

Der Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Gefüges von Stahl und Zinküberzug auf die Eigenschaften kalt gewalzter verzinkter Feinbleche

Von

Dietrich Horstmann in Düsseldorf

Mitteilung aus dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Abhandlung 906

[Bericht Nr. 81 des Kaltwalzausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute
und Bericht Nr. 40 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken]

Der Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Gefüges von Stahl und Zinküberzug auf die Eigenschaften kalt gewalzter verzinkter Feinbleche

Von Dietrich Horstmann in Düsseldorf

Mitteilung aus dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Abhandlung 906

[Bericht Nr. 81 des Kaltwalzausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute*) und Bericht Nr. 40 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken**)]

Untersuchungen über den Einfluß der Erschmelzungsart des Stahles, seiner chemischen Zusammensetzung und des Gefüges auf die Eigenschaften kalt gewalzter verzinkter Feinbleche. Die mechanischen Eigenschaften kalt gewalzter Feinbleche und ihre Veränderungen durch die beim Feuerverzinken eintretende kurzzeitige Anlaßwirkung. Der Gefügebau des Zinküberzuges und dessen Verhalten im Zusammenhang mit den vorgegebenen Eigenschaften des Blechwerkstoffes.

Die zunehmende Anwendung verzinkter Bleche in der Bau- und Fahrzeugindustrie¹⁾ und die Herstellung von Geschirr aus verzinktem Blech an Stelle des üblichen Verzinkens der Fertigwaren²⁾ hat dazu geführt, daß die Anforderungen beim Falzen, Pressen und Tiefziehen an diese Bleche immer größer werden. Dabei soll der Blechwerkstoff die angewendeten Umformungen ohne Schaden aushalten, der Zinküberzug fest am Blech haften bleiben und keine größeren Risse zeigen. Daher ist wichtig zu wissen, durch welche Größen die Güte verzinkter Bleche beeinflusst wird. In einer vorangegangenen Untersuchung³⁾, die sich nur mit dem Verhalten des Zinküberzuges beschäftigte, ist im Einklang mit anderen Versuchsergebnissen⁴⁾ gezeigt worden, daß der Zinküberzug auf kalt gewalzten Blechen besser haftet, wenn die Oberfläche des Bleches vor dem Verzinken leicht aufgeraut wird. Da Betriebsbeobachtungen⁴⁾ aber immer wieder zeigen, daß neben dieser Oberflächenrauheit auch andere Größen, wie die Erschmelzungsart des Stahles, seine chemische Zusammensetzung und das Gefüge die Eigenschaften sowohl des Bleches als auch des Zinküberzuges stark beeinflussen können, erschien es angebracht, diese Zusammenhänge näher zu untersuchen. Dabei sollten als Anfangspunkt zunächst die Eigenschaften des unverzinkten Bleches, dann ihre Veränderung durch die mit dem Feuerverzinken verbundene kurzzeitige Anlaßbehandlung und schließlich das Verhalten des Zinküberzuges bei verschiedenartiger Beanspruchung festgestellt werden.

Für die Untersuchung wurden aus kalt gewalzten Bändern geschnittene 1 mm dicke Bleche von 1 × 2 m² verwendet. Die verwendeten vier Güten bestanden aus unberuhigtem Thomasstahl (TU-K), unberuhigtem windgefrischtem Sonderstahl (WU-K), unberuhigtem und beruhigtem Sauerstoffaufblas-Stahl (YU-K, YR-K) und aus unberuhigtem und beruhigtem Siemens-Martin-Stahl (MU-K, MR-K). Der Nachwalzgrad der rekristallisierenden geglähten Bänder betrug bei den Bändern aus unberuhigtem Stahl 1,5 und bei den Bändern aus beruhigtem Stahl 1%. Die Oberflächenrauheit der Bleche schwankte in engen Grenzen, der arithmetische Mittenrauhwert R_a lag zwischen 0,8 und 1 μ . Außer diesen kalt gewalzten wurden vergleichsweise auch einige warm gewalzte normalgeglühte Bleche mit eingesetzt (TU-U, YU-U, MU-U, YR-U und MR-U), die bei der Auswertung der Versuchsergebnisse jedoch nicht mit berücksichtigt wurden, da sich diese Bleche

durch Herstellungsverfahren, Gefüge und Oberflächenbeschaffenheit grundsätzlich von den kalt gewalzten unterscheiden und eine besondere Auswertung, die einen eindeutigen Vergleich gestatten würde, wegen der zu geringen Zahl nicht möglich war.

Die chemische Zusammensetzung der verwendeten Bleche ist in *Tafel 1* wiedergegeben. Die Gehalte an Begleitelementen

Tafel 1. Chemische Zusammensetzung und Gefüge der Bleche

| Blech | Stahlbezeichnung ¹⁾ | Chemische Zusammensetzung | | | | | | | Gefüge | |
|-------|--------------------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------------------------------|----------------------------------|
| | | % C | % Si | % Mn | % P | % S | % Al | % N | Ferritkorngröße ²⁾ | Zementitausbildung ³⁾ |
| 1 | TU-K | 0,036 | 0,01 | 0,33 | 0,038 | 0,030 | 0,001 | 0,0072 | 10 | 0 bis 1 |
| 2 | | 0,036 | 0,01 | 0,29 | 0,046 | 0,032 | 0,002 | 0,0070 | 9 | 5 |
| 3 | | 0,077 | 0,01 | 0,41 | 0,054 | 0,037 | 0,003 | 0,0095 | 8 | 3 |
| 4 | WU-K | 0,031 | 0,01 | 0,27 | 0,024 | 0,016 | 0,001 | 0,0082 | 10 | 1 bis 2 |
| 5 | | 0,038 | 0,01 | 0,31 | 0,025 | 0,022 | 0,001 | 0,0066 | 9 | 1 |
| 6 | | 0,043 | 0,01 | 0,25 | 0,032 | 0,029 | 0,002 | 0,0054 | 9 | 5 |
| 7 | | 0,058 | 0,01 | 0,43 | 0,050 | 0,027 | 0,002 | 0,0076 | 8 | 4 |
| 8 | YU-K | 0,021 | 0,01 | 0,23 | 0,007 | 0,021 | 0,001 | 0,0020 | 8 | 0 |
| 9 | | 0,083 | 0,01 | 0,29 | 0,020 | 0,030 | 0,002 | 0,0016 | 9 | 4 |
| 10 | MU-K | 0,028 | 0,01 | 0,24 | 0,016 | 0,041 | 0,001 | 0,0045 | 9 | 3 |
| 11 | | 0,029 | 0,01 | 0,24 | 0,018 | 0,043 | 0,001 | 0,0034 | 10 | 2 |
| 12 | | 0,035 | 0,01 | 0,32 | 0,010 | 0,021 | 0,001 | 0,0023 | 8 | 1 |
| 13 | | 0,035 | 0,01 | 0,23 | 0,010 | 0,018 | 0,002 | 0,0024 | 9 | 3 bis 4 |
| 14 | | 0,037 | 0,01 | 0,23 | 0,018 | 0,025 | 0,002 | 0,0027 | 10 | 0 bis 1 |
| 15 | | 0,039 | 0,01 | 0,26 | 0,016 | 0,037 | 0,002 | 0,0019 | 9 | 3 |
| 16 | YR-K | 0,043 | 0,01 | 0,24 | 0,006 | 0,023 | 0,090 | 0,0061 | 9 | 2 |
| 17 | MR-K | 0,050 | 0,01 | 0,27 | 0,016 | 0,022 | 0,047 | 0,0078 | 9 | 0 |
| 18 | | 0,052 | 0,01 | 0,27 | 0,009 | 0,017 | 0,029 | 0,0050 | 9 | 0 bis 1 |
| 19 | | 0,070 | 0,08 | 0,32 | 0,009 | 0,031 | 0,100 | 0,0072 | 10 | 0 |
| 20 | | 0,083 | 0,13 | 0,25 | 0,010 | 0,028 | 0,009 | 0,0049 | 9 | 0 |
| 21 | TU-U | 0,023 | 0,01 | 0,28 | 0,062 | 0,039 | 0,003 | 0,0154 | 5 | a*) |
| 22 | YU-U | 0,027 | 0,01 | 0,25 | 0,045 | 0,019 | 0,002 | 0,0052 | 7 | a |
| 23 | MU-U | 0,051 | 0,01 | 0,28 | 0,015 | 0,028 | 0,001 | 0,0031 | 6 | b*) |
| 24 | YR-U | 0,078 | 0,05 | 0,33 | 0,043 | 0,023 | 0,002 | 0,0055 | 8 | b |
| 25 | MR-U | 0,064 | 0,11 | 0,39 | 0,015 | 0,025 | 0,036 | 0,0077 | 9 | a + b |
| 26 | | 0,097 | 0,14 | 0,45 | 0,028 | 0,037 | 0,107 | 0,0050 | 7 | b |

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 Bild 1. — ⁴⁾ a = Korngrenzenzementit. — b = feinstreifiger Perlit.

liegen in allen Fällen in dem für das Erschmelzungsverfahren des Stahles üblichen Rahmen. Das Gefüge der kalt gewalzten Bleche besteht aus Ferrit und mehr oder weniger fein verteiltem Zementit. Die Unterschiede in der Ferritkorngröße sind nur gering, sie liegen, wie *Tafel 1* zeigt, zwischen 8 und 10 der im Stahl-Eisen-Prüfblatt 1510 festgelegten Richtreihe. Die Zementitausbildung ist dagegen bei den einzelnen Blechen sehr unterschiedlich. Bei manchen ist der Zementit in kugelförmiger Ausbildung fein verteilt, bei anderen liegt er in Form von größeren unregelmäßig geformten Teilchen als entarteter Perlit vor, wobei sehr grobe Teilchen schon beim Nachwalzen des Bandes auseinandergebrochen sind. Da sich bei der Untersuchung herausstellte, daß die Art der Zementitausbildung, die vom Kohlenstoffgehalt des Bleches weitgehend unabhängig ist, einen wesentlichen Einfluß auf die Eigenschaften des verzinkten Bleches hat, wurden diese verschiedenen Formen nach sechs verschie-

*) Vorgetragen auf dem Eisenhüttentag 1961, Fachsitzung Gruppe 4: Aus der Kaltformgebung, am 23. November 1961 in Düsseldorf.

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

¹⁾ Kimberley, J. L.: Metall 15 (1961) S. 67/68.

²⁾ Bablik, H., J. Krystof, F. Götzl u. R. Kukaczka: The ductility of hot dip galvanized coatings. In: 2. International conference on hot dip galvanizing held at Düsseldorf, 30th June—4th July 1952. Oxford 1953. S. 4/19.

³⁾ Horstmann, D., u. U. Krause: Stahl u. Eisen 80 (1960) S. 1313/18 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 865, Kaltwalzaussch. 66 u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 37).

⁴⁾ Pügel, W., u. R. Stenkhoff: Stahl u. Eisen 64 (1944) S. 720/25.

⁵⁾ Pügel, W.: Stahl u. Eisen 62 (1942) S. 853/58 u. 876/81 (Aussch. Drahtverarbeitung 9).

denen Gruppen eingeteilt (Bild 1) und das Gefüge nach diesen Gruppen eingestuft (Tafel 1, letzte Spalte). Bei den warm gewalzten Blechen ist die Ferritkorngröße dagegen wesentlich unterschiedlicher. Sie schwankt zwischen 5 und 9 der Richtreihe. Das Karbid liegt als Korngrenzenzementit oder als feinstreifiger Perlit vor.

Die Bleche wurden in den Werken A, B und C in aluminiumhaltigen Zinkbädern nach dem Trockenverzinkungsverfahren⁶⁾ verzinkt. Vor dem Verzinken wurden die Bleche mit etwa 1 : 1 verdünnter Salzsäure gebeizt. Bei den zunderfreien kalt gewalzten Blechen betrug die Beizezeit in den Werken A und C etwa 0,5 h, im Werk B etwa 10 min. Die warm gewalzten Bleche wurden, um den auf der Oberfläche



Bild 1. Ausbildungsformen des Zementits bei den kalt gewalzten Blechen

vorhandenen Zunder zu entfernen, etwa 20 min lang gebeizt. Nach dem Beizen wurde eine Zink-Ammoniumchlorid-Lösung als Flußmittel aufgetragen und aufgetrocknet, die Bleche wurden dann unmittelbar anschließend verzinkt. Die Temperatur des Zinkbades lag in allen drei Werken bei 430 °C, die Tauchzeit der Bleche im Zinkbad betrug etwa 18 bis 20 s. Im Werk A enthielt das Bad 0,05, im Werk B 0,07 und im Werk C 0,13% Al. Die Gehalte der übrigen Begleitelemente lagen in dem bei der Blechverzinkung üblichen Rahmen. Die Ausziehgeschwindigkeit der Bleche aus dem Zinkbad, durch die die Dicke des Zinküberzuges mit geregelt werden kann, wurde so gewählt, daß die Zinkauflage zwischen 350 und 400 g/m² doppelseitig liegen sollte.

