

## Untersuchung der Herstellungsbedingungen für feuerverzinkte Stahldrähte mit möglichst dicker und hafter Zinkauflage

Von Hans Krautmacher in Dortmund und Paul Funke jun. in Clausthal

[Bericht Nr. 119 des Ausschusses für Drahtverarbeitung und Bericht Nr. 51 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken\*)]

*Einflüsse verschiedener Zinksorten auf die Ausbildung des Zinküberzuges, Einfluß der Erschmelzungsart des Stahles auf die Eigenschaften feuerverzinkter Drähte, Einfluß des Ziehhol-Öffnungswinkels auf den Zinkverlust beim Ziehen, Wirkung der Abstreifbedingungen auf die äußere Beschaffenheit der Zinkauflage. Einfluß der Ausziehgeschwindigkeit, der Zinkbadtemperatur und der Tauchzeit auf die Haftfestigkeit der Zinkschicht und auf die mechanischen Eigenschaften der verzinkt gezogenen Drähte. Überprüfung der Laboratoriumsergebnisse in einem gesteuerten Betriebsversuch.*

*Study of the production conditions for hot-dip galvanized steel wire with zinc coats as thick and adherent as possible. Influences of various zinc grades on the formation of the zinc coat; effect of the steel melting process on the properties of hot-dip galvanized wire, effect of the approach angle of the drawing die on the zinc loss during drawing, effect of the wiping process on the outside condition of the zinc coat. Influences of the speed of withdrawing, of the zinc bath temperature and dipping time on the adhesion of the zinc coat as well as on the mechanical properties of wire drawn in the galvanized condition. Verification of the laboratory test results in a programmed production trial.*

*Etude des conditions de fabrication pour les fils d'acier galvanisés à chaud montrant un revêtement avec des épaisseurs et adhérences aussi élevées que possible. Influence de différentes nuances de zinc sur la formation de la couche de zinc; influence du procédé d'élaboration de l'acier sur les propriétés de fils galvanisés à chaud, influence de l'angle d'ouverture de la filière sur la perte en zinc lors de l'étréage, effet des conditions de dépouillement sur l'aspect extérieur du revêtement. Influence de la vitesse d'extraction, de la température du bain de zinc et de la durée d'immersion sur la résistance à l'adhérence de la couche de zinc et sur les propriétés mécaniques des fils étirés en état zingué. Vérification des résultats obtenus en laboratoire dans un essai de production programmé.*

Beim Verzinken von Stahldrähten mit hoher Zugfestigkeit für Seile unterscheidet man das elektrolytische Verzinken und das Feuerverzinken.

Das elektrolytische Verzinken wird bei Temperaturen von 20 bis 40 °C durchgeführt, so daß die technologischen Eigenschaften der vorher kalt gezogenen Drähte nicht beeinflusst werden. Außerdem bildet sich beim elektrolytischen Verzinken keine Hartzinkschicht und die Zinkauflage ist daher wickelfest. Bei dieser Art der Verzinkung wird der Draht entweder nach dem Ziehen mit der für den fertigen Draht erforderlichen Auflage verzinkt oder unmittelbar nach dem Patentieren mit einer sehr dicken Auflage verzinkt, die über 800 g/m<sup>2</sup> betragen kann, und anschließend an die Fertigabmessung gezogen.

Beim Feuerverzinken wird der Draht nach dem Reinigen in einem schmelzflüssigen Bad bei einer Temperatur von etwa 450 °C verzinkt. Durch diese Behandlung wird der Draht angelassen, und seine mechanischen Eigenschaften, besonders die Biege- und Verwindzahlen, werden mehr oder weniger stark vermindert. Während beim elektrolytischen Verzinken auf die Dicke der Zinkauflage nur die Konzentration des Elektrolyten, die Verweilzeit im Bad und die Stromstärke einen Einfluß haben, sind die Einflußgrößen beim Feuerverzinken wesentlich zahlreicher. Sowohl für die Änderung der mechanischen Eigenschaften als auch

für die Dicke der Zinkauflage und den Anteil der Hartzinkschicht sind folgende Einflußgrößen bestimmend:

- a) Tauchdauer des Drahtes im Zinkbad,
- b) Ausziehgeschwindigkeit des Drahtes aus dem Zinkbad,
- c) Temperatur des Zinkbades,
- d) Chemische Zusammensetzung des Zinkbades,
- e) Chemische Zusammensetzung des Drahtes,
- f) Gefügeausbildung und Reckgrad des Drahtes.

