

Der Einfluß des Blechwerkstoffes und der Verzinkungsbedingungen auf die Eigenschaften verzinkter Bleche und Bänder

Von Dietrich Horstmann in Düsseldorf

Mitteilung aus dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Abhandlung 955

[Bericht Nr. 98 des Kaltwalzausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute*) und Bericht Nr. 45 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken **)]

Untersuchungen über den Einfluß des Blechwerkstoffes, des Verzinkungsverfahrens, der Tauchzeit und der Zinkbadtemperatur und des Aluminiumgehaltes des Zinkbades auf die Eigenschaften verzinkter Bleche und Bänder.

The influence of sheet material and galvanizing conditions on the properties of galvanized sheet and strip. Investigations of the influence of sheet material, galvanizing process, immersion time, zinc bath temperature, and the aluminium content of the zinc bath on the properties of galvanized sheet and strip.

Influence de la tôle et des conditions de galvanisation sur les propriétés des tôles et des bandes galvanisées. Recherches concernant l'influence de la tôle, du procédé de galvanisation, de la durée d'immersion, de la température du bain de zinc et de sa teneur en aluminium sur les propriétés des tôles et des bandes galvanisées.

Um für verzinkte Bleche und Bänder neue Anwendungsgebiete zu erschließen, erfordern es die oft damit verbundenen erhöhten Ansprüche, daß die Eigenschaften den bei der Verarbeitung auftretenden Bedingungen soweit wie möglich angepaßt werden. Daher ist es notwendig zu wissen, mit welchem Blech und unter welchen Verzinkungsbedingungen bestimmte angestrebte Eigenschaften zu erreichen sind, um Ausfälle zu vermeiden, die sowohl durch ein Versagen des Blechwerkstoffes als auch des Zinküberzuges eintreten können. Dabei sind nicht nur die mechanischen Eigenschaften des unverzinkten Bleches bedeutungsvoll, sondern auch die Verzinkungsbedingungen, denn sie bewirken einerseits eine künstliche Alterung des Blechwerkstoffes und bestimmen andererseits den Aufbau und die Eigenschaften des Zinküberzuges. Beide Vorgänge, der Ablauf der künstlichen Alterung und die Bildung des Zinküberzuges, werden sehr stark von der Temperatur und der Tauchdauer beeinflusst. Daher erschien es angebracht, eine Untersuchung über den Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Gefüges von Stahl und Zinküberzug auf die Eigenschaften kalt gewalzter verzinkter Feinbleche¹⁾ in dieser Richtung zu erweitern und durch Versuche mit warm gewalzten Blechen und kalt gewalzten, verzinkten Bändern zu ergänzen.

Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden mit 1 mm dicken, kalt und warm gewalzten Blechen und Bändern aus Thomasstahl (T), windgefrischtem Sonderstahl (W), Sauerstoffaufblas-Stahl (Y) und Siemens-Martin-Stahl (M) durchgeführt, um die Ergebnisse der Untersuchungen mit denen der vorangegangenen Arbeit¹⁾ vergleichen und sie als Grundlage benutzen zu können. Die kalt gewalzten Bänder wurden rekristallisierend gegläht, betriebsüblich nachgewalzt und für die Tafelverzinkung in Bleche von 1 m × 2 m geteilt; die warm gewalzten Bleche wurden normalgeglüht. Für die Bandverzinkung wurden von den kalt gewalzten Bändern vor dem Glühen Abschnitte entnommen, die in einer Bandverzinkungs-Anlage gegläht und verzinkt wurden²⁾.

Die chemische Zusammensetzung der Bleche und Bänder liegt mit Ausnahme der Bleche 14 und 31 und des Bandes 14a aus einem für diese Versuche eigens erschmolzenen Siemens-Martin-Stahl mit absichtlich erhöhtem Phosphorgehalt in

dem für das jeweilige Erschmelzungsverfahren des Stahles üblichen Bereich, wie die Zusammenstellung in *Tafel 1* zeigt, in der auch die für die vorangegangene Untersuchung benutzten Blechwerkstoffe enthalten sind. Der Siemens-Martin-Stahl mit dem erhöhten Phosphorgehalt wurde in der Pfanne mit Ferrophosphor auf den dem Thomasstahl ent-

Tafel 1. Chemische Zusammensetzung und Gefüge der Bleche

Blech	Stahl- bezeich- nung ¹⁾	Chemische Zusammensetzung							Parti- kelgröße ²⁾	Ausbildung des Zementits ³⁾	
		% C	% Si	% Mn	% P	% S	% N ₂	% Al			
a) kalt gewalzte Bleche											
1	TU-K	0,036	0,01	0,33	0,038	0,030	0,0072	0,001	10	0+1	
2		0,036	0,01	0,29	0,046	0,032	0,0070	0,002	9	5	
3		0,065	0,01	0,39	0,046	0,035	0,0053	0,001	10	1	
4		0,077	0,01	0,41	0,054	0,037	0,0095	0,003	8	3	
5	WU-K	0,031	0,01	0,27	0,024	0,016	0,0082	0,001	10	1+2	
6		0,035	0,01	0,29	0,027	0,016	0,0060	0,001	9	3	
7		0,038	0,01	0,31	0,025	0,022	0,0066	0,001	9	1	
8		0,043	0,01	0,25	0,032	0,029	0,0054	0,002	9	5	
9		0,058	0,01	0,43	0,050	0,027	0,0076	0,002	8	4	
10	YU-K	0,021	0,01	0,23	0,007	0,021	0,0020	0,001	8	0	
11		0,083	0,01	0,29	0,020	0,030	0,0016	0,002	9	4	
12	MU-K	0,028	0,01	0,24	0,016	0,041	0,0045	0,001	9	3	
13		0,029	0,01	0,24	0,018	0,043	0,0034	0,001	10	2	
14		0,029	0,01	0,36	0,070	0,031	0,0038	0,001	9	3	
15		0,030	0,01	0,39	0,014	0,030	0,0032	0,002	9	3	
16		0,035	0,01	0,32	0,010	0,021	0,0023	0,001	8	1	
17		0,035	0,01	0,23	0,010	0,018	0,0024	0,002	9	3+4	
18		0,037	0,01	0,23	0,018	0,025	0,0027	0,002	10	0+1	
19		0,039	0,01	0,26	0,016	0,037	0,0019	0,002	9	3	
20		YR-K	0,043	0,01	0,24	0,006	0,023	0,0061	0,090	9	2
21			0,074	0,07	0,43	0,014	0,014	0,0044	0,053	8	0
22	MR-K	0,046	0,01	0,33	0,010	0,017	0,0053	0,039	8	2	
23		0,050	0,01	0,27	0,016	0,022	0,0078	0,047	9	0	
24		0,052	0,01	0,27	0,009	0,017	0,0050	0,029	9	0+1	
25		0,070	0,08	0,32	0,009	0,031	0,0072	0,100	10	0	
26		0,083	0,13	0,25	0,010	0,028	0,0049	0,009	9	0	
b) warm gewalzte Bleche											
27	TU-U	0,023	0,01	0,28	0,062	0,039	0,0154	0,003	5	B	
28		0,046	0,01	0,31	0,052	0,026	0,0098	0,001	7	A+B	
29	YU-U	0,027	0,01	0,25	0,045	0,019	0,0052	0,002	7	A	
30	MU-U	0,051	0,01	0,28	0,015	0,028	0,0031	0,001	6	A	
31		0,066	0,01	0,36	0,072	0,034	0,0032	0,001	7	A	
32	YR-U	0,071	0,04	0,42	0,015	0,015	0,0040	0,050	7	A+B	
33		0,078	0,05	0,33	0,043	0,023	0,0055	0,002	8	A	
34	MR-U	0,064	0,11	0,39	0,015	0,025	0,0077	0,036	9	A+B	
35		0,083	0,09	0,39	0,021	0,025	0,0054	0,037	8	A+B	
36		0,097	0,14	0,45	0,028	0,037	0,0050	0,107	7	A	
c) verzinktes Kaltband											
3a	TU-K	0,065	0,01	0,39	0,046	0,035	0,0053	0,001	9	A+B	
6a	WU-K	0,035	0,01	0,29	0,027	0,016	0,0060	0,001	8	A+B	
14a	MU-K	0,029	0,01	0,36	0,070	0,031	0,0038	0,001	9	A+B	
15a		0,030	0,01	0,39	0,014	0,030	0,0032	0,002	9	A+B	
22a	MR-K	0,046	0,01	0,33	0,010	0,017	0,0053	0,039	10	A	

*) Vorgetragen auf der Sitzung des Unterausschusses Oberflächenbehandlung von Warmband und Kaltband am 4. Juli 1963 in Düsseldorf.

**) Gemeinschaftsausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, der Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung e. V., der Fachvereinigung Draht e. V. und der Fachabteilung Lohnverzinkerien.

¹⁾ Horstmann, D.: Stahl u. Eisen 82 (1962) S. 338/47 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 906, Kaltwalzaussch. 81 u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 40).

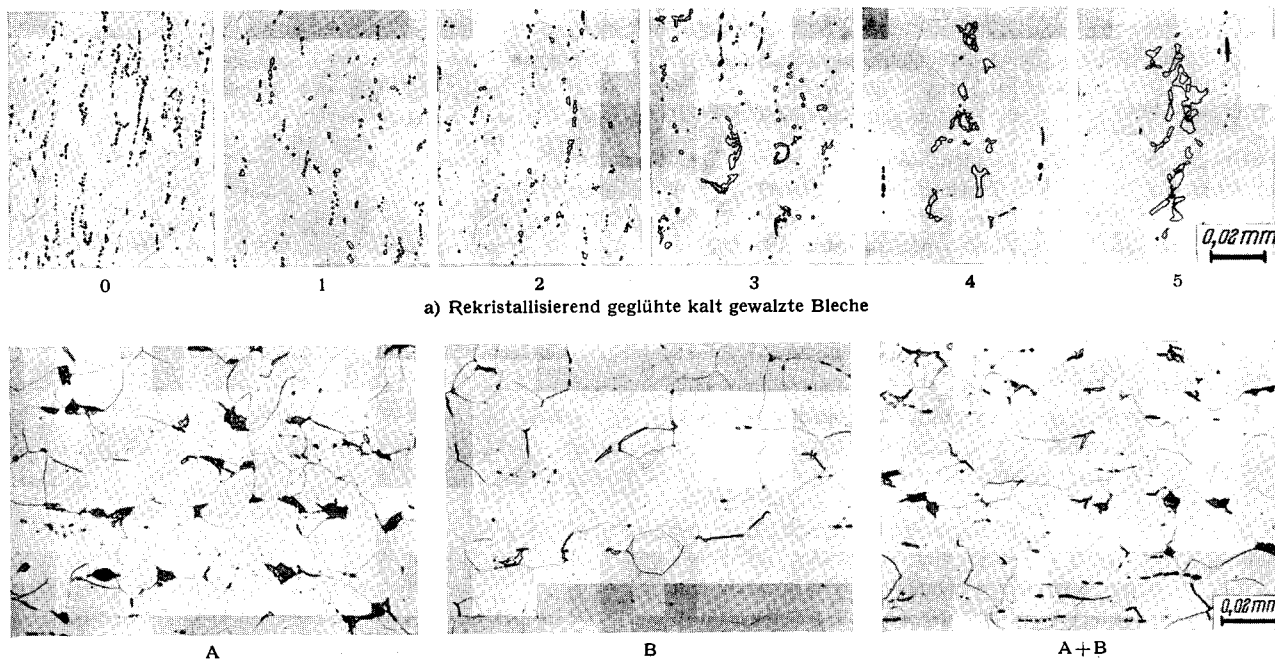
²⁾ Bablik, H.: Das Feuerverzinken. Wien 1941.