Da aus versuchstechnischen Gründen die Bleche nicht mehrmals zwischen den an den Versuchen beteiligten Stellen hin- und hergeschickt werden konnten, war es nicht möglich, die mechanischen Eigenschaften der unverzinkten Bleche sofort nach dem Nachwalzen zu bestimmen. Diese wurden erst nach etwa einem halben Jahr ermittelt, um den Einfluß der verschieden schnell ablaufenden natürlichen Alterung weitgehend auszugleichen, da Untersuchungen von P. Werthebach⁷⁾ ergeben haben, daß sich die Eigenschaften nach dieser Zeit nicht mehr wesentlich ändern. Zur Ermittlung dieser Eigenschaften wurden von den unverzinkten und verzinkten Blechen Zugproben längs und quer zur Walzrichtung entnommen, an denen Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchdehnung gemessen wurden. An anderen Proben wurde das Verhalten der Bleche beim Falzen durch Herstellung von Falzproben mit vier verschiedenen Falzmaschinen quer zur Walzrichtung untersucht. Um Aufschlüsse über das Verhalten der Bleche bei einer Ziehbeanspruchung zu erhalten, wurden Prüfungen nach Erichsen, Näpfchenziehversuche und Ziehversuche mit einer Dreistufenpresse durchgeführt. Bei der Prüfung nach Erichsen und dem Näpfchenziehversuch wurde dabei außer der Tiefung nach Erichsen und dem Grenzziehverhältnis, d. h. dem Verhältnis des Durchmessers einer Ronde, die sich gerade noch, ohne aufzureißen, ziehen läßt, zum Durchmesser des Ziehstempels,

auch noch die Bruchkraft ermittelt. Bei den Versuchen mit der Dreistufenpresse wurde das Aussehen der gezogenen Töpfe zum Kennzeichnen des Ziehverhaltens herangezogen. Bei einem Rondendurchmesser von 180 mm betrug hier das Ziehverhältnis beim ersten Zug auf einen Topf mit 100 mm Dmr. 1,80, beim zweiten Zug auf einen Topf mit einem Durchmesser von 80 mm 1,25 und beim dritten Zug auf einen Topf mit einem Durchmesser von 70 mm 1,14, was einem Gesamtziehverhältnis von 2,57 entspricht.

Die Zinkauflage wurde durch Abbeizen mit verdünnter Salzsäure, der etwas Antimontrichlorid als Sparbeizzusatz beigegeben war, aus dem Gewichtsunterschied der Proben vor und nach dem Abbeizen bestimmt. Zur Untersuchung

des Gefügeaufbaues des Zinküberzuges wurden Schlitze angefertigt, die mit einer Lösung von vier bis fünf Tropfen konzentrierter Salpetersäure in 50 ml Amylalkohol⁸⁾ geätzt wurden, um die Eisen-Zink-Legierungsschicht sichtbar zu machen. Das Verhalten des Zinküberzuges bei verschiedenartiger Beanspruchung wurde nach dem Aussehen der Zinkschicht nach dem Umformen beurteilt. Dabei wurde zwischen glatten oder rauen Zinküberzügen, Zinküberzügen mit leichten oder starken Rissen und Zinküberzügen, die ablättern, unterschieden.

Die mechanischen Eigenschaften der unverzinkten Bleche

In Tafel 2 sind die mechanischen Eigenschaften der unverzinkten Bleche zusammengestellt. Man sieht, daß die

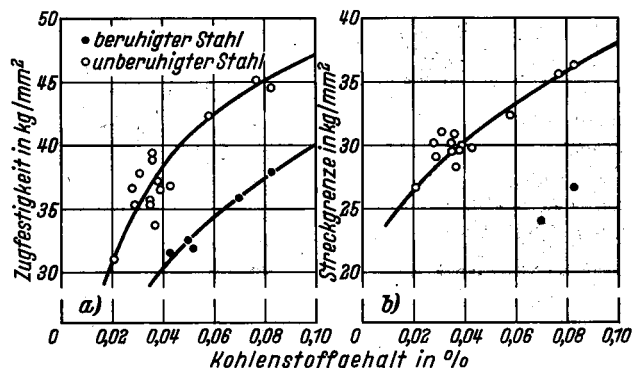


Bild 2. Abhängigkeit a) der Zugfestigkeit und b) der Streckgrenze der kalt gewalzten Bleche vom Kohlenstoffgehalt (Mittelwerte aus je zwei Versuchen längs und quer zur Walzrichtung)

Zugfestigkeit der Bleche erwartungsgemäß mit steigendem Kohlenstoffgehalt zunimmt (Bild 2a). Auffallend ist jedoch, daß die Zugfestigkeit der Bleche aus unberuhigtem Stahl bei gleichem Kohlenstoffgehalt deutlich höher liegt als die der Bleche aus beruhigtem Stahl. Auch wenn man berücksichtigt, daß durch die stärkere natürliche Alterung der Bleche aus unberuhigtem Stahl die Zugfestigkeit in der Zeit vom Nachwalzen bis zur Prüfung stärker angestiegen ist als die der Bleche aus beruhigtem Stahl, bleibt dennoch ein deutlicher Unterschied, da diese Zunahme nach den

⁶⁾ Bablik, H.: Das Feuerverzinken. Wien 1941.

⁷⁾ 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); s. bes. S. 1408/10. — Auch Dr.-Ing.-Diss. (Auszug) von P. Funke jr., Techn. Hochschule Aachen.

⁸⁾ Rowland, D. H.: Trans. Amer. Soc. Metals 40 (1948) S. 983/1011.

Untersuchungen von P. Werthebach⁷⁾ bei Blechen aus unberuhigtem Stahl nur etwa 1 bis 2 kg/mm² ausmacht. Aus diesen Untersuchungen kann nicht entnommen werden, wie weit dieser Unterschied auf den etwas größeren Nachwalzgrad und die durch nicht abgebundenen Stickstoff hervorgerufene stärkere Kaltverfestigung zurückzuführen ist. Vermutlich trägt aber auch die ungleichmäßige Kohlenstoffverteilung in den Blechen aus unberuhigtem Stahl mit dem wesentlich höheren Kohlenstoffgehalt im Innern und den kohlenstoffarmen äußeren Schichten zu diesem Unterschied bei, zumal da die Härtemessungen von P. Werthe-

bach⁷⁾ bei Blechen aus unberuhigtem Stahl nur etwa 1 bis 2 kg/mm² ausmacht. Aus diesen Untersuchungen kann nicht entnommen werden, wie weit dieser Unterschied auf den etwas größeren Nachwalzgrad und die durch nicht abgebundenen Stickstoff hervorgerufene stärkere Kaltverfestigung zurückzuführen ist. Vermutlich trägt aber auch die ungleichmäßige Kohlenstoffverteilung in den Blechen aus unberuhigtem Stahl mit dem wesentlich höheren Kohlenstoffgehalt im Innern und den kohlenstoffarmen äußeren Schichten zu diesem Unterschied bei, zumal da die Härtemessungen von P. Werthe-

bach⁷⁾ bei Blechen aus unberuhigtem Stahl nur etwa 1 bis 2 kg/mm² ausmacht. Aus diesen Untersuchungen kann nicht entnommen werden, wie weit dieser Unterschied auf den etwas größeren Nachwalzgrad und die durch nicht abgebundenen Stickstoff hervorgerufene stärkere Kaltverfestigung zurückzuführen ist. Vermutlich trägt aber auch die ungleichmäßige Kohlenstoffverteilung in den Blechen aus unberuhigtem Stahl mit dem wesentlich höheren Kohlenstoffgehalt im Innern und den kohlenstoffarmen äußeren Schichten zu diesem Unterschied bei, zumal da die Härtemessungen von P. Werthe-

Tafel 2. Mechanische Eigenschaften der unverzinkten Bleche

| Blech | Stahlbezeichnung ¹⁾ | Zugversuch | | | | Falzversuch ²⁾ | | Versuch nach Erichsen | | Näpfchenziehversuch | | Ziehpressversuch ³⁾ |
|-------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---|---------------------------|--------|-----------------------|---------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | | Zugfestigkeit kg/mm ² | Streckgrenze kg/mm ² | Streckgrenzenverhältnis | Bruchdehnung (L ₀ = 50 mm) % | Falz 3 | Falz 4 | Tiefung mm | Bruchkraft kg | Grenz-ziehverhältnis | Bruchkraft kg ⁴⁾ | |
| 1 | TU-K | 39,4 | 30,8 | 0,78 | 34,7 | 3 | 3 | 11,0 | 1880 | 2,175 | 4490 | 3 |
| 2 | | 38,9 | 30,8 | 0,79 | 33,2 | 3 | 2 | 10,4 | 1810 | 2,175 | 4470 | 3 |
| 3 | | 45,1 | 35,6 | 0,79 | 26,3 | 3 | 2 | 9,5 | 1780 | 2,125 | 4600 | 3 |
| 4 | WU-K | 37,8 | 31,0 | 0,82 | 35,6 | 3 | 3 | 10,6 | 1790 | 2,175 | 4290 | 3 |
| 5 | | 37,1 | 29,6 | 0,80 | 38,7 | 3 | 3 | 10,9 | 1920 | 2,175 | 4480 | 3 |
| 6 | | 36,8 | 29,8 | 0,81 | 37,2 | 2 | 2 | 10,5 | 1760 | 2,175 | 4340 | 2 |
| 7 | | 42,3 | 32,4 | 0,77 | 26,8 | 3 | 2 | 10,1 | 1740 | 2,150 | 4500 | 3 |
| 8 | YU-K | 31,0 | 26,7 | 0,86 | 44,4 | 3 | 3 | 11,4 | 1580 | 2,200 | 4000 | 3 |
| 9 | | 44,5 | 36,3 | 0,82 | 35,3 | 3 | 2 | 10,3 | 1480 | 2,125 | 4520 | 3 |
| 10 | MU-K | 36,6 | 30,2 | 0,83 | 36,4 | 3 | 3 | 10,8 | 1740 | 2,200 | 4260 | 3 |
| 11 | | 35,3 | 29,1 | 0,83 | 37,0 | 3 | 3 | 10,7 | 1730 | 2,200 | 4010 | 3 |
| 12 | | 35,7 | 30,2 | 0,85 | 44,8 | 3 | 3 | 12,0 | 1740 | 2,150 | 3880 | 3 |
| 13 | | 35,3 | 29,5 | 0,84 | 42,2 | 3 | 3 | 11,5 | 1660 | 2,200 | 3860 | 3 |
| 14 | | 33,7 | 28,3 | 0,84 | 41,0 | 3 | 3 | 11,1 | 1680 | 2,175 | 3900 | 3 |
| 15 | | 36,5 | 30,0 | 0,82 | 39,0 | 3 | 3 | 10,8 | 1500 | 2,150 | 3830 | 3 |
| 16 | YR-K | 31,5 | — | — | 46,5 | 3 | 3 | 12,4 | 1810 | 2,225 | 3980 | 3 |
| 17 | MR-K | 32,5 | — | — | 43,8 | 3 | 3 | 11,8 | 1860 | 2,200 | 4120 | 3 |
| 18 | | 31,9 | — | — | 44,9 | 3 | 3 | 12,1 | 1930 | 2,200 | 4180 | 3 |
| 19 | | 35,8 | 24,0 | 0,67 | 44,9 | 3 | 3 | 11,9 | 1990 | 2,175 | 4380 | 3 |
| 20 | | 37,9 | 26,7 | 0,71 | 39,8 | 3 | 3 | 11,5 | 1880 | 2,175 | 4180 | 3 |
| 21 | TU-U | 36,6 | 23,2 | 0,63 | 33,5 | 2 | 2 | 10,1 | 1550 | 2,075 | 3880 | 2 |
| 22 | YU-U | 35,9 | 23,9 | 0,67 | 27,4 | 2 | 2 | 10,3 | 1520 | 2,175 | 3720 | 3 |
| 23 | MU-U | 31,9 | 21,8 | 0,68 | 36,0 | 2 | 2 | 10,9 | 1590 | 2,075 | 3360 | 3 |
| 24 | YR-U | 40,4 | 27,4 | 0,68 | 27,7 | 2 | 2 | 10,1 | 1660 | 2,175 | 4300 | 2 |
| 25 | MR-U | 35,1 | 23,2 | 0,66 | 36,2 | 2 | 2 | 11,1 | 1600 | 2,175 | 3820 | 3 |
| 26 | | 40,3 | 26,8 | 0,66 | 32,6 | 2 | 2 | 10,1 | 1780 | 2,125 | 4420 | 2 |