Auf die Einzelheiten der sich beim Feuerverzinken abspielenden Vorgänge soll hier nicht weiter eingegangen werden, da sie im Schrifttum<sup>1) bis 10)</sup> weitgehend niedergelegt sind. Für das Feuerverzinken von Stahldrähten gelten folgende grundsätzliche Erkenntnisse.

Mit zunehmender Tauchzeit wächst die Hartzinkschicht. Nach H. Bablik<sup>11)</sup> beschränkt sich das Wachstum vor allem auf die Palisadenschicht (Deltaschicht), während die übrigen Eisen-Zink-Legierungsschichten weniger schnell wachsen. Eine dickere Hartzinkschicht ist besonders bei Seildrähten von Nachteil, da der Überzug beim Wickeln

\*) Die Untersuchungen wurden von Herrn Peter Zabel im Rahmen seiner von dem Institut für Verformungs- und Walzwerkskunde der Technischen Hochschule Clausthal genehmigten Diplom-Arbeit in der Versuchsanstalt und im Werk Lippstadt der Westfälische Union Aktiengesellschaft für Eisen- und Drahtindustrie, Hamm (Westf.), durchgeführt.

<sup>1)</sup> Machu, W.: Metallische Überzüge. 3. Aufl. Leipzig 1948. S. 34.  
<sup>2)</sup> Schramm, J.: Z. Metallkde. 29 (1937) S. 222/24; vgl. Stahl u. Eisen 57 (1937) S. 1082.  
<sup>3)</sup> Schramm, J.: Z. Metallkde. 28 (1936) S. 203/07.  
<sup>4)</sup> Bablik, H.: Korrosion u. Metallsch. 14 (1938) S. 168/72.  
<sup>5)</sup> Wurst, H.: Z. Metallkde. 29 (1937) S. 224/29; vgl. Stahl u. Eisen 57 (1937) S. 1082.  
<sup>6)</sup> Bablik, H.: Das Feuerverzinken. Wien 1941. S. 97.  
<sup>7)</sup> Halla, F., R. Weil u. F. Götzl: Z. Metallkde. 31 (1939) S. 112/13.  
<sup>8)</sup> Schumann, H.: Metallographie. 3. Aufl. Leipzig 1960. S. 264.  
<sup>9)</sup> Imhoff, W. G.: Wire W. Prod. 30 (1955) S. 553/56 u. 605; vgl. Stahl u. Eisen 76 (1956) S. 413.  
<sup>10)</sup> Wie <sup>9)</sup>; s. bes. S. 129.  
<sup>11)</sup> Wie <sup>9)</sup>; s. bes. S. 112.

aufreißt oder abblättert und sich beim Ziehen nicht einwandfrei verformen läßt.

Mit zunehmender Ausziehgeschwindigkeit nimmt nach Untersuchungen von W. G. Imhoff<sup>12)</sup> die Dicke der Zinkauflage zu. Bei hohen Geschwindigkeiten wird flüssiges Zink aus der Pfanne mitgerissen und erstarrt auf der Drahtoberfläche, ehe es in das Bad zurücktropfen kann. Durch die Steigerung der Gesamtauflage nimmt der Anteil der Hartzinkschicht am Gesamtüberzug ab. Eine obere Grenze ist der Steigerung der Ausziehgeschwindigkeit dadurch gesetzt, daß mit zunehmender Geschwindigkeit bei gleichbleibender Tauchstrecke die Tauchzeit schließlich so kurz wird, daß durch die Eisen-Zink-Diffusion kein haftfähiger Zinküberzug auf dem Draht mehr erreicht werden kann.

Der Angriff des Zinks auf Stahl verläuft nach zwei verschiedenen Temperaturgesetzen<sup>13)</sup> bis 16). Unterhalb 490 °C und oberhalb 520 °C ist das Zeitgesetz parabolförmig; in dem dazwischenliegenden Temperaturbereich geradlinig bei höherer Geschwindigkeit des Zinkangriffes. Mit zunehmender Badtemperatur nimmt die Dicke der Zinkschicht zu<sup>17)</sup>, und zwar ist die Schichtdickenzunahme in erster Linie auf ein verstärktes Wachsen der Hartzinkschicht zurückzuführen, da mit steigender Temperatur die Diffusionsbedingungen begünstigt werden. Die Reinzinkschicht wird mit steigender Temperatur immer dünner, da die Viskosität des Zinkbades mit steigender Temperatur abnimmt. Dadurch haftet beim Herausziehen des Drahtes aus dem Bad weniger Reinzink an der ausgebildeten Legierungsschicht.