¹⁾ T = Thomasstahl, W = Windgefrischter Sonderstahl, Y = Sauerstoffaufblas-Stahl, M = Siemens-Martin-Stahl, U = Unberuhigt, R = Beruhigt, -K = Kalt gewalzt, -U = Warm gewalzt. — ²⁾ Nach Stahl-Eisen-Prüfblatt 1510. — ³⁾ Nach den Bildern 1a und b.

sprechenden Phosphorgehalt gebracht, um eine Trennung der Wirkung des Phosphors und des im Thomasstahl gleichzeitig in größerer Menge enthaltenen Stickstoffes zu ermöglichen. Das Gefüge der kalt gewalzten und rekristallisierend geglähten Bleche besteht aus mehr oder weniger fein verteiltem Zementit in einer ferritischen Grundmasse, deren Korngröße nur geringe Unterschiede zeigt (*Tafel 1*). Die Ausbildung des Zementits, die auf das Verhalten des Blechwerkstoffes bei der Verarbeitung verzinkter Bleche von großem Einfluß sein kann, ist dagegen in den einzelnen Blechen sehr unterschiedlich. Die Ausbildungsformen des Zementits, die von kleinen, kugeligen, gleichmäßig verteilten Teilchen bis zu sehr groben, unregelmäßig geformten Teilchen des entarteten Perlit reichen, sind, in sechs Gruppen geteilt, in *Bild 1a* wiederge-

Rahmen. Die Ausziehgeschwindigkeit der Bleche aus dem Zinkbad lag zwischen 7 und 8 m/min. Die ungeglühten, kalt gewalzten Bandabschnitte wurden im Werk D in zunächst oxydierender, dann in reduzierender Atmosphäre normalgeglüht, im Glühofen abgekühlt und verzinkt²⁾. Die Einlauf-temperatur des Bandes in das Zinkbad lag etwa 20 °C über der Zinkbadtemperatur, die Zinkbadtemperatur betrug 450 °C und die Tauchdauer 6 s. Das Zinkbad enthielt 0,15% Al.

Zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften des Blechwerkstoffes wurden von den verzinkten und unverzinkten Blechen und Bändern Zugproben längs und quer zur Walzrichtung aus der Mitte entnommen, an denen Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung gemessen



a) Rekristallisierend geglähte kalt gewalzte Bleche
b) Normalgeglühte warm gewalzte Bleche und verzinkte Bänder
Bilder 1a und b. Ausbildung des Zementits in den Versuchsstählen [a) 350:1, Original 500:1, b) rd. 375:1, Original 500:1]

geben. Angaben über die in den einzelnen Blechen vorkommenden Formen enthält ebenfalls *Tafel 1*. Das Gefüge der warm gewalzten, normalgeglühten Bleche und der normalgeglühten Bänder besteht aus Ferrit und Perlit, Ferrit und Korngrenzenzementit und aus Mischformen dieser beiden Arten (*Bild 1b*). Die feinere Verteilung des Karbids im Perlit läßt seine Menge hier gegenüber den in den kalt gewalzten Blechen vorliegenden Zementiteilchen größer erscheinen. Die Ferritkorngröße der warm gewalzten und normalgeglühten Bleche ist im Gegensatz zu den verzinkten Bändern recht unterschiedlich (*Tafel 1*).

Die Bleche wurden in drei Werken A, B und C nach betriebsüblichem Beizen und Behandeln mit Flußmitteln in aluminiumhaltigen Zinkbädern nach dem Trockenverzinkungsverfahren³⁾ verzinkt. Um die Wirkung von Temperatur und Zeit auf den Blechwerkstoff und die Ausbildung und Eigenschaften des Zinküberzuges bestimmen zu können, wurden in allen drei Werken mehrere Versuchsreihen bei verschiedenen Zinkbadtemperaturen durchgeführt, in denen die Tauchdauer verändert wurde. Die Temperatur des Zinkbades lag bei diesen Versuchsreihen im Werk A bei 422, 430, 439 und 450 °C, im Werk B bei 423, 440 und 453 °C und im Werk C bei 440, 445, 450 und 458 °C. Die Tauchdauer betrug bei jeder dieser Temperaturen 14, 20 und 40 oder 35 s. Im Werk A enthielt das Zinkbad 0,07, im Werk B 0,08 und im Werk C 0,12% Al. Die Gehalte an den übrigen Begleitelementen lagen in dem für die Blechverzinkung üblichen

wurden. Die an den verzinkten Proben gemessenen Werte wurden jeweils auf den Querschnitt des Bleches ohne Zinküberzug bezogen, der dadurch ermittelt wurde, daß der Zinküberzug von einem Einspannende vor dem Versuch abgebeizt wurde. An quer zur Walzrichtung über die gesamte Blechbreite entnommenen Streifen wurde die Erichsen-Tiefung bestimmt. Das Verhalten der Bleche beim Falzen wurde an Falzproben untersucht, die mit verschiedenen Maschinen quer zur Walzrichtung hergestellt wurden. Dabei wurde das Aussehen des Falzes nach dem Abbeizen des Zinküberzuges als Kennzeichen herangezogen, je nachdem ob der Falz eine glatte oder raue Oberfläche zeigte, angerissen oder vollständig aufgerissen war. Um Aufschlüsse über das Verhalten der Bleche bei einer Ziehbeanspruchung zu erhalten, wurden außer den Versuchen nach Erichsen Ziehversuche mit einer Dreistufenpresse durchgeführt. Dabei wurde das Aussehen der gezogenen Töpfe ähnlich wie das der Falzproben als Beurteilungsmaßstab herangezogen, je nachdem ob die Töpfe einen glatten Rand hatten, am Rand eine Zipfelbildung oder Risse zeigten oder Teile des Topfes ausgebrochen waren.

Die Zinkauflage wurde durch Abbeizen mit verdünnter Salzsäure 1:1, der etwas Antimon-3-Chlorid als Sparbeizzusatz beigegeben war, aus dem Gewichtsunterschied von Proben vor und nach dem Abbeizen bestimmt. Diese Proben wurden über die gesamte Blechbreite entnommen. An Schliffen wurde der Aufbau des Zinküberzuges untersucht.

Zum Sichtbarmachen des Gefüges wurden die Schiffe in einer Lösung von vier bis fünf Tropfen konzentrierter Salpetersäure und 50 ml Amylalkohol³⁾ geätzt. Das Verhalten des Zinküberzuges bei einer mechanischen Beanspruchung wurde an Proben aus dem Tiefungsversuch nach Erichsen ermittelt. Dabei wurde das Verhältnis der Tiefung, bei der der Zinküberzug einreißt, zu der Tiefung, bei der das Blech reißt, gebildet, das einen guten Anhalt für das Verhalten des Zinküberzuges bei anderen umformenden Beanspruchungen gibt. Außerdem wurde das Aussehen der Falz- und Ziehproben als Beurteilungsmaßstab für die Eigenschaften des Zinküberzuges herangezogen und festgestellt, ob der Zinküberzug nach dem Umformen glatt oder rauh war, leichte oder starke Risse zeigte oder sogar ablätterte.

Die mechanischen Eigenschaften unverzinkter Bleche und ihre Veränderung beim Verzinken

Wenn man die Eigenschaften verzinkter Bleche beurteilen will, ist es unbedingt erforderlich, die des Blechwerk-

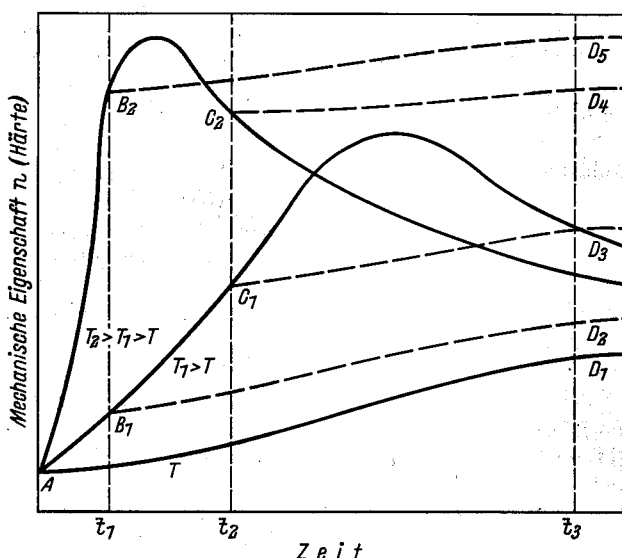


Bild 2. Schematische Darstellung der Veränderung der mechanischen Eigenschaften durch Alterung bei verschiedenen Temperaturen

stoffes von denen des Zinküberzuges zu trennen. Die mechanischen Eigenschaften des Bleches, die hier zunächst besprochen werden sollen, hängen von der Art der Herstellung, der chemischen Zusammensetzung und dem Gefüge ab. Sie verändern sich durch Alterungsvorgänge, deren Ablauf von der Temperatur und der Zeit bestimmt wird. Für die mechanischen Eigenschaften eines verzinkten Bleches sind daher die Eigenschaften des unverzinkten Bleches und die Veränderungen durch die beim Verzinken eintretende künstliche Alterung maßgebend. Bild 2 zeigt schematisch als Beispiel für eine mechanische Eigenschaft die Veränderung der Härte in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen Temperaturen. Dabei sollen die Temperatur T der Raumtemperatur und die Temperaturen T_1 und T_2 zwei Verzinkungstemperaturen entsprechen. Man sieht, daß die Härte bei Raumtemperatur T zunächst langsam, dann schneller und dann wieder langsamer zunimmt und schließlich einen Endwert erreicht. Bei höheren Temperaturen (die ausgezogenen Kurven für T_1 und T_2) steigt die Härte schneller an und erreicht nach einer bestimmten Zeit, die mit zunehmender Temperatur kürzer wird, einen Höchstwert. Nachdem sie diesen überschritten hat, nimmt sie wieder ab, und zwar ebenfalls um so schneller und stärker, je höher die Temperatur ist, was dazu führt, daß sich die Härte-Zeit-Kurven überschneiden. Wird die Behandlung bei der höheren Temperatur aber, wie es beim Verzinken