¹⁾ Vgl. Tafel 1. — ²⁾ 3 = glatter Falz, 2 = rauher Falz. — ³⁾ Bei den gerissenen Proben. — ⁴⁾ 3 = glatter Rand, 2 = Zipfel am Rand.

bach⁷⁾ an kalt gewalzten Bändern zeigen, daß die Härte in der kohlenstoffreicheren Bandmitte deutlich größer ist als am kohlenstoffarmen Bandrand. Die Zugfestigkeit aller Bleche aus unberuhigtem oder beruhigtem Stahl folgt unabhängig von der Erschmelzungsart dieser Gesetzmäßigkeit, wobei im Rahmen einer gewissen Streubreite die Zugfestigkeit der Bleche mit höheren Gehalten an anderen Fremdelementen, hauptsächlich Stickstoff, im allgemeinen im oberen Bereich und die von Blechen mit nur geringen Mengen anderer Elemente im unteren Bereich liegt. Die geringen Unterschiede in der Ferritkorngröße und die verschiedenartige Zementitbildung scheinen dagegen keinen wesentlichen Einfluß zu haben.

Auch die Streckgrenze steigt mit steigendem Kohlenstoffgehalt an (Bild 2b). Ebenso wie die Zugfestigkeit liegt auch die Streckgrenze der Bleche aus unberuhigtem Stahl wesentlich höher als die der Bleche aus beruhigtem Stahl. Auch hier bleibt, wenn man nach P. Werthebach⁷⁾ für den Einfluß der natürlichen Alterung noch einen Anstieg von etwa 5 bis 6 kg/mm² für die Bleche aus unberuhigtem Stahl abzieht, immer noch ein deutlicher Unterschied übrig. Die Ursache dürfte ebenfalls in dem etwas größeren Nachwalzgrad, dem Einfluß des ungebundenen Stickstoffs und der ungleichmäßigen Verteilung des Kohlenstoffes zu suchen sein. Bei Blechen mit höheren Gehalten an anderen Elementen liegt auch die Streckgrenze meistens im oberen Teil, bei Blechen mit nur geringen Mengen anderer Verunreinigungen im allgemeinen im unteren Teil der angegebenen Streuungen. Ein wesentlicher Einfluß des Gefüges läßt sich auch hier nicht erkennen. Bei einigen Blechen aus beruhigtem Stahl (Bleche 16, 17 und 18) tritt auch nach der Lage-

sich für das Streckgrenzenverhältnis Werte zwischen 0,60 und 0,75, die denen der Bleche aus beruhigtem Stahl entsprechen. Während die Zugfestigkeit und die Streckgrenze bei den unter weitgehend gleichen Bedingungen gewalzten und geglihten Blechen im wesentlichen vom Kohlenstoffgehalt abhängen und die anderen Begleitelemente nur eine untergeordnete Rolle spielen, zeigt ein Vergleich des Streckgrenzenverhältnisses mit dem Kohlenstoffgehalt, daß zwischen diesen beiden Größen keine so eindeutige Abhängigkeit besteht. Zwar ist das Streckgrenzenverhältnis bei höherem Kohlenstoffgehalt häufig kleiner als bei niedrigem Kohlenstoffgehalt, doch sind hier die Schwankungen bei gleichem Kohlenstoffgehalt außerordentlich groß. Die Wirkung des Kohlenstoffes wird offensichtlich durch andere Elemente überdeckt. Dabei scheint sich besonders der Phosphorgehalt auszuwirken; denn das Streckgrenzenverhältnis wird mit steigendem Phosphorgehalt eindeutig kleiner (Bild 3a). Worauf diese Wirkung des Phosphors beruht, kann aus diesen Versuchen nicht entnommen werden, sie scheint jedoch vom Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt weitgehend unabhängig zu sein.

Auch die Bruchdehnung nimmt zwar, im ganzen gesehen, mit steigendem Kohlenstoffgehalt und entsprechend mit der Zugfestigkeit ab, doch tritt hier die Wirkung anderer Elemente, vor allem von Phosphor und Schwefel, ebenfalls mehr in den Vordergrund. Bild 3b zeigt die außerordentlich starke Abnahme der Bruchdehnung mit steigendem Phosphorgehalt. Durch Schwefel wird dieser Einfluß des Phosphors noch verstärkt, denn die Werte für Bleche mit höherem Schwefelgehalt liegen im allgemeinen am unteren Rand, die für Bleche mit niedrigem Schwefelgehalt meistens am

oberen Rand des Streubereichs, der für Bleche aus unberuhigtem Stahl und aus beruhigtem Stahl der gleiche ist. Die Unterschiede des Gefüges der Bleche scheinen sich nur in einem geringen, nicht mehr feststellbarem Maße auf die Bruchdehnung auszuwirken.

Die zur Ermittlung der Falzfähigkeit mit verschiedenen Falzmaschinen vorgenommenen Versuche zeigen, daß bei

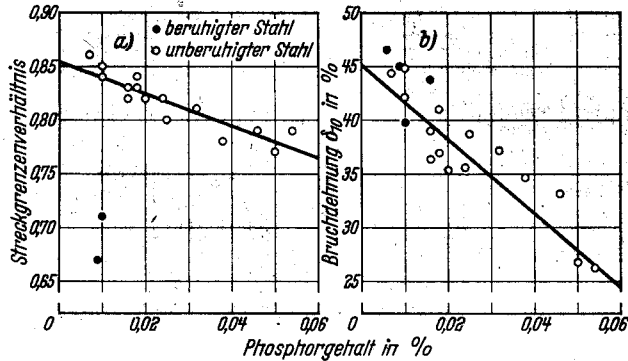


Bild 3. Abhängigkeit a) des Streckgrenzenverhältnisses und b) der Bruchdehnung der kalt gewalzten Bleche vom Phosphorgehalt (Mittelwerte aus je zwei Versuchen längs und quer zur Walzrichtung)

gleicher Art des Falzes die Ausbildung sehr verschieden ist (Bild 4). Der mit der Maschine A hergestellte Falz 1 ist am gleichmäßigsten ausgebildet und zeigt nur abgerundete Biegestellen. Knicke stellen hier nicht auf. Auch bei dem Falz 2 der Maschine B sind keine Knicke festzustellen, obwohl dieser Falz unregelmäßiger geformt ist. Dagegen zeigen die mit der Maschine C hergestellten Falze 3 und 4 an mehreren Stellen scharfe Knicke, die darauf hinweisen, daß das Blech an diesen Stellen überbeansprucht wurde.

Diese Unterschiede zeigen, daß beim Falzen mit Maschinen durch geeignete Einstellung und Ausbildung der Falzrollen dafür gesorgt werden muß, daß der Blechwerkstoff nicht an einzelnen Stellen zu stark beansprucht wird, um solche Knicke zu vermeiden, die leicht zu einem Aufreißen des Bleches führen können. Unverzinkte kalt gewalzte Bleche lassen sich aber auch mit der

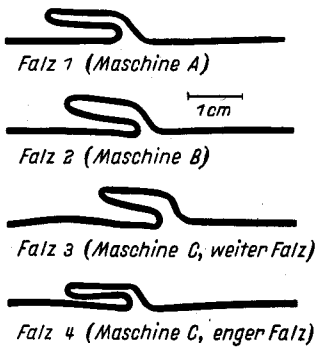


Bild 4
Profile der verschiedenen Falze

Maschine C, also bei der schärfsten Prüfung, noch einwandfrei falzen, wie es die in Tafel 2 angegebenen Werte zeigen. Lediglich bei einigen Blechen zeigen die am meisten beanspruchten Stellen des Falzes eine leichte Aufrauhung der Blechoberfläche durch eingetretene Fließvorgänge, im allgemeinen bleibt die Oberfläche aber auch an diesen Stellen glatt.

Bei der Prüfung nach Erichsen wurden jeweils acht Prüfungen über die gesamte Blechbreite durchgeführt und aus diesen Einzelwerten der Mittelwert gebildet. Die Unterschiede der Dicke der einzelnen Bleche sind so gering, daß die Werte vergleichbar sind. Die in Tafel 2 angegebenen Mittelwerte zeigen, daß die Tiefung nach Erichsen der kalt gewalzten Bleche mit steigendem Kohlenstoffgehalt abnimmt (Bild 5a). Dabei liegt die Tiefung der Bleche aus unberuhigtem Stahl deutlich niedriger als die der Bleche aus beruhigtem Stahl. Bei gleichem Kohlenstoffgehalt ist der Wert bei den Blechen aus unberuhigtem Stahl besonders klein, wenn der Stick-

stoffgehalt hoch ist. Bei den Blechen aus beruhigtem Stahl macht sich dieser Einfluß des Stickstoffes nicht in dem Maße bemerkbar, da er hier zum größten Teil an Aluminium gebunden ist. Die Bruchkraft, also die Kraft, bei der die bei der Tiefung nach Erichsen entstehende Kuppe aufreißt, steigt zwar allgemein mit der Tiefung an, doch sind hier die Streuungen außerordentlich groß (Tafel 2), was auf die bei dieser Art der Beanspruchung auftretenden mehrachsigen Spannungen zurückzuführen sein dürfte, die die Vorgänge unübersichtlich ablaufen lassen.

Bei den Näpfchenziehversuchen wurden jeweils zwei Ronden gezogen. Der Durchmesser des Stempels betrug 32 mm, der Matrizendurchmesser 35 mm und die Faltenhalterkraft 200 kg. Das Grenzziehverhältnis wurde aus dem Durchmesser der Ronden berechnet, bei dem sich beide Proben noch ohne Bruch ziehen ließen. Die Unterschiede der Grenzziehverhältnisse der verschiedenen Bleche sind nur sehr gering (Tafel 2). Dies Verhältnis nimmt ebenso wie die Tiefung nach Erichsen mit steigendem Kohlenstoffgehalt ab (Bild 5b). Es liegt auch hier bei den Blechen aus unberuhigtem Stahl deutlich tiefer als bei den Blechen aus beruhigtem Stahl. Beim Näpfchenziehversuch treten bei Ronden, deren Durchmesser etwas kleiner ist, als es dem Grenzziehverhältnis entspricht, leicht Falten am oberen Rand des Näpfchens auf, besonders wenn die Faltenhalterkraft

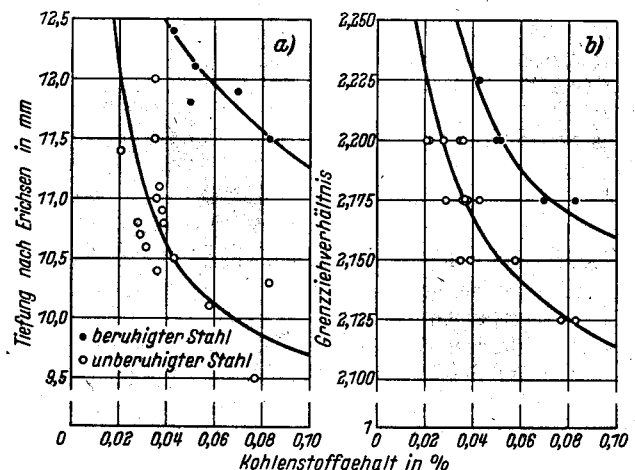


Bild 5. Einfluß des Kohlenstoffgehaltes auf die Änderung

- der Tiefung nach Erichsen (Mittelwert von acht Versuchen über die gesamte Blechbreite)
- des Grenzziehverhältnisses beim Näpfchenziehversuch (Bestimmung an jeweils zwei Ronden)

kalt gewalzten Bleche

niedrig ist; sie läßt sich durch Erhöhen der Faltenhalterkraft auf 600 kg meistens unterdrücken, wie einige Tastversuche zeigten. Die Faltenbildung ist bei Blechen aus unberuhigtem Stahl, vor allem bei solchen aus Thomasstahl oder windgefrischtem Sonderstahl, ausgeprägter als bei Blechen aus beruhigtem Stahl, bei denen zum Teil auch bei der geringen Faltenhalterkraft keine Faltenbildung zu beobachten ist. Dies deutet darauf hin, daß die natürliche Alterung für diese Faltenbildung verantwortlich zu machen ist. Die Bruchkraft, bei der der Boden des Näpfchens abreißt, wenn der Durchmesser der Ronde größer ist, als es dem Grenzziehverhältnis entspricht⁹⁾, scheint vom Grenzziehverhältnis unabhängig zu sein, wie ein Vergleich der in Tafel 2 angegebenen Werte zeigt.