Für die Feuerverzinkung werden im allgemeinen drei Zinksorten verwendet:

- Hüttenroh-zink mit 97 bis 98 % Zn,
- Feinzink mit 99,9 bis 99,99 % Zn,
- Elektrolytzink mit mindestens 99,995 % Zn.

Die Verunreinigungen des Hüttenroh-zinkes bestehen hauptsächlich aus 2 bis 3 % Pb, etwa 0,03 % Fe sowie geringen Mengen an Kadmium, Antimon und Arsen. Beim Feinzink bestehen die Hauptverunreinigungen ebenfalls aus Blei; als weitere Begleitelemente treten Kupfer, Aluminium, Zinn, Eisen und Kadmium auf<sup>18)</sup>. Auf die Löslichkeit des Eisenuntergrundes und auf die Dicke der Zinkauflage haben die aufgeführten Begleitelemente in den hier angegebenen Anteilen keinen nachweisbaren Einfluß<sup>19)</sup>. Nach D. Horstmann<sup>20)</sup> erhöhen größere Gehalte an Eisen und Blei die Viskosität der Zinkschmelze und fördern so das Auftreten einer dickeren Reinzinkschicht, da solche Bäder bei etwas niedrigerer Temperatur benutzt werden können. Von starkem Einfluß ist der Aluminiumgehalt eines Zinkbades. Hierüber wird im Schrifttum von H. Bablik, D. Horstmann und anderen Verfassern<sup>18)</sup> bis 23) ausführlich berichtet.

Untersuchungen an verzinkten Blechen<sup>24)</sup> 25) haben bisher ergeben, daß die Höhe der Zinkauflage von der Erschmelzungssart des Stahles unabhängig ist; bei allen

Versuchen handelte es sich jedoch um Stähle mit niedrigem Kohlenstoffgehalt. Nach H. Bablik und F. Götzl<sup>24)</sup> wird die Löslichkeit des Eisens im Zink mit wachsendem Kohlenstoffgehalt stark erhöht, und außerdem ist die Gefügeausbildung des Stahles von Einfluß. Im Gegensatz zu lamellarem Perlit begünstigt eine globulare Zementitusbildung die Löslichkeit des Stahles im Zink sehr. Nahezu ungeklärt sind die Einflüsse, die Silizium, Mangan, Nickel und Chrom auf die Ausbildung der Zinkschicht ausüben. Stickstoffgehalte von über 0,010 % sollen die Bildung der Eisen-Zink-Legierungsschichten erschweren, so daß bei solchen Werkstoffen dünnere Gesamtauflagen als bei stickstoffärmeren Stählen erreicht werden.

Über den Einfluß des Feuerverzinkens auf die mechanischen Eigenschaften wurde des öfteren berichtet<sup>26)</sup> bis 33). Bei längeren Tauchzeiten und höheren Zinkbadtemperaturen nimmt die Zugfestigkeit von gezogenen Drähten ab, und zwar um so mehr, je größer der Reckgrad des Drahtes ist. Allgemein nimmt die Zahl der Biegungen und Verwindungen während dem Verzinken ab, wobei der Abfall bis zu einem Reckgrad von rd. 80 bis 83 % höher ist als bei einem Reckgrad von mehr als 83 %.

Unter Berücksichtigung dieses Standes der Erkenntnisse war das Ziel der Arbeit, durch umfangreiche Laboratoriumsversuche an Stahldrähten unterschiedlicher Erschmelzungsart eine optimale Zinkauflage zu erzeugen, die ein Ziehen des Drahtes mit einer großen Gesamtquerschnittsabnahme von 75 bis 84 % und eine hohe Zinkauflage auf dem nach dem Verzinken gezogenen Draht ermöglichen sollte. Die mechanischen Eigenschaften sollten möglichst einem blankgezogenen Draht entsprechen. In Anlehnung an die Normen DIN 21 254, BS 443 und CSA B 12 — 1950 waren folgende Werte anzustreben:

Drahtdurchmesser . . . . .	2,0 mm
Zugfestigkeit . . . . .	mindestens 180 kg/mm <sup>2</sup>
Biegungen ( $r = 5$ mm) mindestens . .	14
Verwindungen ( $l = 100 \times d$ ) mindestens	20
Zinkauflage mindestens . . . . .	210 g/m <sup>2</sup>

Auf Grund der Erkenntnisse aus den Laboratoriumsversuchen sollte im Betrieb versucht werden, Drähte mit den oben aufgeführten Eigenschaften herzustellen.