der Fall ist, nach einer bestimmten Zeit t_1 oder t_2 abgebrochen, so erreicht die Härte den dieser Zeit entsprechenden Wert, der je nach der Zeit vor dem Höchstwert, wie z. B. B_1 , B_2 und C_1 , oder hinter dem Höchstwert, z. B. C_2 , liegen kann. Wenn die künstliche Alterung beim Verzinken noch nicht abgeschlossen ist (B_1 , B_2 und C_1), steigt die Härte bei einer anschließenden Auslagerung bei Raumtemperatur weiter etwas an, wie es die gestrichelten Linien $B_1 - D_2$, $B_2 - D_5$ und $C_1 - D_3$ zeigen, und zwar um so weniger, je näher der betreffende Punkt dem Höchstwert rückt. Dazu trägt auch die Ausscheidung weiterer bei den höheren Temperaturen in Lösung gebliebener Fremdatome bei, die auch dann noch einen, wenn auch nur sehr geringen Härteanstieg bedingen, wenn bei den höheren Temperaturen der Höchstwert der Härte bereits überschritten ist (Kurve $C_2 - D_4$). Zwischen dem natürlich gealterten, unbehandelten und dem kurzzeitig wärmebehandelten künstlich gealterten und durch anschließende Auslagerung natürlich nachgealterten Zustand bleibt daher ein Unterschied, der durch die Abstände $D_1 - D_2$, $D_1 - D_3$, $D_1 - D_4$ und $D_1 - D_5$ gegeben ist, und der neben dem Anfangszustand A bei Blechen zum Verzinken stets berücksichtigt werden muß, da er das Verhalten der verzinkten Bleche bei der Verarbeitung entscheidend mit beeinflußt.

Bei Versuchen unter gleichgehaltenen Bedingungen in mehreren Betrieben, wie bei der vorliegenden Untersuchung, fallen gleichzeitig sehr viele Proben an, die nicht alle in der erforderlichen kurzen Zeit untersucht werden können. Daher lassen sich die in Bild 2 dargestellten Zusammenhänge unter diesen Bedingungen nicht für mehrere Blech- und Bandgüten in allen Einzelheiten zur gleichen Zeit aufklären. Man muß sich deshalb darauf beschränken, die Untersuchung nach einer längeren Auslagerungszeit vorzunehmen und kann nur bei einigen wenigen Blechen die Wirkung der Auslagerung auf die mechanischen Eigenschaften verfolgen. Daher sollen hier zunächst die Eigenschaftsänderungen besprochen werden, wie sie sich nach dem Auslagern während etwa eines halben bis dreiviertel Jahres ergeben, wenn nach den Untersuchungen von P. Werthebach⁴⁾ die natürliche Alterung weitgehend abgeschlossen und der verschiedenen schnelle Ablauf der Alterung weitgehend ausgeglichen ist, etwa entsprechend einem Schnitt durch das Bild 2 zu einer Zeit t_3 . Außerdem soll dann an einigen Beispielen die Wirkung der natürlichen Alterung bei unverzinkten und verzinkten Blechen und Bändern, also der Verlauf der Kurven $A - D_1$ und der gestrichelten Kurven wie $B_1 - D_2$, kurz erläutert werden.

In Bild 3 ist der Einfluß der chemischen Zusammensetzung auf die mechanischen Eigenschaften der unverzinkten Bleche nach einer Auslagerung von etwa einem halben Jahr dargestellt. Man sieht, daß der Kohlenstoffgehalt sehr stark die Streckgrenze, Zugfestigkeit und Erichsen-Tiefung beeinflusst, während die Bruchdehnung vor allem vom Phosphorgehalt abhängt. Betrachtet man zunächst nur Streckgrenze und Zugfestigkeit, so ergibt sich das bekannte Bild, daß die Werte mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt ansteigen. Die kalt gewalzten, rekristallisierend geglühten Bleche zeigen Unterschiede je nachdem, ob sie aus unruhigem oder aus beruhigtem Stahl sind. Die angegebenen Streubereiche gelten für alle Stähle unterschiedlicher Erbschmelzungsart. Dabei liegen die Werte für Bleche mit höheren Gehalten an den übrigen Begleitelementen, hauptsächlich Stickstoff, am oberen Rand, die mit niedrigen Gehalten am unteren Rand. Die Unterschiede zwischen den Blechen aus unruhigem und beruhigtem Stahl beruhen zum Teil darauf, daß die Alterung bei den Blechen aus unruhigem Stahl stärker ist, so daß Streckgrenze und

³⁾ Rowland, D. H.: Trans. Amer. Soc. Metals 40 (1948) S. 983/1011.

⁴⁾ Erörterungsbeitrag zu Funke jr., P., u. W. Lueg: Stahl u. Eisen 79 (1959) S. 1398/411 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 826, u. Kaltwalzaussch. 59).

Zugfestigkeit stärker mit der Zeit ansteigen. Zum Teil dürften sie aber auch auf Blockseigerungen bei den unberuhigten Stählen zurückzuführen sein, da dann der wesentlich höhere Kohlenstoffgehalt im Kern dieser Bleche Streckgrenze und Zugfestigkeit deutlich erhöht⁴). Für die Streckgrenze und Zugfestigkeit der warm gewalzten und normalgeglühten Bleche gelten ähnliche Gesetzmäßigkeiten, doch steigen die Werte für die Bleche aus unberuhigtem Stahl hier nicht so stark mit dem Kohlenstoffgehalt an, so daß die Streckgrenze dieser Bleche nur bei sehr niedrigen Kohlenstoffgehalten in den für die kalt gewalzten Bleche aus unberuhigtem Stahl gefundenen Streubereich fallen, bei höheren

- unberuhigter Stahl, kalt gewalzt
- beruhigter Stahl, kalt gewalzt
- + unberuhigter Stahl, warm gewalzt
- × beruhigter Stahl, warm gewalzt

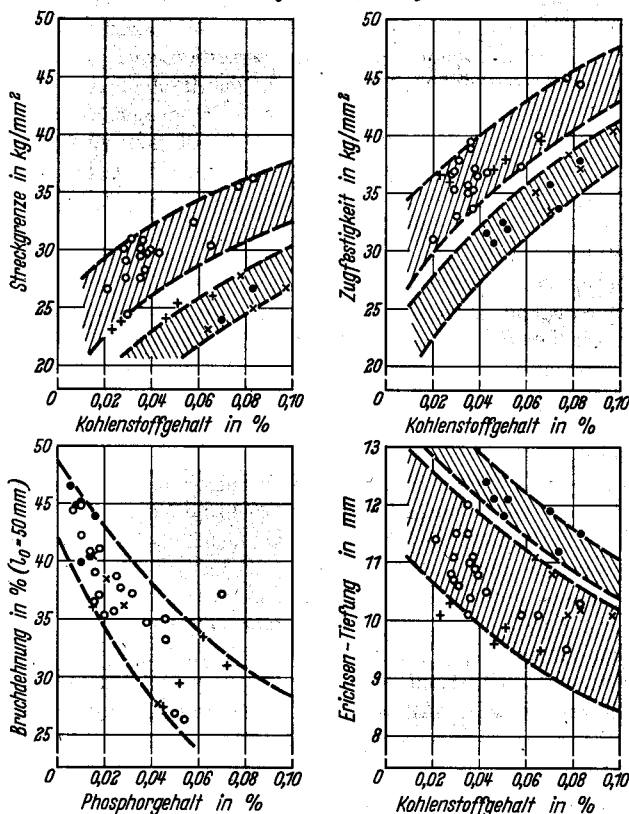


Bild 3. Einfluß des Kohlenstoff- und Phosphorgehaltes auf die mechanischen Eigenschaften der etwa 1/2 Jahr natürlich gealterten unverzinkten Bleche

Kohlenstoffgehalten dagegen in dem der Bleche aus beruhigtem Stahl liegen. Man darf vermuten, daß diese Unterschiede zwischen den warm und kalt gewalzten Blechen auf den Einfluß des Nachwalzens zurückzuführen sind, da die geringe Kaltverfestigung, verbunden mit der etwas größeren Alterungsneigung, Streckgrenze und Zugfestigkeit erhöht.

Die Bruchdehnung wird vom Kohlenstoffgehalt weniger beeinflusst. Sie nimmt zwar mit der Zugfestigkeit, d. h. also auch mit steigendem Kohlenstoffgehalt, ab, doch überwiegt hier die Wirkung von Elementen, die im Ferrit als Substitutionsmischkristall gelöst sind. So wird die Bruchdehnung vor allem durch Phosphor stark herabgesetzt. Trägt man die Bruchdehnung in Abhängigkeit vom Phosphorgehalt auf, so liegen alle Werte mit einer Ausnahme des kalt gewalzten Bleches 14 aus dem Siemens-Martin-Stahl mit erhöhtem Phosphorgehalt in einem gemeinsamen Streubereich (Bild 3).

Die Erichsen-Tiefung wird sowohl von der Festigkeit als auch vom Dehnungsvermögen des Bleches bestimmt. Sie nimmt mit steigender Zugfestigkeit, also mit steigendem Kohlenstoffgehalt ab. Sie liegt bei Blechen aus unberuhigtem Stahl deutlich niedriger als bei Blechen aus beruhigtem

Stahl, wie es die für die kalt gewalzten Bleche in Bild 3 eingezeichneten Streubereiche zeigen. Die Werte für warm gewalzte Bleche liegen im allgemeinen noch etwas niedriger, was auf ihre rauhere Oberfläche zurückzuführen ist, die ein Nachfließen beim Tiefungsversuch nach Erichsen hemmt und leichter zu Anrissen führt.