Die Versuche mit der Dreistufenpresse haben ergeben, daß sich die kalt gewalzten unverzinkten Bleche von einem Anfangsdurchmesser einer Ronde von 180 mm auf einen

⁹⁾ Schmidt, M.: Arch. Eisenhüttenwes. 3 (1929/30) S. 213/22 (Werkstoff-aussch. 153).

Enddurchmesser eines Topfes von 70 mm in drei Stufen ohne Schwierigkeiten ziehen lassen. Nur bei dem Blech 6 treten kleine Zipfel am oberen Rand auf, die offenbar durch eine Faltenbildung hervorgerufen werden, die im Ziehspalt wieder geglättet werden. In allen anderen Fällen ist der obere Rand glatt. Man kann annehmen, daß die sehr grobe Zementitausbildung des Bleches 6 diese Zipfelbildung ausgelöst hat.

ungünstigere Verhalten hervorruft. Auch das Grenzzielverhältnis beim Näpfchenziehversuch ist deutlich niedriger bei den warm gewalzten Blechen, was ebenfalls auf die größere Oberflächenrauheit zurückzuführen sein dürfte, die das Gleiten im Faltenhalter erschwert und ein leichteres Reißen begünstigt. Die Zipfelbildung am oberen Rande der auf der Dreistufenpresse gezogenen Töpfe ist bei den warm gewalzten Blechen stärker ausgeprägt.

Tafel 3. Mechanische Eigenschaften der verzinkten Bleche

| Blech | Stahlbezeichnung ¹⁾ | Zugfestigkeit | | | Streckgrenze | | | Streckgrenzenverhältnis | | | Bruchdehnung (L ₀ = 50 mm) | | | Falzproben ²⁾ | | | | Versuch nach Tiefung | | |
|-------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------|--------------------|------------------------------------|
| | | Meßwert kg/mm ² | Zunahme kg/mm ² | Bezo- gene Zunahme % | Meßwert kg/mm ² | Zunahme kg/mm ² | Bezo- gener An- stieg % | Ver- hält- nis | Zunahme % | Bezo- gene Zunahme % | Meßwert % | Ab- nahme % | Bezo- gene Ab- nahme % | Falz 1 | Falz 2 | Falz 3 | Falz 4 | Meßwert mm | Ab- nahme mm | Bezo- gene Ab- nahme % |
| 1 | TU-K | 40,2 | 0,8 | 2,0 | 34,3 | 3,5 | 11,4 | 0,85 | 0,07 | 9,0 | 32,4 | 2,3 | 6,6 | 2 bis 3 | 3 | 2 | 2 | 10,0 | 1,0 | 9,1 |
| 2 | | 40,5 | 1,6 | 4,1 | 34,9 | 4,1 | 13,3 | 0,86 | 0,07 | 8,9 | 26,0 | 7,2 | 21,7 | 1 bis 2 | 1 | 0 | 0 | 7,7 | 2,7 | 26,0 |
| 3 | | 46,3 | 1,2 | 2,7 | 40,0 | 4,4 | 12,4 | 0,86 | 0,07 | 8,9 | 23,8 | 2,5 | 9,5 | 2 | 2 | 1 bis 2 | 0 bis 1 | 8,8 | 0,7 | 7,4 |
| 4 | WU-K | 38,6 | 0,8 | 2,1 | 34,4 | 3,4 | 11,0 | 0,89 | 0,07 | 8,5 | 32,0 | 3,6 | 10,1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10,0 | 0,6 | 5,7 |
| 5 | | 38,0 | 0,9 | 2,4 | 32,4 | 2,8 | 9,5 | 0,85 | 0,05 | 6,3 | 34,1 | 4,6 | 11,9 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10,0 | 0,9 | 8,3 |
| 6 | | 38,1 | 1,3 | 3,5 | 33,4 | 3,6 | 12,1 | 0,88 | 0,07 | 8,6 | 29,4 | 7,8 | 21,0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 7,2 | 3,3 | 31,4 |
| 7 | | 43,7 | 1,4 | 3,3 | 36,5 | 4,1 | 12,7 | 0,84 | 0,07 | 9,1 | 22,8 | 4,0 | 14,9 | 2 | 2 | 0 | 0 | 8,8 | 1,3 | 12,9 |
| 8 | YU-K | 31,8 | 0,8 | 2,6 | 29,2 | 2,5 | 9,4 | 0,92 | 0,06 | 7,0 | 40,8 | 3,6 | 8,1 | 2 | 2 bis 3 | 2 | 2 | 10,7 | 0,7 | 6,1 |
| 9 | | 46,2 | 1,7 | 3,8 | 40,4 | 4,1 | 11,3 | 0,88 | 0,06 | 7,3 | 28,1 | 7,2 | 20,4 | 2 | 2 | 0 bis 1 | 0 bis 1 | 8,5 | 1,8 | 17,5 |
| 10 | MU-K | 37,8 | 1,2 | 3,3 | 33,7 | 3,5 | 11,6 | 0,89 | 0,06 | 7,2 | 31,0 | 5,4 | 14,8 | 2 | 2 | 1 | 0 | 9,3 | 1,5 | 13,9 |
| 11 | | 36,4 | 1,1 | 3,1 | 32,2 | 3,1 | 10,7 | 0,89 | 0,06 | 7,2 | 32,6 | 4,4 | 11,9 | 2 | 2 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 9,5 | 1,2 | 11,2 |
| 12 | | 36,6 | 0,9 | 2,5 | 33,5 | 3,3 | 10,9 | 0,92 | 0,07 | 8,2 | 40,9 | 3,9 | 8,7 | 2 bis 3 | 3 | 2 | 2 | 11,1 | 0,9 | 7,5 |
| 13 | | 36,5 | 1,2 | 3,4 | 33,2 | 3,7 | 12,5 | 0,91 | 0,07 | 8,3 | 35,3 | 6,9 | 16,4 | 2 | 2 | 1 | 0 bis 1 | 9,6 | 1,9 | 16,5 |
| 14 | | 34,5 | 0,8 | 2,4 | 30,9 | 2,6 | 9,2 | 0,90 | 0,06 | 7,1 | 37,2 | 3,8 | 9,3 | 2 bis 3 | 2 bis 3 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 10,0 | 1,1 | 9,9 |
| 15 | | 37,9 | 1,4 | 3,8 | 33,2 | 3,2 | 10,7 | 0,88 | 0,06 | 7,3 | 32,8 | 6,2 | 15,9 | 2 | 2 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 9,4 | 1,4 | 13,0 |
| 16 | YR-K | 33,5 | 2,0 | 6,4 | 24,5 | — | — | 0,73 | — | — | 40,1 | 6,4 | 13,8 | 2 bis 3 | 2 bis 3 | 2 | 2 | 11,2 | 1,2 | 9,7 |
| 17 | MR-K | 34,3 | 1,8 | 5,5 | 26,1 | — | — | 0,76 | — | — | 39,2 | 4,6 | 10,5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10,8 | 1,0 | 8,5 |
| 18 | | 33,8 | 1,9 | 6,0 | 24,0 | — | — | 0,71 | — | — | 40,1 | 4,8 | 10,7 | 2 | 2 bis 3 | 2 bis 3 | 2 | 11,0 | 1,1 | 9,1 |
| 19 | | 37,8 | 2,0 | 5,6 | 30,2 | 6,2 | 25,8 | 0,80 | 0,13 | 19,4 | 40,2 | 4,7 | 10,5 | 2 bis 3 | 3 | 2 | 2 | 11,1 | 0,8 | 6,7 |
| 20 | | 39,7 | 1,8 | 4,8 | 32,7 | 6,0 | 22,5 | 0,82 | 0,11 | 15,5 | 35,9 | 3,9 | 9,8 | 2 bis 3 | 2 bis 3 | 2 | 2 | 10,5 | 1,0 | 8,7 |
| 21 | TU-U | 37,4 | 0,8 | 2,2 | 26,2 | 3,0 | 12,9 | 0,70 | 0,07 | 11,1 | 26,9 | 6,6 | 19,7 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 9,7 | 0,4 | 4,0 |
| 22 | YU-U | 36,2 | 0,3 | 0,8 | 26,9 | 3,0 | 12,5 | 0,74 | 0,07 | 10,4 | 25,8 | 1,6 | 5,8 | 2 | 2 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 10,2 | 0,1 | 1,0 |
| 23 | MU-U | 33,2 | 1,3 | 4,1 | 23,8 | 2,0 | 9,2 | 0,72 | 0,04 | 5,9 | 35,1 | 0,9 | 2,5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10,7 | 0,2 | 1,8 |
| 24 | YR-U | 41,3 | 0,9 | 2,2 | 29,4 | 2,0 | 7,3 | 0,71 | 0,03 | 4,4 | 24,7 | 3,0 | 10,8 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10,0 | 0,1 | 1,0 |
| 25 | MR-U | 35,5 | 0,4 | 1,1 | 24,9 | 1,7 | 7,3 | 0,70 | 0,04 | 6,1 | 30,7 | 5,5 | 15,2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10,7 | 0,4 | 3,6 |
| 26 | | 41,4 | 1,1 | 2,7 | 30,2 | 3,4 | 12,7 | 0,73 | 0,07 | 10,6 | 29,6 | 3,0 | 9,2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10,0 | 0,1 | 1,0 |

¹⁾ Vgl. Tafel 1. — ²⁾ 3 = glatter Falz, 2 = rauher Falz 1 = Falz mit Anrissen, 0 = Falz aufgerissen. — ³⁾ Bei den gerissenen Proben. — ⁴⁾ 3 = glatter Rand, 2 = Zipfel.

Zum Schluß der Betrachtungen über das Verhalten der unverzinkten Bleche sollen die mechanischen Eigenschaften der warm gewalzten Bleche, die nur in *Tafel 2* angegeben und bei den bisherigen Ausführungen nicht berücksichtigt worden sind, mit denen der kalt gewalzten Bleche verglichen werden. Die Angaben der *Tafel 2* zeigen, daß hier zum Teil Abweichungen bestehen, die auf den anderen Gefügebau, die geringere natürliche Alterung und die größere Oberflächenrauheit zurückzuführen sind. Die Zugfestigkeit der warm gewalzten Bleche fällt in den für die kalt gewalzten geltenden Streubereich mit Ausnahme der des Bleches 23, die deutlich geringer ist. Eine Ursache für diese Abweichung läßt sich nicht erkennen, sie dürfte im Walz- und Glühverfahren begründet sein. Die Streckgrenze der warm gewalzten und normal geblühten Bleche aus unberuhigtem Stahl liegt etwa 4 kg/mm² tiefer als die der kalt gewalzten, also nicht ganz um den Betrag, wie er für den Anstieg der Streckgrenze bei kalt gewalzten Blechen durch Alterung von P. Werthebach⁷⁾ angegeben ist. Nur das Blech 23 fällt auch hier deutlich heraus. Die Streckgrenzenwerte der warm gewalzten Bleche aus beruhigtem Stahl entsprechen denen der kalt gewalzten Bleche. Die Streckgrenzenverhältnisse der warm gewalzten Bleche liegen bei etwa den gleichen Werten wie die der nicht gealterten kalt gewalzten Bleche aus beruhigtem Stahl. Die Bruchdehnung liegt im allgemeinen am unteren Rand des für die kalt gewalzten Bleche geltenden Streubereichs. Bei den Falzversuchen verändert sich die Oberfläche kaum, sie ist hier von vornherein rauher. Die Erichsentiefung und auch die Bruchkraft liegen bei den warm gewalzten Blechen allgemein deutlich tiefer als bei den kalt gewalzten gleichen Kohlenstoffgehaltes. Es ist anzunehmen, daß die größere Oberflächenrauheit mit ihrer stärkeren Kerbwirkung dieses

Die Veränderung der mechanischen Eigenschaften durch das Verzinken

Da die Wärmebehandlung der Bleche beim Verzinken in den drei Werken weitgehend gleich war — gleiche Zinkbadtemperatur, gleiche Tauchzeit — wurden aus den jeweils gemessenen und auf den unverzinkten Blechquerschnitt umgerechneten Einzelwerten der mechanischen Eigenschaften der verzinkten Bleche Mittelwerte gebildet. Diese Mittelwerte sind in *Tafel 3* zusammengestellt. Gleichzeitig sind hier die Veränderungen gegenüber den unverzinkten Blechen mit angegeben. Ein Überblick und Vergleich mit den in *Tafel 1* angegebenen Werten der chemischen Zusammensetzung zeigen, daß die Unterschiede zwischen den Eigenschaften der natürlich gealterten unverzinkten und den künstlich gealterten verzinkten Blechen weniger von der chemischen Zusammensetzung abhängen als vom Gefüge der Bleche, vor allem von der ebenfalls in *Tafel 1* angegebenen Zementitausbildung. Der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorgehalt, der zwar die Eigenschaften des unverzinkten Bleches ausschlaggebend beeinflusst, macht sich bei der Veränderung dieser Eigenschaften dagegen nur in einem untergeordneten Maße bemerkbar. Die Änderungen sind bei grober Ausbildung des Zementits in allen Fällen besonders groß.