### Versuchseinrichtungen

Die ersten Vorversuche wurden in einem Hochtemperaturofen mit 49stufiger Temperaturregelung nach Nernst-Tammann durchgeführt. Das Zinkbad mit einem Gewicht von rd. 3,7 kg befand sich in einem Sillimanit-Tiegel, die Höhe des Bades war 21 bis 22 cm. Die Badtemperatur wurde mit einem Eisen-Konstantan-Thermoelement laufend überwacht.

Die Hauptversuche wurden in einem indirekt beheizten Widerstandsofen durchgeführt, in dessen kaminartigem Schacht der Tiegel hineingehängt wurde. Bei diesem Ofen konnte die Temperatur mit einem Ni-NiCr-Thermoelement über einen Temperaturregler automatisch gesteuert werden.

In großen Bechergläsern oder Erlenmeyerkolben wurde gebeizt, gespült und das Flußmittel aufgebracht.

Die verzinkten Drähte wurden auf einer besonderen Ziehmaschine, wie sie üblicherweise in Ziehsteinpolierereien

<sup>12)</sup> Wire W. Prod. 30 (1955) S. 681/83 u. 726/27.

<sup>13)</sup> Westfälische Union AG, Ber. Nr. 3, 1962, unveröffentl. Arbeit.

<sup>14)</sup> Grubitsch, H.: Stahl u. Eisen 51 (1931) S. 1113/16; 52 (1932) S. 470/71.

<sup>15)</sup> Pügel, W., E. Scheil u. R. Stenkhoff: Arch. Eisenhüttenwes. 9 (1935/36) S. 301/04.

<sup>16)</sup> Horstmann, D.: Arch. Eisenhüttenwes. 27 (1956) S. 85/93 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 655, u. Gemeinsch.-Aussch. Verzinken 19).

<sup>17)</sup> Wiester, H. J., u. D. Horstmann: Untersuchungen über die Güte von Verzinkungen. Forschungsberichte d. Wirtschafts- u. Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen, Nr. 87. Köln usw. 1954.

<sup>18)</sup> Wie \*); s. bes. S. 107.

<sup>19)</sup> Imhoff, W. G.: Wire W. Prod. 30 (1955) S. 167/70 u. 233/35.

<sup>20)</sup> Arch. Eisenhüttenwes. 27 (1956) S. 297/302 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 664, u. Gemeinsch.-Aussch. Verzinken 22).

<sup>21)</sup> Bablik, H., u. F. Götzl: Korrosion u. Metallsch. 17 (1941) S. 128/30.

<sup>22)</sup> Wie \*); s. bes. S. 115.

<sup>23)</sup> Rädker, W., F. K. Peters u. W. Friche: Stahl u. Eisen 81 (1961) S. 1313/21 (Werkstoffaussch. 1293 u. Gemeinsch.-Aussch. Verzinken 39).

<sup>24)</sup> Bablik, H., F. Götzl u. R. Kukaczka: Werkstoff u. Korrosion 2 (1951) S. 163/65.

<sup>25)</sup> Bablik, H.: Korrosion u. Metallsch. 16 (1940) S. 203/06.

<sup>26)</sup> Wie \*); s. bes. S. 130.

<sup>27)</sup> Horstmann, D.: Stahl u. Eisen 82 (1962) S. 338/47; s. bes. S. 345.

<sup>28)</sup> Goerens, P.: Ferrum 1913, S. 226/33; vgl. Stahl u. Eisen 34 (1914) S. 282/85.

<sup>29)</sup> Pügel, W.: Stahl u. Eisen 62 (1942) S. 853/58 u. 876/81 (Aussch. Drahtverarb. 9).

<sup>30)</sup> Wie \*); s. bes. S. 877.

<sup>31)</sup> Wie \*); s. bes. S. 138.

<sup>32)</sup> Loo, H. van de, W. Pügel u. E. H. Schulz: Stahl u. Eisen 51 (1931) S. 1585/90.

<sup>33)</sup> Schikorr, G.: Verhalten von Zink an der Atmosphäre. Berlin 1962. S. 60.

zum Prüfen von Ziehsteinen verwendet wird, mit einer Geschwindigkeit von 1,52 m/min gezogen.