Diese Ergebnisse zeigen, daß bei jeweils annähernd gleichen Walz- und Glühbedingungen Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung und die Erichsen-Tiefung im wesentlichen durch die chemische Zusammensetzung der Bleche festgelegt werden. Der Einfluß des Gefüges, also der Korngröße des Ferrits und der Ausbildungsform des Zementits oder Perlits, tritt demgegenüber bei den unverzinkten und bei Raumtemperatur natürlich gealterten Blechen zurück. Durch die künstliche Alterung beim Verzinken werden Streckgrenze und Zugfestigkeit erhöht und die Bruchdehnung erniedrigt, wie Bild 4 zeigt. Hier sind die ebenfalls nach einem halben bis drei Viertel Jahr gemessenen mechanischen Eigenschaften der verzinkten Bleche in Abhängigkeit von der Tauchdauer für zwei Zinkbadtemperaturen aufgetragen. Zum Vergleich sind jeweils die entsprechenden Werte für die unverzinkten Bleche als Anfangswerte mit eingezeichnet. Man sieht, daß der Verlauf von Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Tauchdauer bei den einzelnen Blechen sehr unterschiedlich ist. Bei den Blechen aus unberuhigtem Stahl durchlaufen diese Kurven Höchstwerte für Streckgrenze und Zugfestigkeit und entsprechende Tiefstwerte für die Bruchdehnung, ähnlich wie es in Bild 2 für den Alterungsablauf skizziert ist. Bei den Blechen aus beruhigtem Stahl treten die Höchst- und Tiefstwerte im Versuchszeitraum noch nicht auf; aus dem Kurvenverlauf läßt sich aber entnehmen, daß sie hier auch nach längeren Versuchszeiten noch zu erwarten sind. Die Höchst- und Tiefstwerte werden um so schneller erreicht, je höher die Temperatur des Zinkbades ist, und zwar bei Stählen mit höheren Gehalten an im Ferrit gelöstem Stickstoff am schnellsten. So liegt der Höchstwert bei den Blechen aus unberuhigtem Thomasstahl (Bleche 3 und 28) je nach Temperatur zwischen etwa 15 und 25 s, bei den Blechen aus unberuhigtem Siemens-Martin-Stahl (Blech 15) zwischen 40 und 50 s und bei den Blechen aus beruhigten Stählen, bei denen der Stickstoff an Aluminium gebunden ist, bei noch längeren Versuchszeiten, die hier nicht mehr erfaßt werden (Bleche 21, 22, 32 und 35). Ein höherer Phosphorgehalt verschiebt den Höchstwert ebenfalls zu kürzeren Zeiten, wie es der Vergleich der Kurven für die Bleche 14 und 31 mit denen des Bleches 15 zeigt. Für den Ablauf der künstlichen Alterung gelten also die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie für die natürliche Alterung bei Raumtemperatur, nur daß sie eine wesentlich höhere Geschwindigkeit hat.

Für die Beurteilung von Blechen, die verzinkt werden sollen, ist der nach dem Verzinken bleibende Unterschied der mechanischen Eigenschaften, in Bild 2 der Unterschied zwischen D_1 und D_2 oder D_3 , D_4 und D_5 , wichtiger als die Geschwindigkeit des Ablaufs der künstlichen Alterung. Dieser Unterschied der mechanischen Eigenschaften zwischen dem unverzinkten und verzinkten Zustand hängt sehr stark vom Gefüge des Bleches ab. Der bereits früher festgestellte Befund¹⁾ wird also durch die neuen Untersuchungen bestätigt. Auch hier steigen, wie Bild 5 zeigt, Streckgrenze und Zugfestigkeit von kalt gewalzten Blechen durch das Verzinken um so stärker an und nehmen die Bruchdehnung und Erichsen-Tiefung um so mehr ab, je größer der Zementit in den Blechen ausgeschieden ist. Weiterhin wird die Streckgrenze und die Zugfestigkeit bei den kalt gewalzten Blechen aus beruhigtem Stahl stärker geändert als die der kalt gewalzten Bleche aus

unberuhigtem Stahl. Man kann annehmen, daß dieser Unterschied zwischen den Blechen aus unberuhigtem und beruhigtem Stahl darauf zurückzuführen ist, daß die unverzinkten Bleche aus unberuhigtem Stahl stärker altern, so daß hier der Unterschied zwischen unverzinktem und verzinktem Zustand geringer wird. Bruchdehnung und die

Erichsen-Tiefung nehmen durch das Verzinken für Bleche aus beruhigtem und unberuhigtem Stahl in etwa gleichem Umfang ab. Eine Unterteilung wie bei der Streckgrenze und Zugfestigkeit ist hier nicht zu beobachten.

Für die warm gewalzten Bleche und die verzinkten Bänder läßt sich keine ähnliche Reihe aufstellen, da hier die

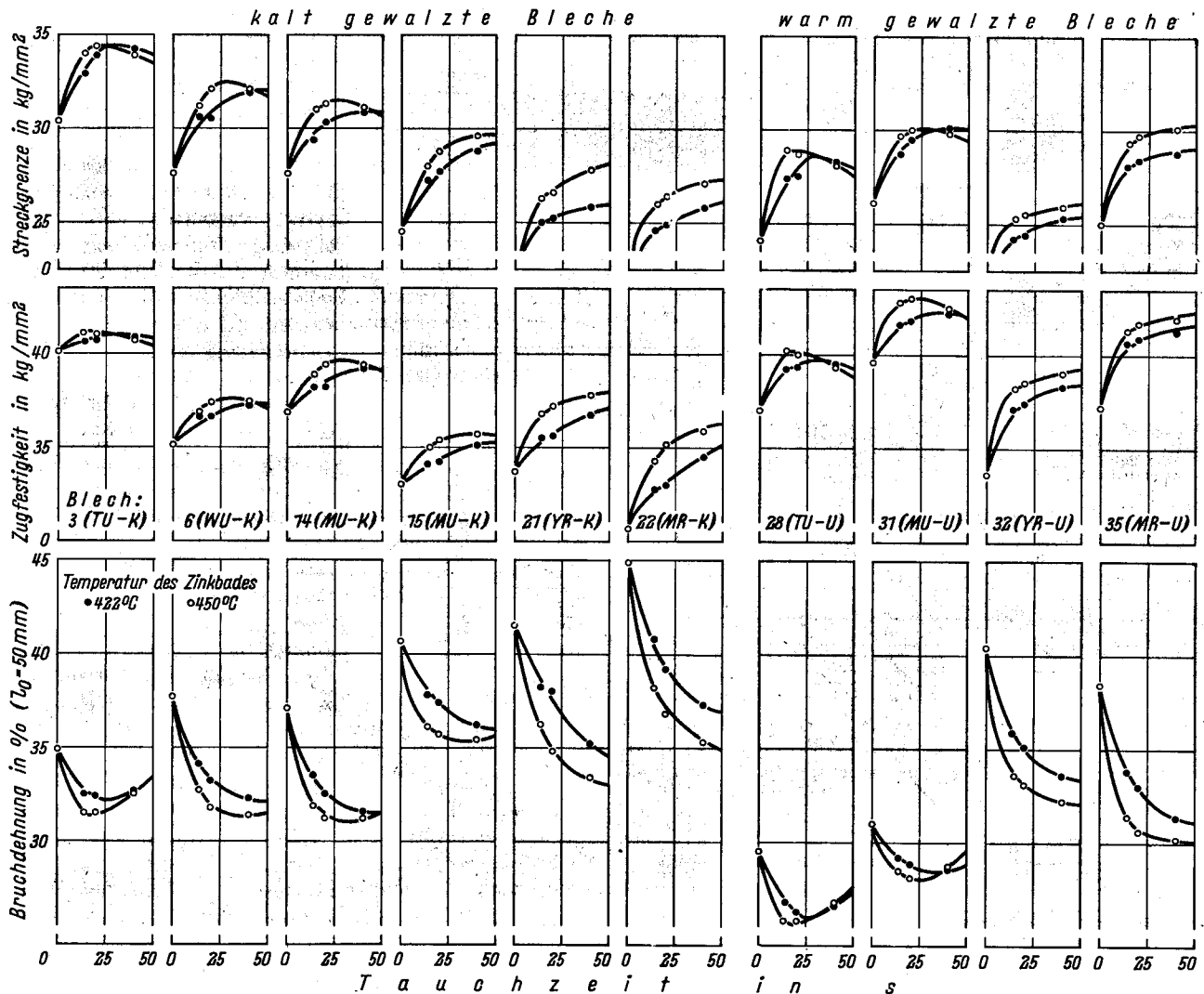


Bild 4. Einfluß der Tauchzeit auf Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung der verzinkten Bleche bei verschiedenen Temperaturen

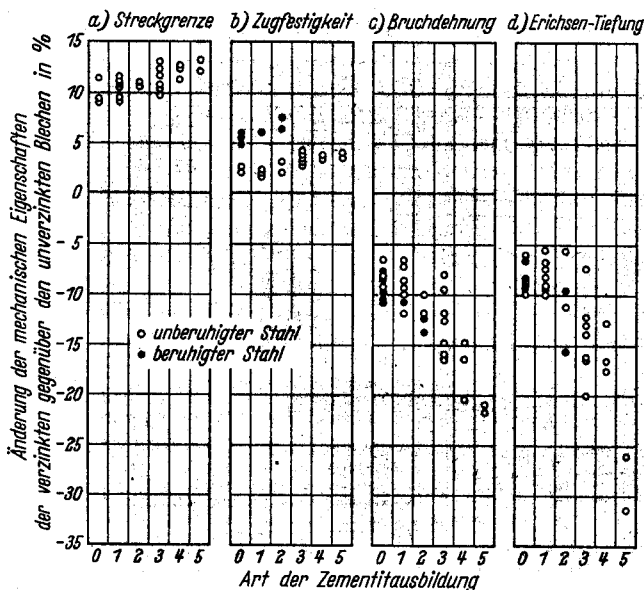


Bild 5. Einfluß der Ausbildung des Zementits in kalt gewalzten Blechen auf die Veränderung der mechanischen Eigenschaften durch das Verzinken (20 s bei 430 °C)

Formen des Zementits, also Perlit, Korngrenzzenementit und Mischformen zwischen beiden, zu verschieden sind. Aus den Ergebnissen läßt sich jedoch entnehmen, daß die durch das Verzinken hervorgerufenen Veränderungen größer werden, wenn die Korngröße des Ferrits zunimmt und ein wesentlicher Anteil des Zementits als Korngrenzzenementit vorliegt. Im ganzen gesehen verändern sich die mechanischen Eigenschaften der warm gewalzten Bleche etwa um den gleichen Betrag wie die der kalt gewalzten. Nur die Erichsen-Tiefung fällt bei den warm gewalzten Blechen weniger ab. Dies dürfte auf die Schmierwirkung des Zinküberzuges zurückzuführen sein, die das schlechtere Gleiten bei den unverzinkten Blechen ausgleicht, so daß dadurch die Unterschiede geringer werden.

Ein Vergleich der mechanischen Eigenschaften der verzinkten Bänder mit den aus dem gleichen Stahl hergestellten Blechen zeigt, daß Streckgrenze und Zugfestigkeit deutlich höher und Bruchdehnung und Erichsen-Tiefung deutlich tiefer liegen. Dieser Unterschied dürfte auf die verschiedenen Glühverfahren, d. h. kurzes Normalglühen mit nachfolgendem schnellerem Abkühlen beim Verzinken von Band und langes Weichglühen mit sehr langsamem

Abkühlen bei den kalt gewalzten Blechen, zurückzuführen sein.