Bild 6 zeigt, daß die Zunahme der Zugfestigkeit mit größerer Zementitausbildung größer wird und die Streckgrenze stärker ansteigt. Diese Zunahme der Zugfestigkeit und Streckgrenze ist bei Blechen aus unberuhigtem oder beruhigtem Stahl fast gleich groß, auch wenn es nach den hier angegebenen Werten den Anschein hat, daß die Änderungen bei den Blechen aus beruhigtem Stahl größer sind, denn man muß dabei berücksichtigen, daß bei den Blechen

aus unberuhigtem Stahl schon ein Teil dieser Zunahmen durch die natürliche Alterung vorweggenommen worden war. Berücksichtigt man diese Vorwegnahme durch die natürliche Alterung, so fallen alle Werte in den für die Bleche aus beruhigtem Stahl geltenden Streubereich. Das Streckgrenzenverhältnis nimmt beim Verzinken ebenfalls um so mehr zu, je größer das Karbid ausgeschieden ist. Die Unterschiede sind jedoch nur gering (Bild 7a). Auch hier werden die Werte für Bleche aus

bildung des Zementits rechnen muß, wenn eine natürliche Alterung noch nicht eingetreten ist. Wie weit sich hier auch noch ein Einfluß der Ferritkorngröße bemerkbar macht, läßt sich aus diesen Versuchen nicht entnehmen, da die Unterschiede bei den verwendeten Blechen nur sehr gering sind.

| Erichsen Bruchkraft | | | Näpfchenziehversuch | | | | | | Ziehpressenversuch ^{a)} | | |
|---------------------|---------|-------------|---------------------|----------|--------------------------|---------|-------------|---------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|
| Meßwert | Abnahme | Bezo- | Grenzziehverhältnis | | Bruchkraft ^{a)} | | Bezo- | | Zieh- | | Ziehpressenversuch ^{a)} |
| kg | kg | genommene % | Verhältnis | Änderung | Meßwert | Zunahme | genommene % | Meßwert | Zunahme | genommene % | |
| 1830 | 50 | 2,7 | 2,175 | 0 | 0 | 4570 | 80 | 1,8 | 2 bis 3 | | |
| 1220 | 590 | 32,6 | 2,125 | -0,050 | -2,3 | 4650 | 180 | 4,0 | 0 bis 1 | | |
| 1720 | 60 | 3,4 | 2,125 | 0 | 0 | 4720 | 120 | 2,6 | 1 bis 2 | | |
| 1740 | 50 | 2,8 | 2,200 | +0,025 | +1,2 | 4380 | 90 | 2,1 | 2 bis 3 | | |
| 1860 | 60 | 3,1 | 2,200 | +0,025 | +1,2 | 4600 | 120 | 2,7 | 2 bis 3 | | |
| 1160 | 600 | 34,1 | 2,150 | -0,025 | -1,2 | 4480 | 140 | 3,2 | 0 bis 1 | | |
| 1620 | 120 | 6,9 | 2,125 | -0,025 | -1,2 | 4650 | 150 | 3,3 | 0 bis 1 | | |
| 1550 | 30 | 1,9 | 2,225 | +0,025 | +1,1 | 4090 | 90 | 2,2 | 3 | | |
| 1320 | 160 | 10,8 | 2,125 | 0 | 0 | 4700 | 180 | 4,0 | 1 | | |
| 1630 | 110 | 6,3 | 2,200 | 0 | 0 | 4410 | 150 | 3,5 | 1 bis 2 | | |
| 1630 | 100 | 5,8 | 2,200 | 0 | 0 | 4130 | 120 | 3,0 | 1 bis 2 | | |
| 1720 | 20 | 1,2 | 2,175 | +0,025 | +1,2 | 3960 | 80 | 2,1 | 3 | | |
| 1520 | 140 | 8,4 | 2,175 | -0,025 | -1,2 | 4000 | 140 | 3,6 | 1 bis 2 | | |
| 1580 | 100 | 6,0 | 2,000 | +0,025 | +1,2 | 3990 | 90 | 2,3 | 3 | | |
| 1360 | 140 | 9,3 | 2,175 | +0,025 | +1,2 | 3980 | 150 | 3,9 | 2 | | |
| 1730 | 80 | 4,4 | 2,000 | -0,025 | -1,1 | 4210 | 230 | 5,8 | 2 bis 3 | | |
| 1800 | 60 | 3,2 | 2,225 | +0,025 | +1,1 | 4350 | 230 | 5,6 | 3 | | |
| 1860 | 70 | 3,6 | 2,225 | +0,025 | +1,1 | 4440 | 260 | 6,2 | 2 bis 3 | | |
| 1920 | 70 | 3,5 | 2,175 | 0 | 0 | 4600 | 220 | 5,0 | 2 bis 3 | | |
| 1840 | 40 | 2,1 | 2,175 | 0 | 0 | 4390 | 210 | 5,0 | 2 bis 3 | | |
| 1520 | 30 | 1,9 | 2,050 | -0,025 | -1,2 | 3970 | 90 | 2,3 | 1 | | |
| 1550 | 0 | 0,0 | 2,175 | 0 | 0 | 3750 | 30 | 0,8 | 2 | | |
| 1570 | 20 | 1,3 | 2,075 | 0 | 0 | 3520 | 160 | 4,8 | 2 | | |
| 1650 | 10 | 0,6 | 2,200 | +0,025 | +1,2 | 4410 | 110 | 2,6 | 1 bis 2 | | |
| 1560 | 40 | 2,5 | 2,175 | 0 | 0 | 3850 | 30 | 0,8 | 3 | | |
| 1770 | 10 | 0,6 | 2,075 | -0,050 | -2,3 | 4530 | 110 | 2,5 | 2 bis 3 | | |

am Rand, 1 = Anrisse, 0 = Ausbrüche.

unberuhigtem und beruhigtem Stahl scheinbar getrennt, was jedoch durch die schon vorher eingetretene natürliche Alterung bedingt ist. Die Bruchdehnung nimmt beim Verzinken ab, und zwar um so stärker, je größer die Zementitbildung ist (Bild 7b). Hier liegen alle Werte in einem gemeinsamen Streubereich, wobei die Abnahme bei Blechen aus beruhigtem Stahl allerdings am unteren Rande liegt,

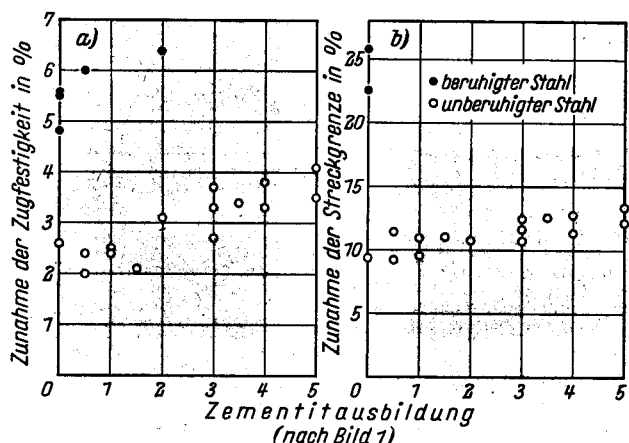


Bild 6. Einfluß der Zementitbildung auf die Änderung a) der Zugfestigkeit und b) der Streckgrenze der kalt gewalzten Bleche beim Verzinken

also immer am größten ist. Diese Ergebnisse zeigen, daß man beim Verzinken kalt gewalzter Bleche mit einer Zunahme der Zugfestigkeit von 5 bis 8%, einem Anstieg der Streckgrenze um 20 bis 30%, einer Zunahme des Streckgrenzenverhältnisses von 15 bis 20% und einer Abnahme der Bruchdehnung zwischen 5 und 20% je nach der Aus-

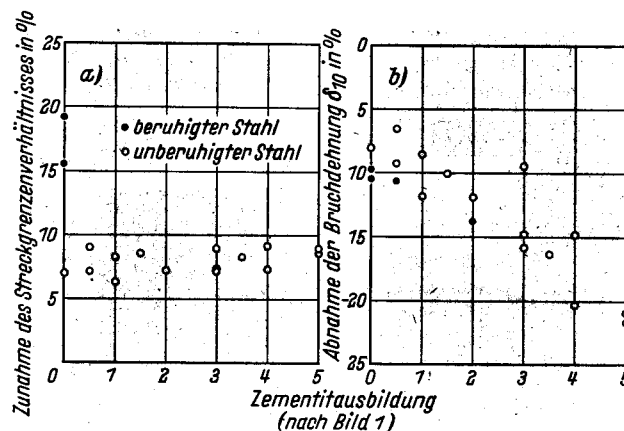


Bild 7. Einfluß der Zementitbildung auf die Änderung a) des Streckgrenzenverhältnisses und b) der Bruchdehnung der kalt gewalzten Bleche beim Verzinken

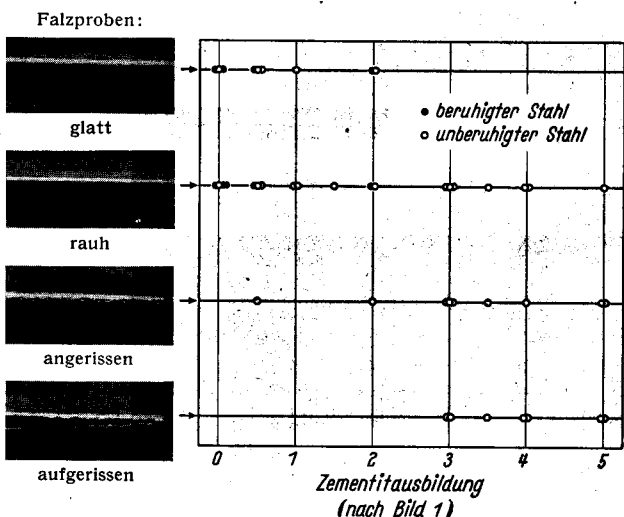


Bild 8. Verhalten der verzinkten Bleche beim Falzen in Abhängigkeit von der Zementitbildung

Diese Änderungen der mechanischen Eigenschaften durch die mit dem Verzinken verbundene künstliche Alterung macht sich besonders deutlich beim Falzen bemerkbar. Sie führt dazu, daß das verzinkte Blech im Vergleich zu dem unverzinkten viel leichter einreißt, wie es die in Tafel 3 angegebenen Werte für die Güte der Falzproben zeigen. In Bild 8 sind diese Werte für die verschiedenen Zementitbildungen zusammengestellt. Man sieht, daß ein Reißen um so leichter eintritt, je größer das Karbid ausgeschieden ist. Dabei spielt die Ausbildung des Falzes eine entscheidende Rolle, wie es die in Tafel 3 angegebenen Werte zeigen. Die beiden mit den Maschinen A und B hergestellten Falze 1 und 2 reißen nur bei besonders grober Zementitbildung ein, da hier das Blech beim Falzen nicht geknickt wird. Im Gegensatz dazu wird das Blech in der Maschine C (Falze 3 und 4) örtlich so stark überbeansprucht und abgeknickt, daß hier auch schon bei wesentlich feineren Zementitausscheidungen ein Einreißen des Falzes zu beobachten ist. Diese Ergebnisse zeigen eindeutig, daß beim Falzen mit Maschinen die Einstellung und Ausbildung der Biegerollen von außerordentlich großem Einfluß sind und man unbedingt darauf achten muß, daß das Blech nicht an einzelnen Stellen einknicken kann. Das bei der Verarbeitung verzinkter Bleche häufig beobach-

tete unterschiedliche Verhalten beim Falzen mit Maschinen verschiedener Bauart dürfte daher meistens auf falsche Einstellung oder ungünstige Bauart der einzelnen Biegerollen zurückzuführen sein.