Für Betriebsversuche stand eine Verzinkungsanlage für dreißig Drähte zur Verfügung. Die Länge des Zinkbades war 3,85 m. Die hier verzinkten Drähte wurden auf einer Mehrfach-Überkopfziehmaschine mit einer Ziehgeschwindigkeit von 1,41 m/s an der Endscheibe gezogen.

#### Versuchswerkstoffe

Für die Verzinkungsversuche wurden Elektro Stahl, Sauerstoffaufblas-Stahl und Siemens-Martin-Stahl eingesetzt.

des Flußmittelbades. Vor jedem Verzinkungsversuch wurde die Oxydschicht auf der Oberfläche des Zinkbades so gut wie möglich entfernt. Verschiedene Durchlaufgeschwindigkeiten wurden durch unterschiedliche Ausziehgeschwindigkeiten von Hand eingestellt. Bei einer 20 cm langen Probe entsprach eine Ausziehgeschwindigkeit von 4 s einer Durchlaufgeschwindigkeit von 3 m/min und entsprechend eine Ausziehgeschwindigkeit von 1 s einer Durchlaufgeschwindigkeit von 12 m/min.

Die 5 mm dicken Drähte wurden in sieben Zügen, die 4 mm dicken Drähte in sechs Zügen an 2 mm Durchmesser

Tafel 1. Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften der Versuchswerkstoffe (Drahtdurchmesser 4 und 5 mm)

Stahl	Erschmelzungsart	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Cu	% N
1	Elektrostahl	0,71	0,21	0,52	0,011	0,010	0,01	0,02	0,014
2	Sauerstoffaufblas-Stahl	0,75	0,22	0,57	0,018	0,014	0,08	0,12	0,004
3	Siemens-Martin-Stahl	0,75	0,19	0,68	0,014	0,022	0,05	0,14	0,004

Stahl	Durchmesser mm	Streckgrenze $\sigma_{0,2}$ kg/mm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung $\delta_5$ (%)	Brucheinschnürung %	Biegungen $r = 15$ mm	Verwindungen $l = 100 \times d$
1	5	83,0	118,0	11,9	51,5	9	22
2	5	73,4	128,2	10,4	50,4	7	14
3	5	72,0	125,4	11,3	51,0	10	16
1	4	77,2	118,0	11,9	54,4	15	27
2	4	79,4	124,0	13,3	58,5	17	31
3	4	74,2	123,4	12,6	55,8	17	26

Die chemische Zusammensetzung der Versuchsstähle und die mechanischen Eigenschaften dieser Stähle nach dem Patentieren bei 5,0 oder 4,0 mm Dmr. sind in *Tafel 1* aufgeführt. Stahl 1 weist gegenüber den Stählen 2 und 3 einen etwas niedrigeren Kohlenstoffgehalt auf, enthält jedoch entsprechend seiner Erschmelzungsart 0,014% N gegenüber 0,004% N bei den beiden anderen Stählen. Außerdem bestehen verhältnismäßig große Unterschiede in den Kupfer- und Chromgehalten der Stähle.

Die mechanischen Eigenschaften zeigen keine Besonderheiten. Stahl 1 weist auf Grund des niedrigeren Kohlenstoffgehaltes eine niedrigere Zugfestigkeit auf.

Tafel 2. Chemische Zusammensetzung der Zinksorten

Zinksorte	% Pb	% Fe	% Al	% Sn	% Cu	% Sb
Betriebsprobe	1,38	0,010	Sp.	0,01	0,015	0,01
Hüttenroh-zink	1,25	0,006	<0,005	0,01	0,030	0,01
Feinzink, russisch	0,01	<0,001	<0,005	Sp.	0,005	Sp.
Feinzink, belgisch	0,005	<0,001	<0,005	Sp.	0,005	0,005
Feinzink, kanadisch	0,005	<0,001	<0,005	Sp.	0,003	Sp.

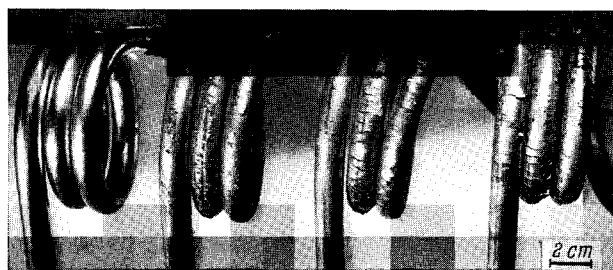
Bei den Laboratoriumsversuchen wurden fünf verschiedene Zinksorten, deren chemische Zusammensetzung in *Tafel 2* enthalten ist, eingesetzt. Probe 1 war eine Schöpfprobe des Zinkbades, in dem später die Betriebsversuche durchgeführt wurden. Dieses Zinkbad wurde aus Hüttenroh-zink erschmolzen.