Beim Verarbeiten verzinkter Bleche und Bänder kann sich diese Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Blechwerkstoffes, die im wesentlichen auf einer Veränderung der Eigenschaften der ferritischen Grundmasse beruht, störend bemerkbar machen und dazu führen, daß die Bleche beim Falzen und Tiefziehen einreißen. Die Zusammen-

stellung in Bild 6 zeigt, wie stark sich die Ausbildung des Zementits in kalt gewalzten und verzinkten Blechen beim Falzen mit Falzmaschinen und Tiefziehen auf einer Drei-Stufen-Presse bemerkbar macht. Die Bleche mit sehr fein verteiltem Zementit halten sehr starke Beanspruchung aus; das Verhalten der Bleche wird um so schlechter, je größer der Zementit in ihnen ausgeschieden ist. Die hier für kalt gewalzte verzinkte Bleche wiedergegebene Abhängigkeit gilt

auch für warm gewalzte Bleche und für verzinkte Bänder. Die Gefahr eines Brechens des Blechwerkstoffes ist auch hier größer, wenn sich die mechanischen Eigenschaften beim Verzinken stärker verändern. Dabei muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß Ausfälle dieser Art sehr häufig auch durch ein un-zweckmäßig gebautes Falz- und Ziehwerkzeug verursacht werden, so daß der Grund des Versagens nicht von vornherein im Gefüge des Bleches zu suchen ist.

Während bis jetzt die Eigenschaften der Bleche betrachtet wurden, wie sie sich nach längerem Auslagern bei Raumtemperatur einstellen, soll noch kurz auf den Ablauf der natürlichen Alterung unverzinkter und verzinkter Bleche eingegangen werden, also auf den Verlauf der Kurven $A-D_1$, B_1-D_2 usw. nach Bild 2. Da die natürliche Alterung bei Blechen aus mit Aluminium beruhigten Stählen

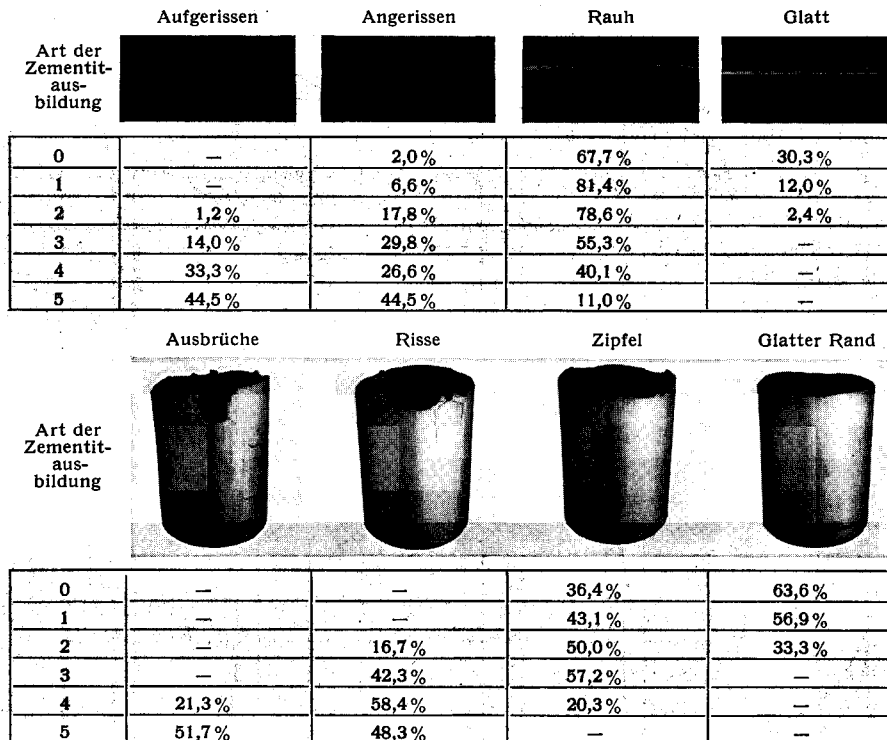


Bild 6. Einfluß der Ausbildung des Zementits auf das Verhalten kalt gewalzter verzinkter Bleche beim Falzen und Tiefziehen

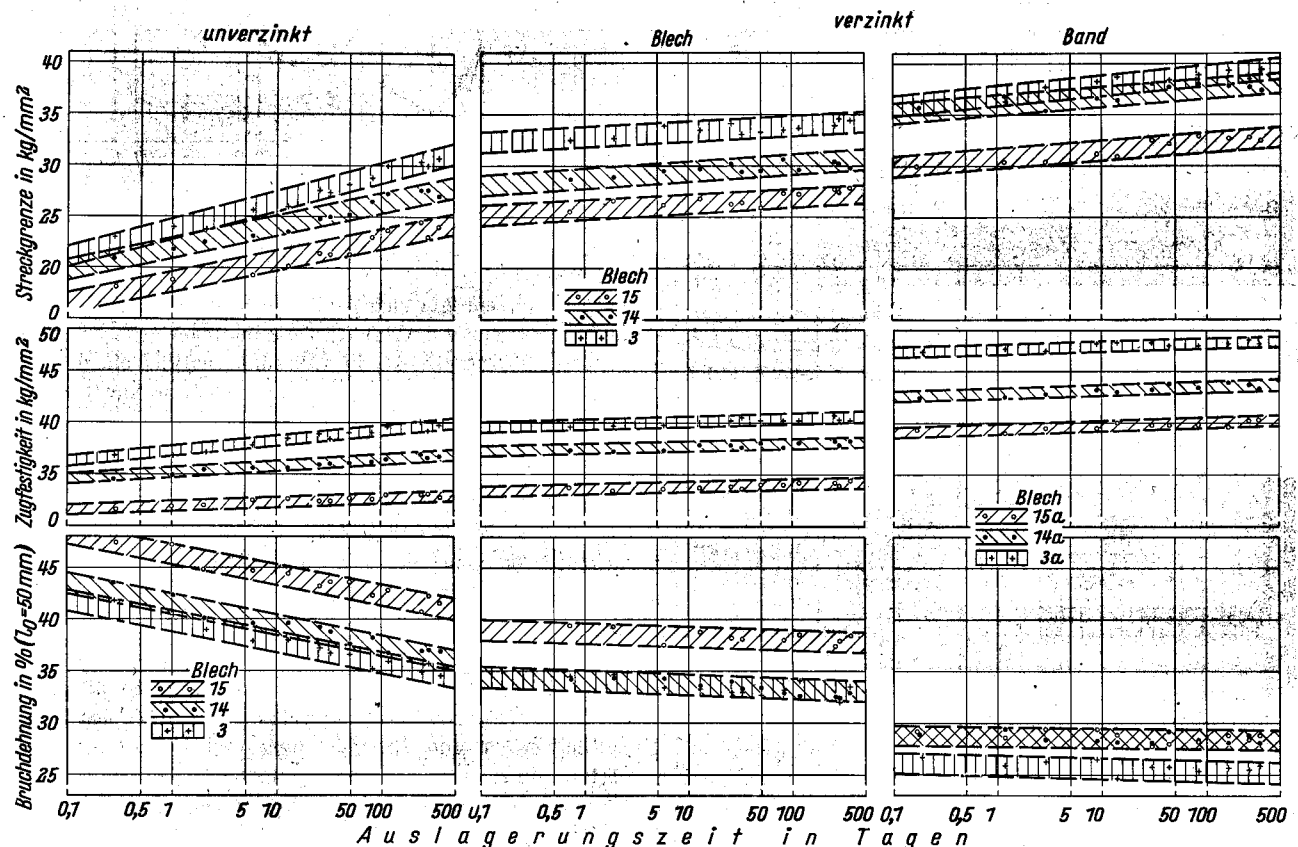


Bild 7. Änderung der mechanischen Eigenschaften kalt gewalzter Bleche und Bänder durch Auslagern bei Raumtemperatur

nur gering ist und sich nur unwesentlich auf die mechanischen Eigenschaften auswirkt, wurde der Verlauf dieser Kurven nur bei einigen Blechen aus unberuhigtem Stahl bestimmt. In Bild 7 sind die nach verschiedenen Zeiten gemessenen Werte für Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Auslagerungszeit aufgetragen, und zwar in Bild 7a für unverzinkte Bleche, in Bild 7b für verzinkte Bleche (20 s, 430 °C) und in Bild 7c für verzinkte Bänder (6 s, 450 °C). Es handelt sich dabei um Blech 3 aus Thomasstahl, Blech 15 aus Siemens-Martin-Stahl und Blech 14 aus dem Siemens-Martin-Stahl mit absichtlich erhöhtem Phosphorgehalt. Der Zeitmaßstab ist in diesen Bildern logarithmisch gewählt, um sehr kurze und sehr lange Zeiten in einem Bild darstellen zu können. Man sieht aber, daß Streckgrenze und Zugfestigkeit in erster Näherung bis zu Versuchszeiten von etwa einem Jahr logarithmisch mit der Zeit ansteigen und die Bruchdehnung in gleicher Weise abnimmt. Ähnliche Befunde für die zeitliche Änderung der mechanischen Eigenschaften kalt gewalzter Bleche sind bereits von F. Listhuber⁵⁾ und S. Tesima, M. Shimizu und M. Ide⁶⁾ festgestellt worden. Sie gestatten es, die Größe dieser Änderungen in diesem Auslagerungszeitraum abzuschätzen.

Der Anstieg von Streckgrenze und Zugfestigkeit und die Abnahme der Bruchdehnung ist bei den unverzinkten Blechen am stärksten, da bei den verzinkten Blechen der Alterungsvorgang schon beim Verzinken zum größten Teil abgelaufen ist. Ferner sind die Eigenschaften bei dem Blech aus Thomasstahl am meisten und bei dem aus dem sauberen Siemens-Martin-Stahl am wenigsten verändert. Der Einfluß des Stickstoffgehaltes und daneben auch der des Phosphorgehaltes werden also in Bild 7 besonders gut sichtbar. Der Einfluß des Gefüges der Bleche auf die beim Verzinken eintretende künstliche Alterung, die dazu führt, daß sich die mechanischen Eigenschaften bei den einzelnen Blechen verschieden stark verändern, bedingt, daß die Streubereiche der Eigenschaften verschiedener Bleche im verzinkten Zustand zusammenfallen. Das gilt vor allem für die Bruchdehnung, auf die sich die künstliche Alterung am stärksten auswirkt. Bild 7 zeigt die durch das Verzinken eingetretene Erhöhung der Streckgrenze und Zugfestigkeit und die Abnahme der Bruchdehnung besonders deutlich. Das gilt vor allem für die verzinkten Bänder.

Die Eigenschaften der Zinküberzüge

In aluminiumhaltigen Zinkbädern kann die Bildung von Legierungsschichten durch das Aluminium für eine bestimmte Zeit unterdrückt werden. Dadurch bilden sich je nach den vorliegenden Verhältnissen sehr unterschiedlich aufgebaute Zinküberzüge, deren Dicke und Eigenschaften sehr verschieden sind. Von entscheidendem Einfluß auf diese Hemmwirkung des Aluminiums und die Entstehungsbedingungen der sich bildenden verschiedenen Zwischenschichten sind neben dem Aluminiumgehalt des Zinkbades die Temperatur und die Tauchdauer⁷⁾ bis¹⁴⁾. Daneben können aber auch die chemische Zusammensetzung und der Oberflächenzustand des Stahles auf diese Vorgänge einwirken. Bei reinem Eisen mit sauberer Oberfläche wird bei genügend hohen Alumi-

niumgehalten zunächst eine festhaftende dünne Schicht einer Eisen-Aluminium-Verbindung gebildet, meistens Fe_2Al_3 , die die Reaktion des Zinks mit dem Eisen verhindert. Nach einer bestimmten Zeit wandelt sich diese Schicht unter Bildung von zunächst ternären Eisen-Aluminium-Zink-Verbindungen in die sonst üblichen Eisen-Zink-Legierungsschichten um. Für den Verzinker ist es daher wichtig zu wissen, welche Art der Legierungsschicht bei seinen vorgegebenen Verhältnissen ausgebildet wird und wie er den Ablauf des Verzinkens ändern muß, um bestimmte Legierungsschichten zu erhalten.

