeinflusst. Die bessere Verzahnung zwischen der Legierungs- und der äußeren Zinkschicht bewirkt außerdem, daß hier eine Trennung nicht eintritt, so daß man erwarten kann, daß eine größere Oberflächenrauheit des Stahles die

Haftung des Überzuges ebenfalls stark verbessert, wie dies in der Tat auch schon mehrfach gefunden wurde<sup>1) 2) 6) 7)</sup>.

Auf Grund dieser Überlegungen wurde daher auch bei dieser Arbeit versucht, das Einreißen der Zinküberzüge beim Erichsenversuch mit den mechanischen Eigenschaften des Stahles, seiner Oberflächenrauheit und der Dicke und dem Schichtaufbau des Zinküberzuges in Verbindung zu setzen, wie dies bei den Untersuchungen über das Haften von Zink-

Verformungsart das Verformungsvermögen des Bleches besser charakterisiert als die Bruchdehnung. Die Schwankungsbreiten der auf diese Weise für die verschiedenen Stähle berechneten Haftwerte sind in der letzten Spalte der *Tafel 2* aufgeführt.

Trägt man die für die Erichsentiefung beim Einreißen des Zinküberzuges ermittelten Werte gegen diese Haftwerte auf, so ergeben sich zwei vom Nullpunkt ausgehende Streube-

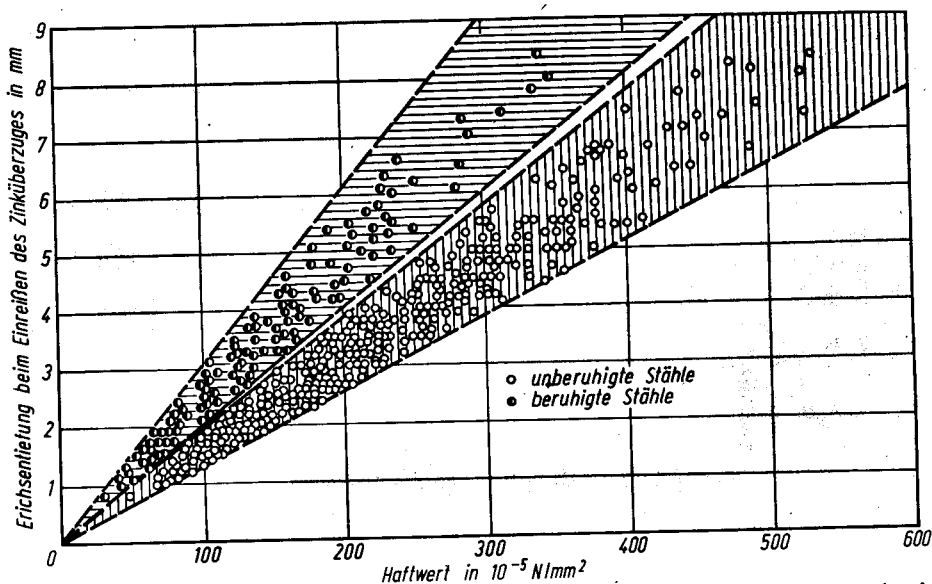


Bild 3. Einfluß des „Haftwertes“ auf die Erichsentiefung beim Einreißen des Zinküberzuges bei Blechen mit vorhandener Zinkschicht

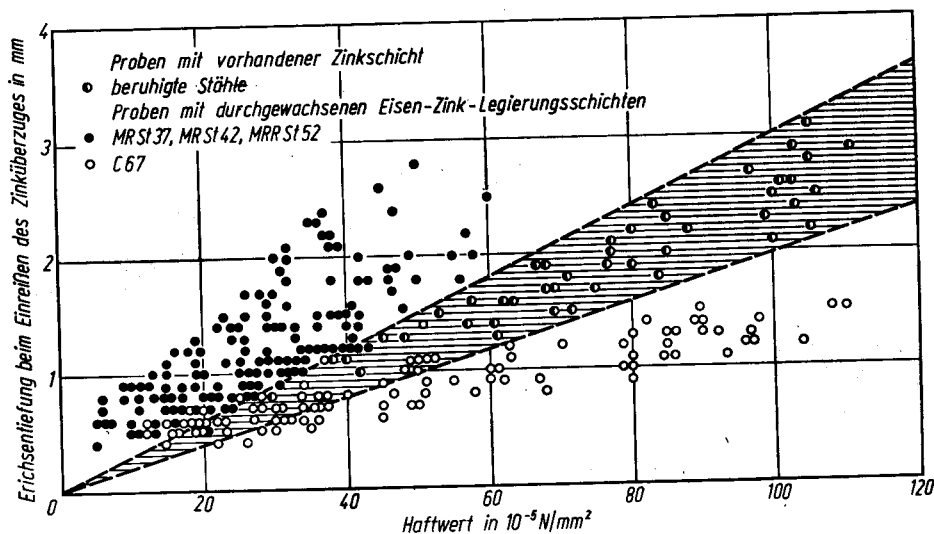


Bild 4. Einfluß des „Haftwertes“ auf die Erichsentiefung beim Einreißen des Zinküberzuges bei Blechen mit durchgewachsener Eisen-Zink-Legierungsschicht

überzügen auf Drähten bereits geschehen ist<sup>1) 2)</sup>. So wurde auch hier aus allen Meßwerten empirisch ein „Haftwert“ errechnet, mit dem die Erichsentiefung beim Einreißen des Zinküberzuges verknüpft werden kann. Er ergibt sich zu:

$$H_{\text{Überzug}} = \sigma_S \cdot \frac{d_Z^{0,25}}{d_L} \cdot \frac{\bar{R}_a^2}{d_G \cdot IE_B} \quad (1)$$