#### Durchführung der Laboratoriumsversuche

In Vorversuchen wurden die zweckmäßigsten Versuchsbedingungen für das Verzinken im Laboratorium ermittelt. Bei einer Anzeigegenauigkeit der Thermoelemente von  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  konnte die Badtemperatur über die Höhe des Bades auf  $\pm 2^\circ\text{C}$  genau geregelt werden. Der vom Richten der Versuchsdrähte herrührende Fettschmierfilm wurde in Methanol gelöst. Gebeizt wurde in kalter Salzsäure, die im Verhältnis 2 Teile konz. HCl und 1 Teil Wasser angesetzt wurde, während einer Beizzeit von 10 s. Gespült wurden die Drähte unter fließendem Wasser. Als Flußmittelbad wurde Salmiak in einer Konzentration von 135 g/l Wasser bei  $80^\circ\text{C}$  verwendet. Verzinkt wurde etwa 15 s nach Verlassen

gezogen. Die Einzelquerschnittsabnahmen waren 17,5 bis 26%, das Schmiermittel eine Mischung aus Schmierseife und Öl.

Die Drähte wurden nach dem Verzinken und nach dem Ziehen an 2 mm Dmr. geprüft. Die Haftfestigkeit der Zinküberzüge wurde entgegen DIN 1548 — in der bis zu 3,5 mm Drahtdurchmesser das Wickeln um einen Dorn von  $4 \times d$  und bei Drähten mit 3,5 bis 7,5 mm Dmr. das Wickeln um einen Dorn von  $5 \times d$  vorgeschrieben wird — in



Beurteilung:

1 glatt 2 rau 3 rissig 4 abgeblättert

Bild 1. Einteilung zum Beurteilen der Wickelproben, die um einen Durchmesser von  $4 \times d$  gewickelt wurden

verschärfter Form geprüft, und in allen Fällen ein Wickeldurchmesser von  $4 \times d$  angewendet. Beurteilt wurden die Wickelproben nach dem Aussehen. In *Bild 1* ist die Einteilung der Wickelproben nach dem Aussehen in die Gruppen glatt, rau, rissig und abgeblättert dargestellt. Die Zinkauflage wurde mit dem volumetrischen Verfahren nach A. Keller bestimmt. Der Anteil der Legierungsschicht am Gesamtüberzug wurde an geätzten Querschliffen bei 200- oder 500facher Vergrößerung als Mittel aus vier Meßwerten bestimmt. Die mechanischen Eigenschaften wurden in allen Fällen ohne Ablösen des Zinküberzuges auf üblichen Prüfmaschinen ermittelt.

#### Ergebnisse der Vorversuche

Einfluß verschiedener Zinksorten auf die Ausbildung des Zinküberzuges

4 mm dicke Drähte des Stahles 1 wurden bei einer Badtemperatur von  $445^\circ\text{C}$ , einer Tauchzeit von 30 s und einer

Ausziehgeschwindigkeit von 6 m/min in fünf verschiedenen Zinkbädern (Tafel 2) verzinkt. Das Ergebnis ist in Bild 2 dargestellt. Die Auflage auf dem patentierten Draht schwankt

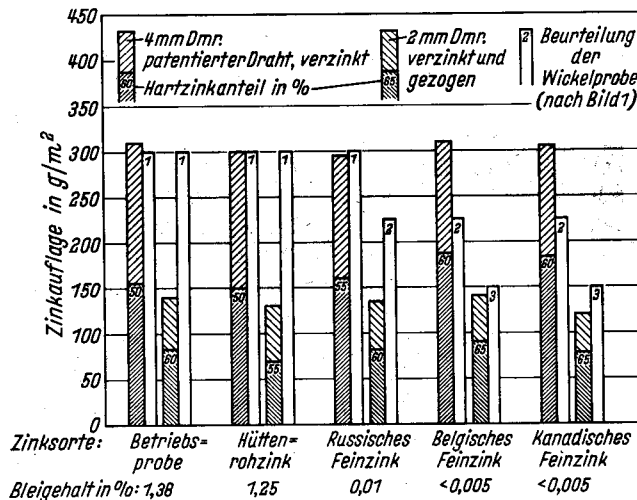


Bild 2. Einfluß verschiedener Zinksorten auf die Zinkauflage, den Hartzinkanteil und die Wickelfestigkeit des Zinküberzuges bei Stahl 1. Verzinkungsbedingungen: Badtemperatur 445 °C, Tauchzeit 30 s, Ausziehgeschwindigkeit 6 m/min)