Aus den Ergebnissen der an Weicheisen mit sauberer Oberfläche durchgeführten Laborversuche¹²⁾ können in Bild 8 wiedergegebene Kurven abgeleitet werden, die für

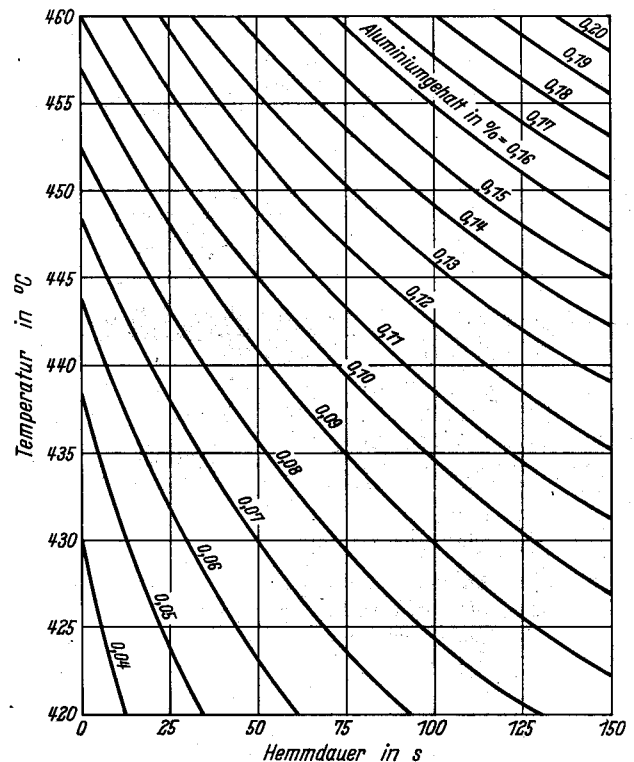


Bild 8. Dauer der Hemmwirkung von Aluminium in Zinkbädern auf die Bildung von Legierungsschichten auf Stahlblech bei verschiedenen Temperaturen

den jeweiligen Aluminiumgehalt die Hemmdauer, d. h. die Zeit, in der die Bildung dickerer Eisen-Zink-Legierungsschichten unterdrückt wird, für verschiedene Temperaturen angeben. Die Hemmdauer ist um so länger, je höher der Aluminiumgehalt des Zinkbades ist, und wird mit steigender Temperatur kürzer, so daß von einer bestimmten Temperatur an bei gegebenem Aluminiumgehalt keine Hemmwirkung mehr auftritt, sich also sofort Eisen-Zink-Legierungsschichten bilden. Das bedeutet, daß man die Art der Legierungsschicht sowohl durch den Aluminiumgehalt als auch durch die Temperaturerhöhung oder -erniedrigung und durch die Tauchzeit wahlweise beeinflussen kann. Ist zum Verzinken eines bestimmten Stückes z. B. eine Tauchdauer von 25 s erforderlich und will man einen Überzug ohne nennenswerte Legierungsschicht erzeugen, so ist das bei einem Aluminiumgehalt von 0,10% noch bis zu Temperaturen von etwa 450 °C möglich, enthält das Zinkbad aber nur 0,06% Al, so darf die Temperatur 430 °C nicht überschreiten. Will man umgekehrt schon mit dieser Tauchzeit dickere Eisen-Zink-Legierungsschichten erhalten, so genügt bei 0,06% Al im Zinkbad eine Temperatursteigerung auf über 435 °C, bei 0,10% Al muß man dagegen bei Temperaturen über 455 °C verzinken. Kann außerdem auch noch die Tauchdauer in einem bestimmten Bereich frei gewählt werden, so ergeben sich weitere Möglich-

⁵⁾ Berg- u. hüttenm. Mh. 106 (1962) S. 422/24.

⁶⁾ Tetsu to Hagané 46 (1960) Nr. 3, S. 422/24; vgl. Stahl u. Eisen 82 (1962) S. 357/60.

⁷⁾ Bablik, H., F. Götzl u. R. Kukaczka: Korrosion u. Metallsch. 18 (1942) S. 222/26.

⁸⁾ Bablik, H., F. Götzl u. R. Kukaczka: Korrosion u. Metallsch. 21 (1945) S. 1/9.

⁹⁾ Hughes, M. L.: J. Iron Steel Inst. 166 (1950) S. 77/84.

¹⁰⁾ Hughes, M. L.: Intern. conf. on hot dip galvanizing at Copenhagen. Oxford 1951.

¹¹⁾ Houghton, M. A.: Intern. conf. on hot dip galvanizing at Düsseldorf. Oxford 1953.

¹²⁾ Horstmann, D.: Arch. Eisenhüttenwes. 27 (1956) S. 297/302 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 664, u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 22).

¹³⁾ Sebiest, J. J., u. J. O. Edwards: Proc. 5 Intern. conf. on hot dip galvanizing. London 1959.

¹⁴⁾ Cameron, D. J., u. M. K. Ormay: Proc. 6 Intern. conf. on hot dip galvanizing. London 1961.

keiten, die aus dem Verlauf dieser Kurven abgelesen werden können.

Ähnliche Verhältnisse gelten auch beim Verzinken von Blechen, doch beobachtet man hier nur bei höheren Aluminiumgehalten, etwa von 0,15% Al an, eine sehr dünne Fe_2Al_5 -Schicht, die die Bildung von Eisen-Zink-Legierungsschichten hemmt. Bei niedrigeren Aluminiumgehalten bilden

Hemmdauer abzuschätzen. Es zeigt sich nämlich in allen drei Fällen, daß etwa 0,02% Al durch diese Eisensalze verbraucht werden, die Hemmdauer also um eine diesem Aluminiumanteil entsprechende Zeit verkürzt wird. So treten bei den im Werk A in einem Zinkbad mit 0,07% Al verzinkten Blechen die dünnen krustenartigen Legierungsschichten, die die Bildung dickerer Eisen-Zink-Legierungsschichten unterdrücken, nur so lange auf, bis die Kurve der Hemmdauer bei reinem Eisen für 0,05% Al überschritten wird, wie es die eingezeichneten Kreise zeigen, die diese Art der Legierungsschicht andeuten. Das gleiche gilt auch für die in Zinkbädern mit 0,08 und 0,12% Al verzinkten Bleche (Werk B und C), wo die Tauchzeit nicht länger sein darf, als es den betreffenden Kurven für 0,06 und 0,10% Al entspricht. Werden auch die für den Aluminiumgehalt des Zinkbades geltenden Kurven (also die oberen eingezeichneten Kurven) überschritten, so ist die Hemmwirkung restlos zusammengebrochen, und es haben sich an der gesamten Blechoberfläche dickere Eisen-Zink-Legierungsschichten gebildet, die als Punkte angegeben sind. In dem dazwischen liegenden schraffiert gezeichneten Bereich tritt die Hemmwirkung nur örtlich nicht mehr auf, und man beobachtet das durch die halb gefüllten Kreise angedeutete Mischgefüge der Legierungsschicht.

Das Auftreten dünner und auch dickerer Legierungsschichten bei verzinkten Bändern mag zunächst verwundern, wenn man die hier im allgemeinen geltenden Bedingungen mit den in Bild 8 wiedergegebenen Kurven der Hemmdauer vergleicht; denn bei dem verhält-

nismäßig hohen Aluminiumgehalt von rd. 0,15% sollten bei Zinkbadtemperaturen um 450 °C und einer Tauchdauer von etwa sechs Sekunden nur sehr dünne, im Schliffbild nicht

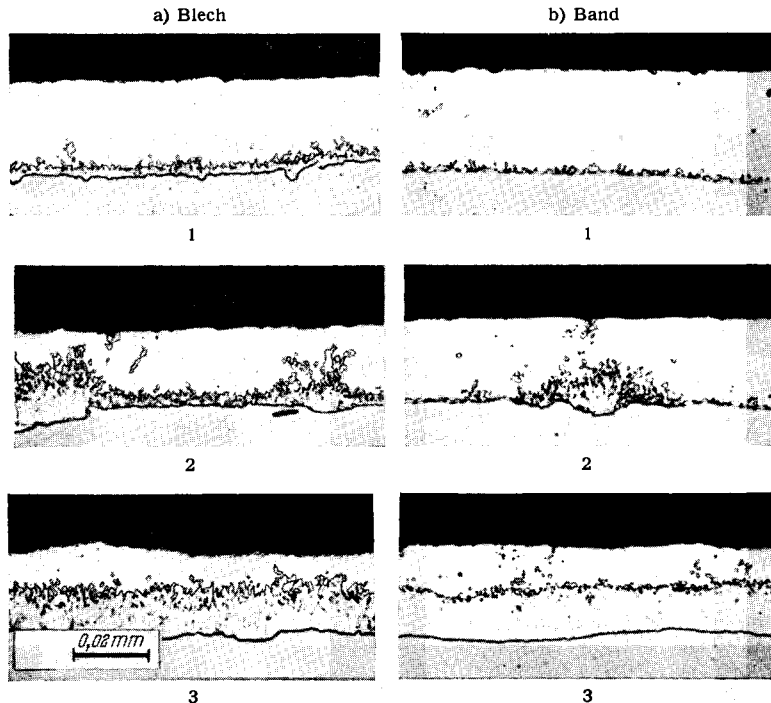


Bild 9. Ausbildungsformen der Legierungsschicht (400:1, Original 500:1)

die am Blech haftenden Eisensalze an Stelle dieser Fe_2Al_5 -Deckschicht eine krustenartige, aber mit dem Blech fest verwachsene Schicht einer ternären Eisen-Aluminium-Zink-Verbindung (B1 nach D. C. Cameron und M. K. Ormay¹⁴), die aber ebenfalls die Reaktion zwischen Zinkschmelze und Blech für eine bestimmte Zeit unterdrückt (Bild 9a, Ausbildungsform 1). Nach dem Zusammenbrechen der Hemmwirkung bilden sich dann zunächst örtlich (Bild 9a, Ausbildungsform 2) und dann auf der ganzen Blechoberfläche (Bild 9a, Ausbildungsform 3) durch Umwandlungsvorgänge dickere Eisen-Zink-Legierungsschichten. Bei verzinkten Bändern beobachtet man ähnliche Ausbildungsformen der Legierungsschicht (Bild 9b), wobei sich die Form 1, die weitaus am häufigsten auftritt, von der entsprechenden der Bleche allerdings dadurch unterscheidet, daß sie nur aus einzelnen Kristallen besteht, die meist durch Zwischenräume voneinander getrennt sind. Die beiden anderen Formen beobachtet man nur gelegentlich bei dickeren Bändern. Bei den bei diesen Versuchen verzinkten 1 mm dicken Bändern treten sie nicht auf.