Die Tiefung nach Erichsen nimmt durch das Verzinken ab, und zwar auch besonders stark, wenn der Zementit in grober Form vorliegt (Tafel 3). Die Abnahme schwankt zwischen etwa 5% bei besonders feiner Zementitbildung und etwa 30% bei sehr groben Zementitteilchen (Bild 9a). Sie ist bei Blechen aus unberuhigtem und beruhigtem Stahl fast

hältnis bei den verzinkten Blechen zum Teil größer ist, wenn der Zementit fein verteilt ist. Dieses ungewöhnliche Verhalten ist jedoch offensichtlich auf die sehr gute Schmierwirkung des Zinküberzuges zurückzuführen, die ein besseres Gleiten im Faltenhalter ermöglicht. Die Faltenbildung am oberen Rand des Näpfchens ist dagegen bei den verzinkten Blechen wesentlich ausgeprägter und tritt hier auch bei Blechen aus beruhigtem Stahl auf. Nur mit einer Faltenhalterkraft von 600 kg läßt sie sich hier unterdrücken. Die Bruchkraft ist beim Näpfchenziehversuch im Gegen-

Tafel 4. Eigenschaften der Zinküberzüge

| Blech | Stahlbezeichnung ¹⁾ | Zinkauflage in g/m ² doppelseitig | | | Falzproben ²⁾ | | | Kugelfallprobe ²⁾ | | | Versuch nach | | | | |
|-------|--------------------------------|--|--------|--------|--------------------------|---------|---------|------------------------------|---------|---------|--|------|--------|----|------|
| | | Werk A | Werk B | Werk C | Werk A | Werk B | Werk C | Werk A | Werk B | Werk C | Werk A | | Werk B | | |
| 1 | TU-K | 447 | 359 | 357 | 2 bis 3 | 2 bis 3 | 1 bis 2 | 2 | 2 bis 3 | 1 | Tiefung beim Einreißen des Zinküberzuges | 10,3 | 0,87 | 7 | 9,6 |
| 2 | TU-K | 428 | 365 | 378 | 2 | 2 | 0 bis 1 | 2 bis 3 | 1 bis 1 | 0 bis 1 | Tiefung des verzinkten Bleches | 7,9 | 0,89 | 7 | 7,6 |
| 3 | TU-K | 449 | 375 | 365 | 2 bis 3 | 0 bis 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | Verhältnis | 8,4 | 0,95 | 5 | 9,5 |
| 4 | WU-K | 421 | 393 | 366 | 2 | 2 | 1 bis 2 | 2 | 2 | 1 | Tiefung beim Einreißen des Zinküberzuges | 9,8 | 0,82 | 8 | 10,1 |
| 5 | WU-K | 421 | 380 | 351 | 1 | 0 bis 1 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 0 bis 1 | 1 bis 2 | Tiefung des verzinkten Bleches | 10,0 | 0,70 | 6 | 9,9 |
| 6 | WU-K | 437 | 371 | 379 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 2 | 1 bis 2 | 0 bis 1 | Verhältnis | 7,6 | 0,79 | 6 | 6,9 |
| 7 | WU-K | 412 | 378 | 352 | 2 bis 3 | 1 bis 2 | 0 bis 1 | 3 | 1 bis 2 | 0 | Verhältnis | 9,3 | 0,86 | 5 | 9,2 |
| 8 | YU-K | 441 | 389 | 368 | 1 bis 2 | 2 bis 3 | 2 bis 3 | 1 | 2 | 2 bis 3 | Tiefung beim Einreißen des Zinküberzuges | 11,4 | 0,70 | 7 | 10,3 |
| 9 | YU-K | 419 | 393 | 374 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 1 | 1 bis 2 | Tiefung des verzinkten Bleches | 9,3 | 0,75 | 5 | 10,1 |
| 10 | MU-K | 413 | 375 | 373 | 2 | 2 bis 3 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 2 | 2 | Verhältnis | 9,3 | 0,75 | 8 | 9,3 |
| 11 | MU-K | 414 | 384 | 377 | 1 bis 2 | 2 bis 3 | 1 bis 2 | 1 | 2 bis 3 | 1 bis 2 | Tiefung beim Einreißen des Zinküberzuges | 9,5 | 0,79 | 8 | 9,4 |
| 12 | MU-K | 425 | 374 | 350 | 1 bis 2 | 0 bis 1 | 2 bis 3 | 0 bis 1 | 2 | 2 | Verhältnis | 11,3 | 0,71 | 7 | 10,7 |
| 13 | MU-K | 439 | 387 | 358 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 1 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | Tiefung beim Einreißen des Zinküberzuges | 9,9 | 0,61 | 8 | 9,6 |
| 14 | MU-K | 444 | 359 | 352 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 2 bis 3 | 1 | 1 bis 2 | 2 bis 3 | Tiefung des verzinkten Bleches | 10,3 | 0,73 | 6 | 9,9 |
| 15 | MU-K | 437 | 364 | 373 | 1 bis 2 | 2 bis 3 | 1 bis 2 | 1 | 2 bis 3 | 2 | Verhältnis | 10,0 | 0,70 | 8 | 9,9 |
| 16 | YR-K | 437 | 385 | 357 | 1 | 2 bis 3 | 2 bis 3 | 0 bis 1 | 2 | 2 | Tiefung beim Einreißen des Zinküberzuges | 11,4 | 0,53 | 8 | 11,0 |
| 17 | MR-K | 442 | 366 | 366 | 0 bis 1 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 0 bis 1 | 2 | 1 bis 2 | Tiefung des verzinkten Bleches | 10,8 | 0,65 | 6 | 10,8 |
| 18 | MR-K | 413 | 372 | 352 | 0 bis 1 | 2 bis 3 | 2 | 1 | 2 bis 3 | 2 bis 3 | Verhältnis | 11,2 | 0,62 | 10 | 10,7 |
| 19 | MR-K | 448 | 392 | 351 | 0 bis 1 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 0 bis 1 | 1 bis 2 | 2 | Tiefung beim Einreißen des Zinküberzuges | 11,2 | 0,62 | 7 | 10,6 |
| 20 | MR-K | 437 | 361 | 367 | 0 bis 1 | 1 bis 2 | 2 bis 3 | 0 | 1 | 2 bis 3 | Tiefung des verzinkten Bleches | 10,7 | 0,56 | 8 | 10,3 |
| 21 | TU-U | — | — | 356 | — | — | 1 bis 2 | — | — | 2 | Verhältnis | — | — | — | — |
| 22 | YU-U | — | 363 | — | — | 2 bis 3 | — | — | 2 bis 3 | — | Tiefung beim Einreißen des Zinküberzuges | — | — | 7 | 10,2 |
| 23 | MU-U | — | — | 372 | — | — | 1 bis 2 | — | — | 2 bis 3 | Verhältnis | — | — | — | — |
| 24 | YR-U | — | 364 | — | — | 2 bis 3 | — | — | 3 | — | Tiefung beim Einreißen des Zinküberzuges | — | — | 8 | 10,0 |
| 25 | MR-U | — | 394 | — | — | 2 | — | — | 2 bis 3 | — | Verhältnis | — | — | 9 | 10,7 |
| 26 | MR-U | — | — | 346 | — | — | 2 bis 3 | — | — | 2 bis 3 | Tiefung des verzinkten Bleches | — | — | — | — |

¹⁾ Vgl. Tafel 1. ²⁾ Mittel aus den vier Falzen, 3 = rau, 2 = leichte Risse, 1 = starke Risse, 0 = abgeblätterter Zinküberzug. ³⁾ 3 = rau, 2 = leichte Risse, 1 = starke Risse, 0 = abge-

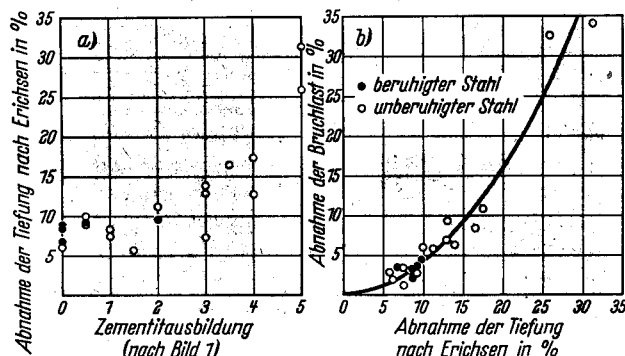


Bild 9. Abnahme der Tiefung nach Erichsen durch das Verzinken, bezogen auf die Tiefung nach Erichsen der kalt gewalzten Bleche in Abhängigkeit von der Zementitbildung (Mittelwert aus acht Versuchen über die gesamte Blechbreite) und Abnahme der Bruchkraft in Abhängigkeit von der Abnahme der Tiefung nach Erichsen durch das Verzinken

gleich groß, wenn die Zementitbildung gleich ist. Die Bruchkraft wird ebenfalls durch das Verzinken herabgesetzt (Tafel 3). Ihre Abnahme steht in einem gleichlaufenden Zusammenhang mit der Abnahme der Tiefung nach Erichsen (Bild 9b). Das deutet darauf hin, daß der Bruch, bedingt durch die künstliche Alterung, vorzeitig eintritt. Die bei der Prüfung nach Erichsen auftretende mehrachsige Beanspruchung begünstigt das vorzeitige Reißen.

In Bild 10a ist die Veränderung des Grenzziehverhältnisses beim Näpfchenziehversuch in Abhängigkeit von der Zementitbildung aufgetragen. Man sieht, daß diese Veränderung nur sehr gering ist und daß das Grenzziehver-

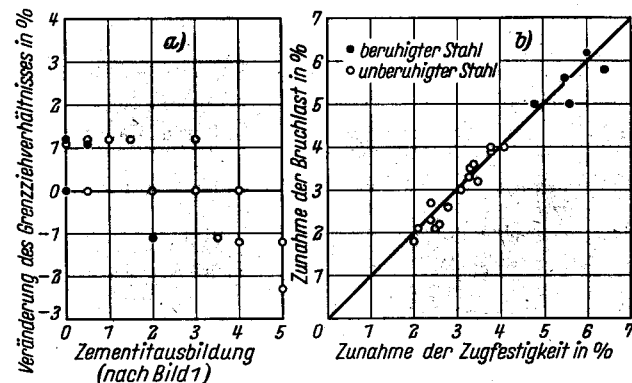


Bild 10. Veränderung des Grenzziehverhältnisses beim Näpfchenziehversuch durch das Verzinken, bezogen auf das Verhältnis der kalt gewalzten Bleche in Abhängigkeit von der Zementitbildung (Bestimmung an je zwei nicht gebrochenen Ronden) und Zunahme der Bruchkraft beim Näpfchenziehversuch in Abhängigkeit von der Zunahme der Zugfestigkeit (bestimmt an den gebrochenen Näpfchen)

satz zur Prüfung nach Erichsen bei den verzinkten Blechen größer als bei den unverzinkten. Sie nimmt im gleichen Verhältnis wie die Zugfestigkeit zu (Bild 10b). Das Reißen am Boden des Näpfchens wird also im wesentlichen durch die Zugfestigkeit bestimmt¹⁰⁾.