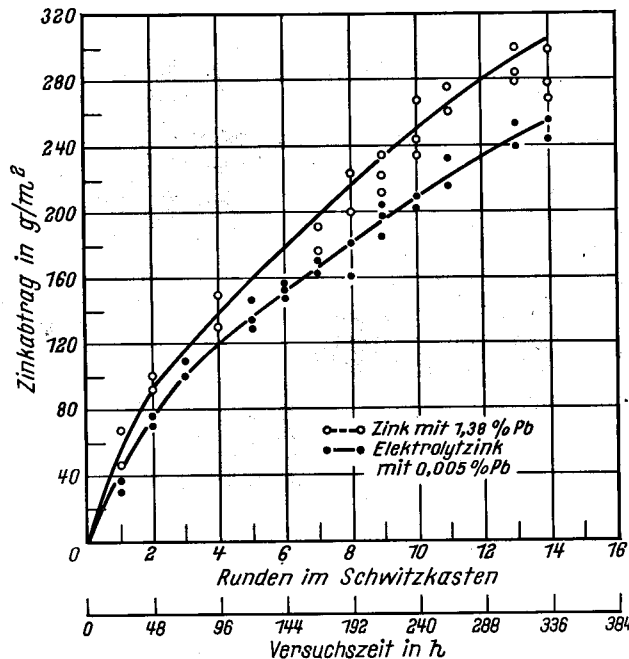
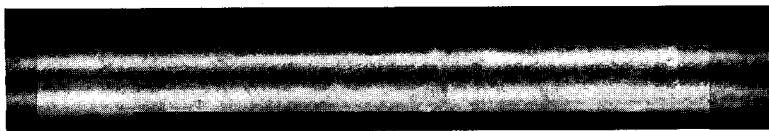
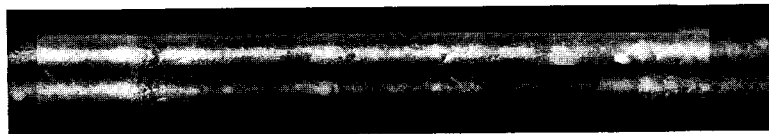


Bild 3. Abhängigkeit des Korrosionswiderstandes verzinkter Drähte im Schwitzkasten vom Bleigehalt des Zinkbades



Verzinkt mit Zink aus dem Betriebsbad (1,38 % Pb)



Verzinkt mit Elektrolytzink (<0,005 % Pb)

Bild 4. Oberflächenbeschaffenheit verzinkter Drähte

zwischen 295 und 310 g/m² bei Hartzinkanteilen von 50 bis 60%; auf dem gezogenen Draht liegt die Zinkauflage zwischen 120 und 140 g/m² bei Hartzinkanteilen von 55 bis 65%. Die Wickelproben bei den Blei enthaltenden Zink-

sorten waren sowohl im verzinkten als auch im verzinkt gezogenen Zustand glatt und erhalten daher in Bild 2 die höchste Beurteilung 1. Bei den Feinzinksorten waren die Zinkoberflächen nach dem Wickeln rau und teilweise nach dem Ziehen rissig (Bild 1). Nach H. Schumann<sup>81)</sup> sind im Zink bei 450 °C etwa 1,4% Pb löslich. Bei der Betriebsprobe liegt also etwa ein mit Blei gesättigtes Zinkbad vor. Allgemein kann festgestellt werden, daß die mit Blei legierten Zinkschichten eine etwas geringere Hartzinkschicht aufweisen und daher offenbar etwas haftfester sind.