Beim Blechverzinken hält durch die anhaftenden Eisensalze außerdem die Hemmwirkung des Aluminiums auch nicht so lange an wie beim Verzinken sauberer Eisenoberflächen im Laboratoriumsversuch, so daß man hier eine Verkürzung der Hemmdauer berücksichtigen muß. In Bild 10 sind die bei den einzelnen Blechen auftretenden Arten der Legierungsschicht für verschiedene Tauchzeiten und Zinkbadtemperaturen aufgetragen. Gleichzeitig sind hier aus dem Bild 8 entnommene Kurven für die Hemmdauer bei reinen Oberflächen für jeweils zwei Aluminiumgehalte mit eingezeichnet, so daß man die an reinem Eisen gewonnenen Erkenntnisse mit diesen unter Betriebsverhältnissen erhaltenen vergleichen kann. Man sieht, daß zwischen beiden enge Zusammenhänge bestehen, die es gestatten, die durch die Eisensalze bewirkte Verkürzung der

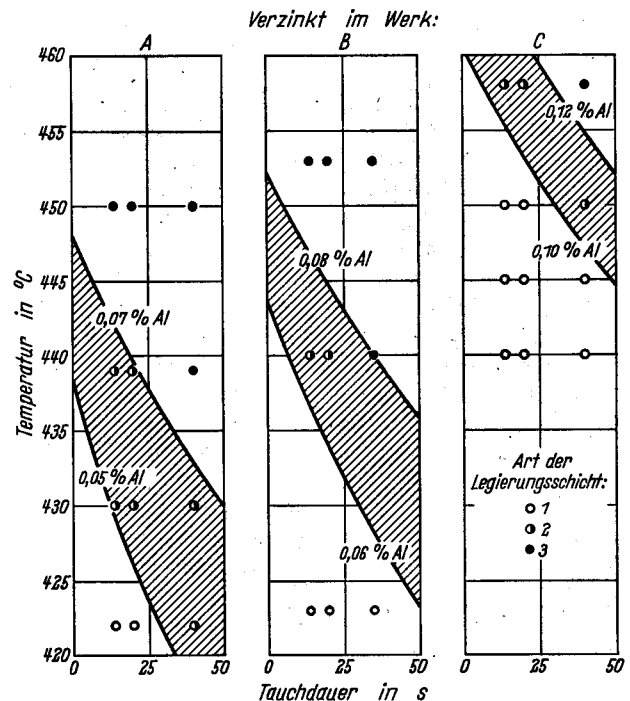


Bild 10. Art der Legierungsschicht der bei verschiedenen Temperaturen und mit verschiedenen Tauchzeiten verzinkten Bleche

sichtbare Fe_2Al_5 -Schichten entstehen, da die Bandoberfläche sehr rein ist und keine Eisensalze darauf haften. Die in den Bildern 9b wiedergegebenen dickeren Legierungsschichten können entstehen, weil entsprechend der besonderen Eigenart des Verfahrens beim Bandverzinken,

im Gegensatz zur Blechverzinkung, das zu verzinkende Band beim Einlauf eine höhere Temperatur als das Zinkbad hat. Dadurch reicht sogar ein Aluminiumgehalt von 0,15% im Augenblick des Einlaufens des Bandes in das Zinkbad nicht aus, die Bildung von Eisen-Zink-Verbindungen

Legierungsschichten entstehen, der Reaktionsart II, wenn zunächst eine Hemmwirkung eintritt, die aber während des Verzinkens zusammenbricht, so daß sich zunächst örtlich, nach längeren Zeiten aber auch überall dickere Legierungsschichten bilden, und der Reaktionsart III, wenn der

Aluminiumgehalt so niedrig ist, daß überhaupt keine Hemmwirkung eintritt und sich sofort dickere Legierungsschichten bilden. In Bild 11 sind Zinkauflagen der in den Werken A, B und C verzinkten Bleche für diese drei Reaktionsarten getrennt in Abhängigkeit von der Tauchdauer wiedergegeben. Als Tauchdauer ist bei den Reaktionsarten I und III die gesamte Zeit, die das Blech im Zinkbad war, gewählt. Bei der Reaktionsart II ist dagegen nur die Zeit als Tauchdauer gerechnet, die nach dem Zusammenbrechen der Hemmwirkung von der gesamten Zeit übrigbleibt, also die Zeit zwischen dem Überschreiten der unteren Kurven in Bild 10 bis zum Herausziehen der Bleche,

weil erst nach diesem Zeitpunkt ein Wachsen dickerer Legierungsschichten und damit eine Zunahme der Zinkauflage über den sich im Bereich der Hemmung einstellenden Wert einsetzt.

ganz zu unterdrücken. Erst wenn die Bandtemperatur durch die Abkühlung im Zinkbad, die zwar sehr schnell erfolgt, weit genug abgesunken ist und die Bandoberfläche noch nicht vollständig mit Eisen-Zink-Verbindungen bedeckt ist, kann an den freiliegenden Stellen eine Hemmwirkung eintreten. Haben sich zu diesem Zeitpunkt aber schon auf der gesamten Blechoberfläche Eisen-Zink-Verbindungen gebildet, was dann möglich ist, wenn die Einlauftemperatur zu hoch oder, wie bei dickeren Bändern, der Wärmehalt des Bandes zu groß ist, so kann keine Hemmwirkung mehr eintreten, und es bilden sich dickere Eisen-Zink-Legierungsschichten. Die Schichtbildung kann man entweder durch Senken der Einlauftemperatur des Bandes bis auf eine Temperatur, die nur etwas über der des Zinkbades liegt, oder aber durch Erhöhen des Aluminiumgehaltes des Zinkbades vermeiden. Um sich ein Bild von den bei höheren Einlauftemperaturen benötigten Aluminiumgehalten machen zu können, sei hier nur angegeben, daß bei 500 °C bereits 0,25% Al benötigt werden, damit eine Hemmwirkung eintreten kann. Derartige Zahlen lassen sich aus den Ergebnissen der Untersuchungen über die Hemmwirkung des Aluminiums¹²⁾ und den zu höheren Temperaturen hin erweiterten Kurven in Bild 8 abschätzen.

Die Zinkauflage hängt bei verzinkten Blechen, wenn die Ausziehbedingungen gleich sind, nur von der Dicke der Legierungsschicht ab. Deshalb kann sie, je nachdem, ob sich eine dünne oder eine dickere Legierungsschicht bildet, sehr unterschiedlich sein. Daher ist es entscheidend, in welchem der in Bild 10 angegebenen Bereiche verzinkt worden ist. Man kann dabei drei Reaktionsarten unterscheiden, und zwar zwischen der Reaktionsart I, wenn die Hemmwirkung des Aluminiums voll wirksam ist und bleibt, also nur dünne

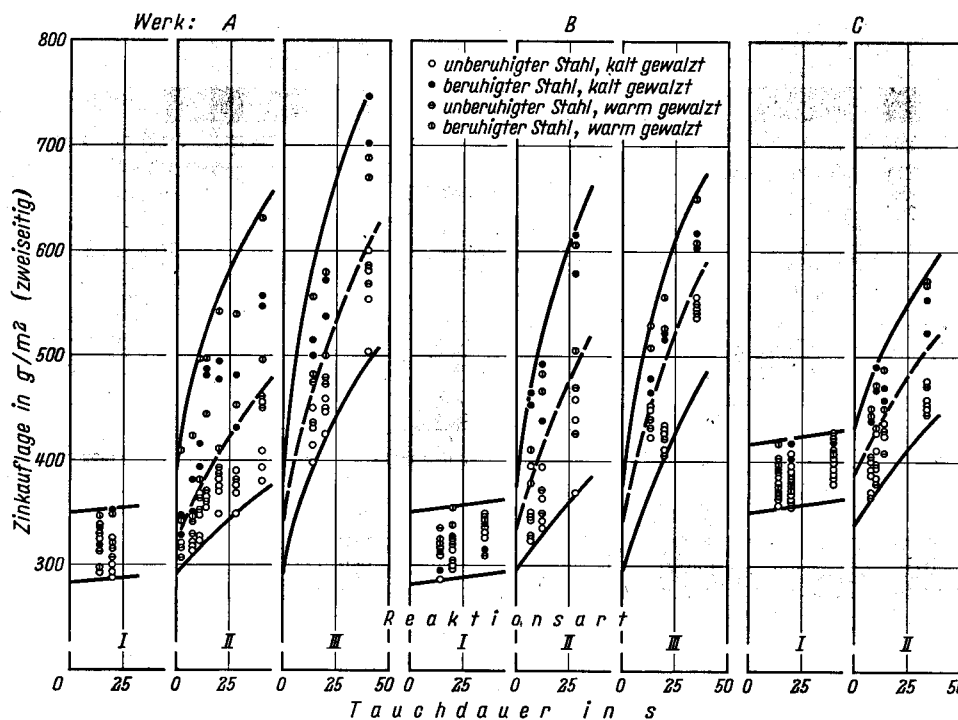


Bild 11. Abhängigkeit der Zinkauflage von der Tauchdauer bei verschiedenen Reaktionsarten

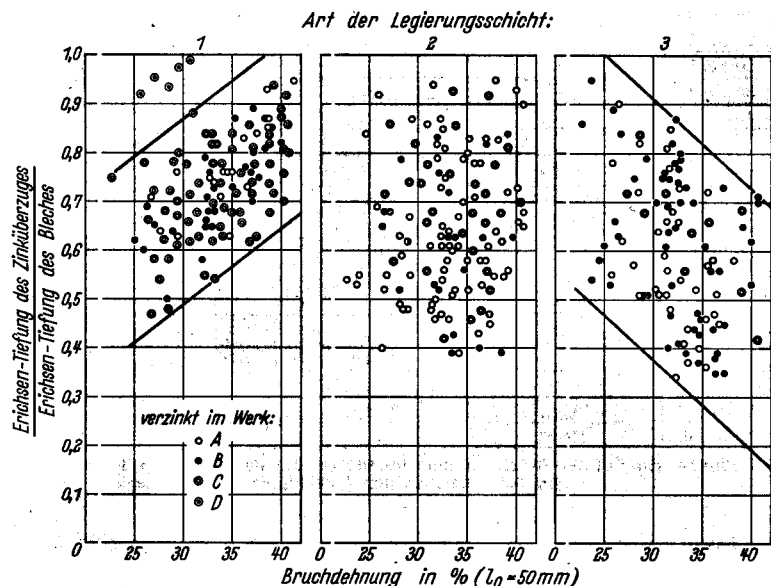


Bild 12. Abhängigkeit der Erichsen-Tiefung von der Bruchdehnung des Bleches

Bild 11 zeigt, daß die Zinkauflage bei der Reaktionsart I mit der Tauchdauer nicht wesentlich zunimmt. Die dünnen Legierungsschichten entstehen also sehr schnell und wachsen mit der Zeit kaum weiter. Ein Vergleich der Zinkauflagen der Bleche aus unberuhigtem und aus beruhigtem Stahl zeigt, daß bei der Reaktionsart I zwischen den beiden Gruppen keine eindeutigen Unterschiede bestehen. Die chemische Zusammensetzung des Stahls spielt hier also nur eine untergeordnete Rolle. Alle Werte liegen in einem

gemeinsamen Streubereich, der offensichtlich durch Oberflächeneinflüsse bedingt ist, die dazu führen, daß die Menge der anhaftenden Eisensalze, die bei dieser Reaktionsart die Dicke der Legierungsschicht im wesentlichen bestimmen, bei den einzelnen Blechen verschieden hoch ist.