Während sich die unverzinkten Bleche beim Ziehen auf der Dreistufenpresse fast alle gleich gut verhalten, treten beim Ziehen der verzinkten Bleche erhebliche Unterschiede auf. Ähnlich wie bei den Falzversuchen treten auch

¹⁰⁾ Kriech, A.: Arch. Eisenhüttenwes. 26 (1955) S. 761/67 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 651, u. Werkstoffaussch. 988).

beim Ziehen Risse und Ausbrüche am oberen Rand des gezogenen Topfes auf. In Bild 11 ist das Aussehen solcher Töpfe wiedergegeben und das Verhalten der Bleche nach der in diesen Einzelbildern dargestellten Einstufung für die verschiedenen Zementitausbildungen zusammengestellt. Man sieht, daß auch hier, ähnlich wie beim Falzen, das Ziehverhalten bei sehr grober Zementitausbildung außerordentlich schlecht ist.

Die mechanischen Eigenschaften der normalgeglühten, warm gewalzten Bleche, die zum Vergleich mit verzinkt

den kalt gewalzten Blechen etwa entspricht. Eine solche Ausbildung sollte daher nach Möglichkeit vermieden werden.

Die Eigenschaften der Zinküberzüge

Die Zinkauflage der Bleche schwankt in engen Grenzen. Sie ist bei den im Werk A verzinkten Blechen mit etwa 410 bis 450 g/m² doppelseitig am größten und bei den im Werk C verzinkten mit etwa 350 bis 380 g/m² doppelseitig am kleinsten. Bei den im Werk B verzinkten Blechen liegt sie mit etwa 360 bis 395 g/m² doppelseitig nur geringfügig

| Erhischen | | | | Ziehpressenversuch ⁴⁾ | | |
|------------|--|--|------------|----------------------------------|---------|---------|
| Verhältnis | Tiefung beim Einreißen des Zinküberzuges | Werk C Tiefung des verzinkten Bleches | Verhältnis | Werk A | Werk B | Werk C |
| 0,73 | 7 | 10,2 | 0,69 | 2 bis 3 | 2 bis 3 | 1 |
| 0,92 | 6 | 7,7 | 0,78 | 2 | 2 | 0 bis 1 |
| 0,53 | 5 | 8,4 | 0,60 | 3 | 1 | 0 |
| 0,79 | 8 | 10,0 | 0,80 | 3 | 2 | 0 |
| 0,61 | 7 | 10,1 | 0,69 | 2 bis 3 | 1 | 0 bis 1 |
| 0,87 | 5 | 7,1 | 0,70 | 2 | 1 | 1 |
| 0,54 | 6 | 8,0 | 0,75 | 3 | 1 bis 2 | 0 |
| 0,68 | 9 | 10,5 | 0,86 | 1 | 2 | 3 |
| 0,49 | 6 | 8,7 | 0,69 | 2 bis 3 | 3 | 0 |
| 0,86 | 7 | 9,1 | 0,88 | 2 bis 3 | 2 bis 3 | 1 |
| 0,85 | 8 | 9,5 | 0,84 | 3 | 3 | 1 bis 2 |
| 0,65 | 9 | 11,2 | 0,80 | 0 bis 1 | 0 bis 1 | 2 |
| 0,83 | 8 | 9,9 | 0,81 | 1 bis 2 | 1 bis 2 | 1 |
| 0,61 | 8 | 9,9 | 0,81 | 2 | 3 | 2 |
| 0,81 | 7 | 8,3 | 0,84 | 2 | 3 | 0 bis 1 |
| 0,73 | 10 | 11,2 | 0,89 | 1 | 3 | 2 bis 3 |
| 0,56 | 9 | 10,7 | 0,84 | 2 | 1 bis 2 | 1 bis 2 |
| 0,93 | 9 | 11,1 | 0,81 | 2 | 3 | 2 bis 3 |
| 0,66 | 10 | 11,4 | 0,88 | 1 | 2 | 2 |
| 0,78 | 8 | 10,5 | 0,76 | 1 bis 2 | 3 | 1 bis 2 |
| — | 7 | 9,7 | 0,72 | — | — | 0 bis 1 |
| 0,69 | — | — | — | — | 2 bis 3 | — |
| — | 8 | 10,7 | 0,75 | — | — | 1 |
| 0,80 | — | — | — | — | 2 bis 3 | — |
| 0,84 | — | — | — | — | 2 | — |
| — | 8 | 10,0 | 0,80 | — | — | 2 |

blätterter Zinküberzug. ⁴⁾ 3 = glatt, 2 = rau, 1 = Risse, 0 = abgeblätterter Zinküberzug.

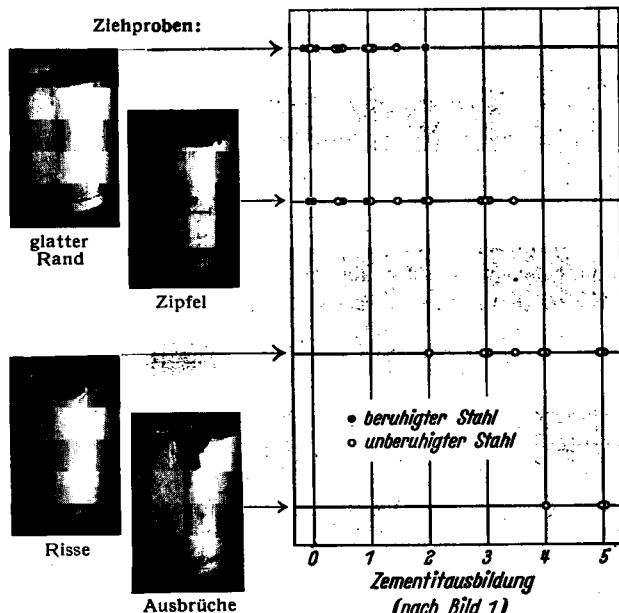
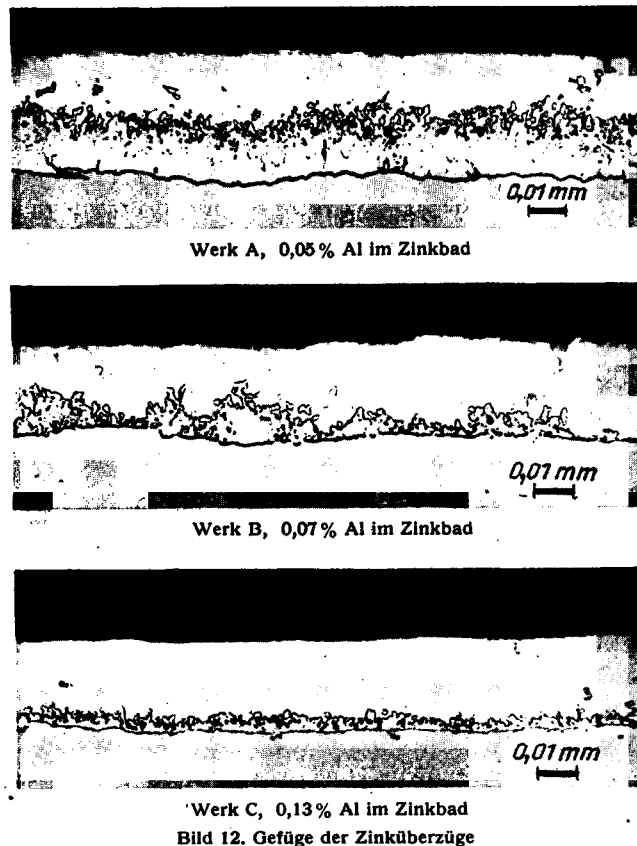


Bild 11. Verhalten der verzinkten Bleche beim Ziehen auf einer Dreistufenpresse in Abhängigkeit von der Zementitausbildung

wurden, ändern sich beim Verzinken nur wenig, da diese Bleche wesentlich weniger im Zinkbad altern (Tafel 3). Das Verhalten solcher Bleche beim Falzen und Ziehen ist dann besonders schlecht, wenn das Eisenkarbid auf den Korngrenzen des Ferrits als Korngrenzzenementit ausgeschieden ist, also in einer Form, die der sehr groben Ausbildung bei



höher als bei den im Werk C verzinkten (Tafel 4). Ein Zusammenhang der Zinkauflage mit der Erschmelzungsart des Stahles und der chemischen Zusammensetzung und dem Gefüge der Bleche läßt sich nicht feststellen. Die geringen Unterschiede der Dicke der Zinküberzüge der im gleichen Werk verzinkten Bleche dürften daher auf noch nicht bekannte Oberflächeneinflüsse und geringe Schwankungen der Dicke der Reinzinkschicht beruhen, die durch die Ausziehbedingungen beeinflusst werden. Die deutlicheren Unterschiede der mittleren Zinkauflagen der in den einzelnen Werken verzinkten Bleche ist dagegen auf verschieden dick ausgebildete Eisen-Zink-Legierungsschichten zurückzuführen. Diese Legierungsschicht ist bei den im Werk A verzinkten Blechen mit der größten Zinkauflage verhältnismäßig dick, bei den im Werk B verzinkten Blechen ist sie im allgemeinen etwas ungleichmäßig und bei den im Werk C verzinkten Blechen mit der geringsten Zinkauflage meistens ziemlich dünn ausgebildet (Bild 12). Die Ursache für diese Erscheinung ist der Aluminiumgehalt der einzelnen Zinkbäder, da Aluminium die Bildung und das Wachstum der Eisen-Zink-Legierungsschichten mit steigender Zugabe unter Bildung andersartig aufgebauter Legierungsschichten immer mehr hemmt¹¹⁾ ¹²⁾. In dem Zinkbad des Werkes A mit

¹¹⁾ Horstmann, D.: Arch. Eisenhüttenwes. 27 (1956) S. 297/302 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 684, u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 22).

¹²⁾ Cameron, D. I., u. M. K. Orman: 6. International conference on hot dip galvanizing 1961 at Interlaken. Prepr. 4, Sess. 6a.

0,05% Al tritt daher diese Hemmwirkung fast gar nicht und im Zinkbad des Werkes B mit 0,07% Al nur zum Teil ein, und nur im Zinkbad des Werkes C wird das Wachstum der Legierungsschicht durch den deutlich höheren Aluminiumgehalt von 0,13% stärker gehemmt.

Die Haftfestigkeit des Zinküberzuges am Blech bei einer Umformung ist bei den in den einzelnen Werken verzinkten Blechen sehr unterschiedlich (Tafel 4). Die

gestellt werden, daß diese stark vom Phosphorgehalt des Drahtes abhängt. Daher wurde auch hier versucht, die Ergebnisse der Falzversuche mit dem Phosphorgehalt des Bleches in einen Zusammenhang zu bringen. Dabei ergibt sich, daß der Zinküberzug bei den im Werk A verzinkten Blechen mit steigendem Phosphorgehalt besser und bei den im Werk C verzinkten schlechter haftet (Bild 13). Bei den im Werk B verzinkten Blechen schwanken die

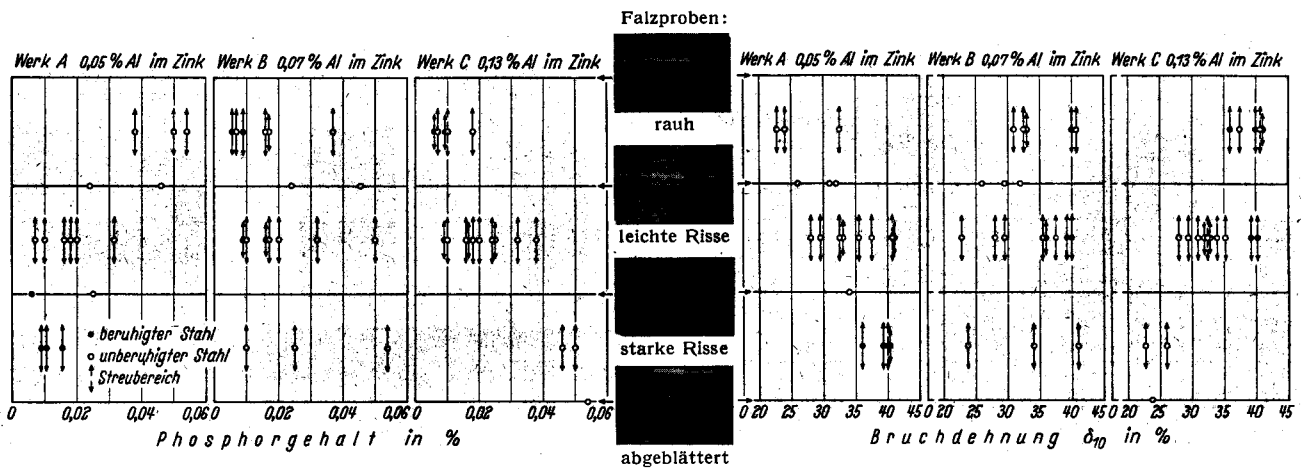


Bild 13. Verhalten des Zinküberzuges beim Falzen* in Abhängigkeit vom Phosphorgehalt und der Bruchdehnung des Bleches