Dabei bedeuten  $H_{\text{Überzug}}$  der zu berechnende Haftwert,  $\sigma_S$  die Streckgrenze des Bleches,  $d_L$  die Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht,  $d_Z$  die Dicke der Zinkschicht,  $\bar{R}_a$  den mittleren arithmetischen Mittenrauhwert der Blechoberfläche,  $d_G$  die Dicke des Gesamtüberzuges und  $IE_B$  die Erichsentiefung beim Einreißen des Bleches, der bei dieser

reiche, in denen die Meßwerte um eine mittlere Gerade um etwa  $\pm 20\%$  schwanken (*Bild 3*). Dabei steigt der für beruhigte Stähle geltende Streubereich schneller mit zunehmendem Haftwert an als der für unberuhigte Stähle ermittelte. Für die mittleren Geraden, die die Abhängigkeit des Beginns des Einreißen des Zinküberzuges beim Erichsenversuch  $IE_U$  von diesem Haftwert angeben, gilt die Beziehung

$$IE_U = k \cdot H_{\text{Überzug}} = k \cdot \sigma_S \cdot \frac{d_Z^{0,25}}{d_L} \cdot \frac{\bar{R}_a^2}{d_G \cdot IE_B} \quad (2)$$

wobei sich die Unterschiede der Beiwerte  $k$  für beruhigte und unberuhigte Stähle dadurch erklären lassen, daß die mechanischen Eigenschaften der oberflächennahen Schichten bei den unberuhigten Stählen infolge der stärkeren Seigerung

<sup>1)</sup> Pügel, W., u. R. Stenkhoff: Stahl u. Eisen 64 (1944) S. 720/25.  
<sup>7)</sup> Horstmann, D., u. U. Krause: Stahl u. Eisen 80 (1960) S. 1313/18.

dieser Stähle andere sind als die bei der Berechnung des Haftwertes zugrunde gelegten, die für den Gesamtquerschnitt des Bleches gelten. So ist die Streckgrenze in diesen Schichten sicher niedriger und die Erichsentiefung größer als die des Gesamtquerschnittes. Die auf den ersten Blick groß erscheinenden Streuungen der Meßwerte um diese beiden Geraden sind durchaus als normal anzusehen, wenn man bedenkt, daß geringe Unterschiede in den Einzelgrößen des Haftwertes sich in der einen oder anderen Richtung summieren können. Dabei können geringe Abweichungen der Oberflächenrauheit vom Mittelwert des arithmetischen Mittenrauhwerts das Ergebnis besonders stark beeinflussen.

Die hier aufgezeigten Zusammenhänge gelten jedoch nur, wenn im Zinküberzug noch eine durchgehende Zinkschicht vorhanden ist, also ein dreischichtiger Verbundwerkstoff vorliegt. Für Zinküberzüge, die nur aus Eisen-Zink-Legierungsschichten bestehen, ergibt sich zwar die gleiche Tendenz, wenn man für das Verhältnis der Dicke der Zinkschicht zur Dicke der Legierungsschicht willkürlich einen Wert von 0,001 einsetzt und damit das zwischen den Eisen-Zink-Kristallen noch vorhandene Zink annähernd mit berücksichtigt, doch sind hier die Streuungen erheblich größer, wie dies *Bild 4* zeigt. Bei diesen, nur aus zwei Schichten bestehenden Verbundwerkstoffen gelten offenbar andere, wenn auch ähnliche Zusammenhänge zwischen den mechanischen Eigenschaften des Grundwerkstoffes, der Dicke und dem Aufbau des Überzuges und seiner Haftung bei einer plastischen Verformung. An Stelle des Verhältnisses der beiden Schichten dürfte sich hier der kristalline Aufbau der Legierungsschicht und der noch in ihr enthaltene Rest der Zinkgrundmasse stärker auf

die Haftung auswirken. Das deutlich schlechtere Verhalten der Zinküberzüge auf dem Stahl mit höherem Kohlenstoffgehalt mag darauf zurückzuführen sein, daß in diesem Fall der höhere Zementitgehalt des Stahles die Haftkräfte zwischen Stahl und Eisen-Zink-Verbindungen vermindert, was sich bei diesen, nur aus Legierungsschichten bestehenden Überzügen bemerkbar macht, während bei Überzügen mit einer äußeren Zinkschicht dieser Einfluß nicht so stark in Erscheinung tritt.

Die Untersuchungen wurden mit Mitteln des Landesamtes für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen tatkräftig unterstützt, für die an dieser Stelle nochmals gedankt sei.

### Zusammenfassung

Die Untersuchungen über das Haften von Zinküberzügen auf allgemeinen Baustählen haben ergeben, daß ein Zinküberzug beim Erichsenversuch um so leichter einreißt, je dicker er ist und je größer das Verformungsvermögen des Stahles ist. Auch ein größerer Anteil an Eisen-Zink-Legierungsschichten im Überzug verschlechtert die Haftung, während diese mit steigender Streckgrenze und zunehmender Oberflächenrauheit des Stahles verbessert wird. Es zeigt sich, daß die Haftung von den für einen dreischichtigen Verbundwerkstoff geltenden mechanisch-geometrischen Verhältnissen abhängt und nur indirekt von der chemischen Zusammensetzung des Stahls beeinflußt wird, die die mechanischen Eigenschaften des Stahles und das Wachstum der Legierungsschichten und damit den Schichtaufbau des Überzuges verändert.