samer als bei den Blechen aus beruhigtem Stahl, bei dem die Legierungselemente, vor allem Kohlenstoff, bis zur Oberfläche gleichmäßig verteilt sind. Bei den verzinkten Bändern, bei denen nur die Reaktionsart I auftritt, schwankt die Zinkauflage in sehr engen Grenzen um 300 g/m², da sie im

	Abgeblättert	Starke Risse	Leichte Risse	Rauh	Glatt	Art der Legierungsschicht
Bruchdehnung in % ($l_0 = 50$ mm)						
20 bis 25	66,7 %	33,3 %	—	—	—	1
25 bis 30	19,7 %	45,1 %	25,5 %	9,7 %	—	
30 bis 35	27,6 %	34,5 %	27,6 %	10,3 %	—	
35 bis 40	2,3 %	12,7 %	45,7 %	34,9 %	4,4 %	
40 bis 45	—	6,7 %	40,0 %	40,0 %	13,3 %	
20 bis 25	14,3 %	28,6 %	26,0 %	16,8 %	14,3 %	2
25 bis 30	9,1 %	21,2 %	36,4 %	33,3 %	—	
30 bis 35	22,2 %	22,2 %	33,3 %	21,1 %	1,2 %	
35 bis 40	13,7 %	38,0 %	29,3 %	19,0 %	—	
40 bis 45	7,3 %	30,8 %	15,4 %	38,5 %	7,7 %	
20 bis 25	—	—	33,3 %	50,0 %	16,7 %	3
25 bis 30	—	6,9 %	24,1 %	65,5 %	3,5 %	
30 bis 35	19,6 %	17,2 %	35,6 %	27,6 %	—	
35 bis 40	36,9 %	42,1 %	18,3 %	2,7 %	—	
40 bis 45	40,8 %	51,2 %	8,0 %	—	—	

Bild 13. Einfluß der Bruchdehnung des Bleches auf das Verhalten des Zinküberzuges beim Falzen bei den verschiedenen Ausbildungsarten der Legierungsschicht

	Abgeblättert	Risse	Rauh	Glatt	Art der Legierungsschicht
Bruchdehnung in % ($l_0 = 50$ mm)					
20 bis 25	66,7 %	33,3 %	—	—	1
25 bis 30	51,3 %	47,9 %	0,8 %	—	
30 bis 35	23,7 %	38,3 %	27,5 %	11,5 %	
35 bis 40	—	17,6 %	58,9 %	23,5 %	
40 bis 45	—	—	44,7 %	55,3 %	
20 bis 25	25,0 %	—	50,0 %	25,0 %	2
25 bis 30	34,1 %	31,3 %	25,4 %	9,2 %	
30 bis 35	15,4 %	51,3 %	3,7 %	29,6 %	
35 bis 40	43,1 %	10,4 %	34,3 %	12,2 %	
40 bis 45	33,8 %	18,4 %	45,5 %	2,3 %	
20 bis 25	—	—	40,0 %	60,0 %	3
25 bis 30	—	27,4 %	51,3 %	21,3 %	
30 bis 35	8,3 %	41,4 %	38,9 %	11,4 %	
35 bis 40	58,2 %	37,8 %	4,0 %	—	
40 bis 45	100 %	—	—	—	

Bild 14. Einfluß der Bruchdehnung des Bleches auf das Verhalten des Zinküberzuges beim Tiefziehen bei den verschiedenen Ausbildungsarten der Legierungsschicht

Bei den Reaktionsarten II und III nimmt die Zinkauflage dagegen mit längerer Tauchdauer erheblich zu, und zwar bei den Blechen aus beruhigtem Stahl schneller und stärker als bei Blechen aus unberuhigtem Stahl. Dieser Unterschied entsteht zum Teil dadurch, daß die Hemmwirkung nach dem Überschreiten der unteren Kurven des Bildes 10 bei den Blechen aus beruhigtem Stahl überall schneller zusammenbricht als bei Blechen aus unberuhigtem Stahl, wo sie örtlich noch längere Zeit bis zum Erreichen der oberen Kurve erhalten bleiben kann. Außerdem ist das Wachstum der dickeren Eisen-Zink-Legierungsschichten bei Blechen aus unberuhigtem Stahl mit der aus chemisch wesentlich reinerem Eisen bestehenden „Speckschicht“ an der Oberfläche lang-

wesentlichen durch die Arbeitsweise der Aus-tragwalzen bestimmt wird.

Es ist bereits festgestellt worden¹⁾, daß die Hafteigenschaften von Zinküberzügen beim Umformen durch Falzen und Ziehen sowohl vom Aufbau der Legierungsschicht als auch vom Dehnverhalten des Bleches abhängen. Es hat sich dabei gezeigt, daß bei einer dünnen Legierungsschicht (Art 1 nach Bild 9) dann der Zinküberzug besser am Blech haften bleibt, wenn die Bruchdehnung, die das Dehnverhalten in großen Zügen kennzeichnet, groß ist, und daß umgekehrt bei einer dickeren Legierungsschicht (Art 3 nach

Bild 9) der Zinküberzug bei geringer Bruchdehnung des Bleches besser haftet. Diese Ergebnisse konnten durch die Untersuchung bestätigt werden.

In Bild 12 ist das Verhältnis der Erichsen-Tiefung, bei der der Zinküberzug einreißt, zur Erichsen-Tiefung, bei der das Blech zu Bruch geht, in Abhängigkeit von der Bruchdehnung für die verschiedenen in Bild 9 wiedergegebenen Arten der Legierungsschicht aufgetragen. Man sieht, daß das Verhältnis bei dünnen Legierungsschichten der Art 1 mit zunehmender Bruchdehnung besser und bei dickeren Legierungsschichten (Art 3) schlechter wird. Im Bereich des Übergangs, wo dünne und dickere Legierungsschichten nebeneinander vorhanden sind (Art 2), läßt sich dement-

sprechend keine Abhängigkeit feststellen. Außer von der Art der Legierungsschicht und der Bruchdehnung des Bleches wird dieses Verhältnis der Erichsen-Tiefungen auch noch von der Dicke des Überzuges beeinflusst, in dem das Verhältnis mit zunehmender Dicke kleiner wird. Die Werte für dünnere Überzüge liegen daher am oberen, die für dickere Überzüge am unteren Rande der eingezeichneten Streubereiche, die durch den Einfluß der Dicke des Überzuges stark verbreitert werden. Bei den verzinkten Bändern ist das Verhältnis der Erichsen-Tiefungen deutlich besser, wie es die liegenden Kreuze im *Bild 12* zeigen. Der Verlauf dieser Kreuze läßt aber erkennen, daß auch hier die gleichen Gesetzmäßigkeiten vorliegen wie bei den verzinkten Blechen. Das bessere Verhalten der verzinkten Bänder dürfte darauf zurückzuführen sein, daß der Zinküberzug gleichmäßiger ist als bei Blechen.

Die gleiche Abhängigkeit des Haftvermögens der Zinküberzüge von der Ausbildung der Legierungsschicht und der Bruchdehnung der Bleche beobachtet man auch beim Umformen durch Falzen und Tiefziehen. Auch hier haftet ein Zinküberzug mit dünner Legierungsschicht (Art 1) besser, wenn die Bruchdehnung groß ist, und ein Zinküberzug mit dicker Legierungsschicht (Art 3) besser, wenn die Bruchdehnung klein ist, wie es die Zusammenstellungen in den *Bildern 13 und 14* zeigen, in denen die Anteile des in verschiedene Gruppen eingeteilten Aussehens der Zinküberzüge für die einzelnen Bruchdehnungsbereiche angegeben sind. Wenn man die Bruchdehnung des unverzinkten Bleches und ihre Veränderung beim Verzinken kennt, kann man also die Verzinkungsbedingungen so wählen, daß Legierungsschichten entstehen, die ein gutes Haften beim Umformen durch Falzen oder Tiefziehen gewährleisten.

Zusammenfassung

Bei der Beurteilung der Eigenschaften verzinkter Bleche und Bänder ist es wichtig, daß man die des Bleches und die des Zinküberzuges getrennt voneinander betrachtet. Die mechanischen Eigenschaften unverzinkter Bleche hängen bei annähernd gleichen Walz- und Glühbedingungen im wesentlichen von ihrer chemischen Zusammensetzung ab, und zwar besonders vom Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorgehalt. Diese Eigenschaften werden durch die beim Verzinken eintretende künstliche Alterung mehr oder weniger stark beeinflusst. Der Unterschied zwischen den Eigenschaften des unverzinkten und verzinkten Bleches ist vor allem durch das Gefüge bedingt. Er ist besonders groß, wenn der Zementit in groben Teilchen oder als Korngrenzenzementit ausgeschieden ist und die Korngröße des Ferrits groß ist.

Beim Verzinken in aluminiumhaltigen Zinkbädern können sich sehr verschiedene Legierungsschichten bilden. Die Art der entstehenden Legierungsschicht hängt vom Aluminiumgehalt des Zinkbades, der Zinkbadtemperatur und der Tauchdauer ab und kann durch diese drei Größen nach angegebenen Kurven gesteuert werden. Die Legierungsschicht bestimmt im Zusammenwirken mit den Dehneigenschaften des Bleches das Verhalten des Zinküberzuges beim Umformen. Die Untersuchungen zeigen, daß ein Zinküberzug mit dünner Legierungsschicht besser haftet, wenn die Bruchdehnung des Bleches groß ist, während umgekehrt Zinküberzüge mit dickerer Legierungsschicht dann besonders gut haften, wenn die Bruchdehnung des Bleches klein ist.

Durch Auswahl geeigneter Bleche und Einhalten bestimmter Verzinkungsbedingungen ist es daher möglich, für alle Zwecke verzinkte Bleche und Bänder herzustellen, die den an sie gestellten Anforderungen genügen.