Ergebnisse der Falzversuche zeigen, daß bei den im Werk A verzinkten Blechen der Zinküberzug auf Blechen aus unberuhigtem Thomas- und windgefrischtem Sonderstahl im allgemeinen deutlich besser haftet als auf den anderen Blechen. Besonders ungünstig ist das Ergebnis bei Blechen

Gütwerte, ohne daß eine Abhängigkeit erkennbar ist. Da die Bruchdehnung der Bleche mit steigendem Phosphorgehalt abnimmt, kann man annehmen, daß sich der Phosphor über seinen Einfluß auf das Dehnungsverhalten auswirkt. In Bild 13 ist daher auch das Verhalten der Zink-

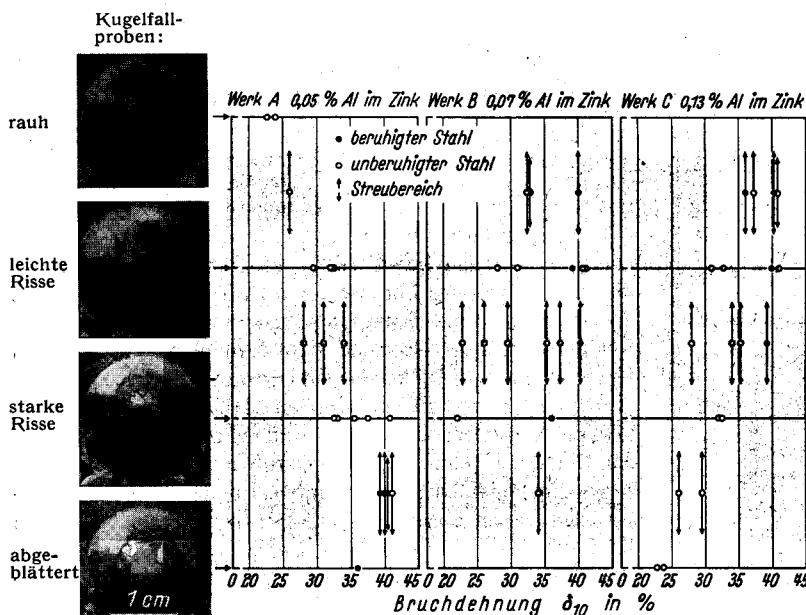


Bild 14. Verhalten des Zinküberzuges bei der Kugelfallprobe in Abhängigkeit von der Bruchdehnung des Bleches (Mittelwert aus drei Versuchen)

aus beruhigtem Stahl. Bei den im Werk C verzinkten Blechen findet man dagegen ein genau umgekehrtes Verhalten. Hier haftet der Zinküberzug auf Blechen aus unberuhigtem Stahl besonders gut und auf Blechen aus unberuhigtem Stahl im allgemeinen deutlich schlechter. Nur bei den im Werk B verzinkten Blechen ist kein eindeutiger Zusammenhang festzustellen. Bei früheren Untersuchungen über die Haftfestigkeit von Zinküberzügen auf Drähten¹³⁾ konnte fest-

¹³⁾ Horstmann, D.: Stahl u. Eisen 78 (1958) S. 1456/62 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 782, Aussch. Drahtverarbeitung 83 u. Gemeinschaftsaussch. Verzinzen 30).

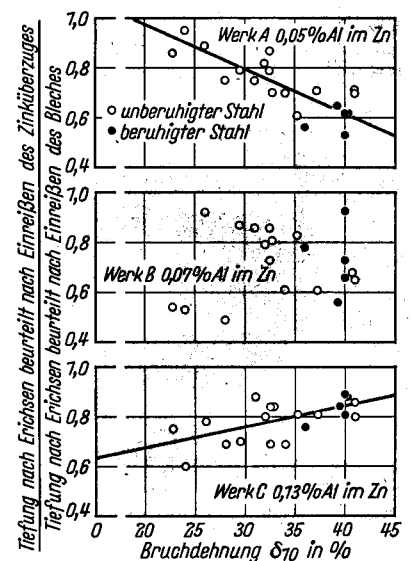


Bild 15. Verhältnis der Tiefe nach Erichsen beim Einreißen des Zinküberzuges zur Tiefe nach Erichsen beurteilt nach Einreißen des Bleches in Abhängigkeit von der Bruchdehnung des Bleches

überzüge beim Falzen in Abhängigkeit von der Bruchdehnung aufgetragen. Man erkennt aus dieser Darstellung, daß sich die Zinküberzüge der im Werk A verzinkten Bleche besonders schlecht falzen lassen, wenn die Bruchdehnung groß ist, während sie sich bei den im Werk C verzinkten Blechen gerade dann besser falzen lassen. Dies verschiedenartige Verhalten der in den einzelnen Werken verzinkten Bleche läßt erkennen, daß der Aufbau und die Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschichten, die bei den Blechen der drei Werke verschieden sind, einen wesentlichen Einfluß auf

die Haftfestigkeit des Zinküberzuges haben, der jedoch vom Dehnungsverhalten des Bleches abhängt. Die Versuchsergebnisse zeigen, daß ein Zinküberzug mit einer dickeren Legierungsschicht (Werk A) dann besser am Blech haftet,

einreißt, zu der Tiefung, bei der das Blech aufreißt, den gleichen Verlauf in Abhängigkeit von der Bruchdehnung des Bleches und der Ausbildung der Legierungsschicht (Bild 15). Das gleiche Bild ergibt sich auch, wenn man das Aussehen

der auf der Dreistufenpresse gezogenen Töpfe in Abhängigkeit von der Bruchdehnung beurteilt (Bild 16). Das Zusammenwirken der Eigenschaften des Bleches mit denen des Zinküberzuges ist hier also auch maßgebend für das Verhalten beim Tiefziehen.

Die Haftfestigkeit der Zinküberzüge auf den warm gewalzten Blechen ist im allgemeinen etwas besser als die auf kalt gewalzten, was auf die größere Oberflächenrauheit zurückzuführen sein dürfte. Hier scheinen die gleichen Abhängigkeiten vom Phosphorgehalt oder der Bruchdehnung des Bleches und dem Aufbau des Zinküberzuges vorzuliegen, doch gestatten die wenigen Versuchsergebnisse keine sichere Aussage.

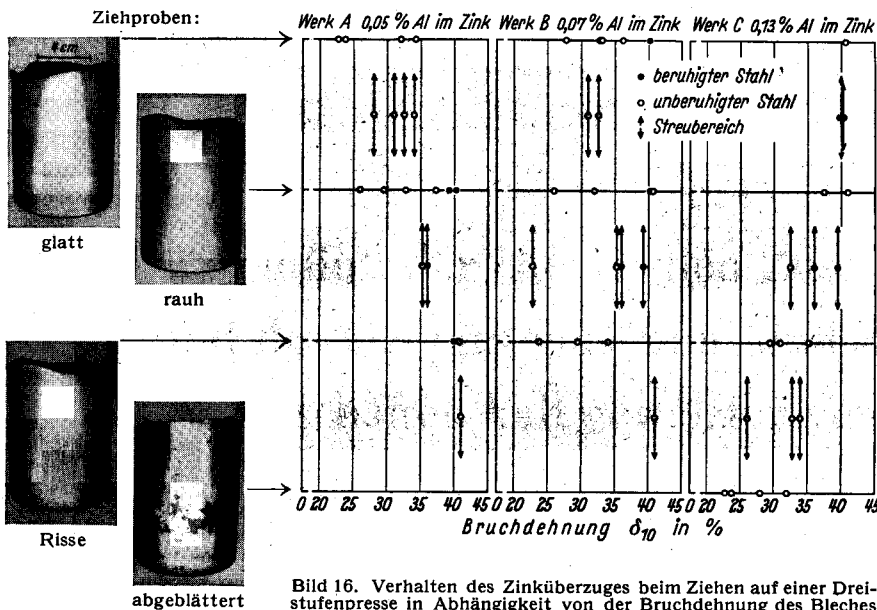


Bild 16. Verhalten des Zinküberzuges beim Ziehen auf einer Dreistufenpresse in Abhängigkeit von der Bruchdehnung des Bleches

wenn der Phosphorgehalt groß und die Bruchdehnung klein ist, während ein Zinküberzug mit einer sehr dünnen Legierungsschicht (Werk C) umgekehrt dann besser haftet, wenn der Phosphorgehalt klein und damit die Bruchdehnung groß ist. Worauf dieses verschiedenartige Verhalten zurückzuführen ist, kann nicht eindeutig gesagt werden. Es dürfte aber mit den verschiedenen Dehnungseigenschaften der spröden und wenig verformbaren Eisen-Zink-Legierungsschicht und der weichen und gut verformbaren Reinzinkschicht zusammenhängen, die sich mit den vorgegebenen Eigenschaften des Bleches überlagern.

Die gleiche Abhängigkeit der Haftfestigkeit des Zinküberzuges von der Bruchdehnung des Bleches findet man bei der Kugelfallprobe, bei der eine Kugel mit einer bestimmten Kraft gegen das Blech geschlagen wird (Bild 14). Auch hier verhält sich der Zinküberzug bei den im Werk A verzinkten Blechen mit der dickeren Eisen-Zink-Legierungsschicht besser, wenn die Bruchdehnung klein ist. Bei den im Werk C verzinkten Blechen mit der dünnen Legierungsschicht haftet der Zinküberzug bei Blechen mit größerer Bruchdehnung besser als bei Blechen mit geringerer. Bei den im Werk B verzinkten Blechen mit der ungleichmäßigen Legierungsschicht ist auch hier keine Abhängigkeit festzustellen. Dieser Befund dürfte ebenfalls auf die angedeuteten Wechselwirkungen zwischen der Bruchdehnung und den Eigenschaften der Eisen-Zink-Legierungsschichten und der Reinzinkschicht zurückzuführen sein.

Auch bei einer Ziehbeanspruchung verhält sich der Zinküberzug ähnlich wie beim Falzen und einer schlagartigen Verformung. So zeigt das Verhältnis der Tiefung nach Erichsen, bei der der Zinküberzug deutlich sichtbar

Zusammenfassung

Untersuchungen über den Einfluß der Erschmelzungsart des Stahles, der chemischen Zusammensetzung und des Gefüges auf die Eigenschaften kalt gewalzter verzinkter Feinbleche haben ergeben, daß die Eigenschaften der unverzinkten Bleche, wenn die Walz- und Glühbedingungen annähernd die gleichen waren, im wesentlichen von ihrer chemischen Zusammensetzung, besonders vom Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorgehalt, abhängen. Außerdem spielt es eine Rolle, ob der Stahl unberuhigt oder beruhigt vergossen wurde. Durch die beim Feuerverzinken eintretende kurzzeitige Anlaßbehandlung werden diese Eigenschaften mehr oder weniger stark verändert, wobei diese Änderungen um so größer sind, je gröber der Zementit in den Blechen ausgeschieden ist, wenn die Größe des Ferritkornes nicht wesentlich unterschiedlich ist. Die Haftfestigkeit des Zinküberzuges bei einer Verformung des Bleches hängt sehr stark von den mechanischen Eigenschaften des Bleches, besonders der Bruchdehnung, ab. Außerdem ist die Ausbildung der Eisen-Zink-Legierungsschicht von einem entscheidenden Einfluß, die durch den Aluminiumgehalt des Zinkbades verändert werden kann. Eine dickere Legierungsschicht führt dazu, daß die Haftfestigkeit besser wird, wenn die Bruchdehnung klein ist, was durch einen größeren Phosphorgehalt des Bleches erreicht werden kann. Bei einer dünnen Legierungsschicht bewirkt dagegen eine größere Bruchdehnung ein besseres Verhalten. Durch Auswahl eines Bleches mit einer dem Verwendungszweck entsprechenden chemischen Zusammensetzung und eines Gefüges mit möglichst fein verteiltem Zementit ist es dann durch Einhalten bestimmter Verzinkungsbedingungen möglich, ein verzinktes Blech herzustellen, das den Anforderungen genügt.