An Probedrähten des Stahles 1, die bei 4 mm Dmr. einmal mit Badprobenzink mit 1,38% Pb und zum anderen mit Elektrolytzink mit <0,005% Pb unter gleichen Bedingungen verzinkt und an 3 mm Dmr. gezogen wurden, wurden in einem Schwitzkasten Korrosionsversuche durchgeführt. Die Drähte wurden je Tag 8 h einer gesättigten Wasserdampf-Atmosphäre mit 0,66% SO<sub>2</sub> und 0,66% CO<sub>2</sub> ausgesetzt und 16 h normaler Versuchsräumtemperatur. Nach jeweils 24 h, die einer Runde entsprechen, wurde die Zinkauflage ermittelt und der durch Korrosion abgetragene Zinkanteil berechnet. Bild 3 zeigt die Zinkabtragung während einer Versuchsdauer von 14 Runden. Der Korrosionswiderstand der mit bleireichem Zink (1,38% Pb) verzinkten Drähte ist um rd. 15 bis 20% geringer als bei den mit Elektrolytzink verzinkten Proben. Bild 4 zeigt die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit der verzinkten Drähte. Während der mit dem sehr reinen Elektrolytzink verzinkte Draht ein verhältnismäßig grobkristallines Gefüge aufweist, ist die Oberfläche des mit Hüttenroh-zink verzinkten Drahtes offenbar durch die zahlreicheren Verunreinigungen wesentlich feinkristalliner ausgebildet.

Einfluß der Erschmelzungsart der Stähle 1 bis 3 auf die Eigenschaften der verzinkten Drähte

In Bild 5 sind die Dicken der Zinkauflagen und des Hartzinkanteiles für die Stähle 1 bis 3 einander gegenübergestellt. Verzinkt wurde auch hier bei einer Badtemperatur von 445 °C, einer Tauchzeit von 30 s und einer Ausziehgeschwindigkeit von 6 m/min Badprobenzink. Je Stahl wurden 30 Probedrähte verzinkt. Die mittlere Zinkauflage des Stahles 1 mit 0,014% N lag um etwa 5% unter den Zinkauflagen der Stähle 2 und 3. Der Hartzinkanteil war bei den Stählen 1 und 2 50% und lag bei Stahl 3 um 5% höher. Allgemein kann festgestellt werden, daß kein nennenswerter Einfluß des Werk-

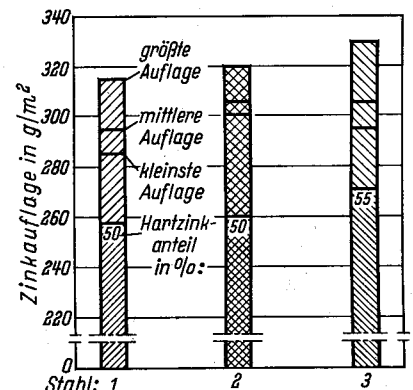


Bild 5. Einfluß des Werkstoffes auf die Zinkauflage und die Ausbildung der Hartzinkschicht. Drahtdurchmesser 4,0 mm (Verzinkungsbedingungen: Badtemperatur 445 °C, Tauchzeit 30 s, Ausziehgeschwindigkeit 6 m/min)

stoffes vorliegt; dies gilt auch für die mechanischen Werte der verzinkten und verzinkt gezogenen Drähte der Stähle 1 bis 3, so daß auf eine Wiedergabe dieser Ergebnisse verzichtet werden kann.

## Einfluß des Ziehhol-Öffnungswinkels auf den Zinkverlust beim Ziehen feuerverzinkter Stahldrähte

Beim Ziehen feuerverzinkter Stahldrähte tritt ein Zinkverlust auf, so daß die wirkliche Höhe der Zinkauflage

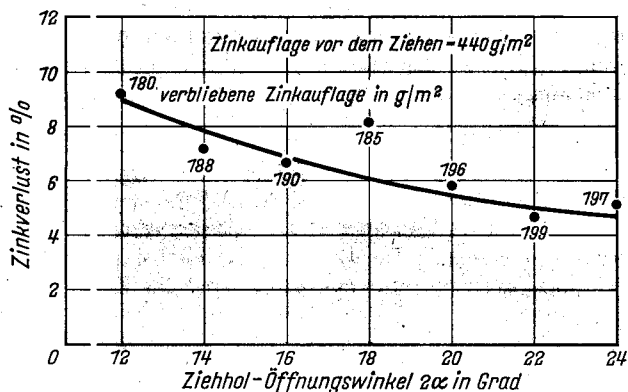


Bild 6. Zinkverluste in Abhängigkeit vom Ziehhol-Öffnungswinkel (Stahl 1, gezogen von 4,0 mm an 2,0 mm Durchmesser;  $\Delta Q_{ges} = 75\%$ )

nach dem Ziehen immer unter der theoretisch möglichen Auflage liegt. Auf einer Versuchsziehmaschine mit einer Ziehgeschwindigkeit von 1,5 m/min wurden Drähte mit 4,0 mm Dmr., einer Zinkauflage von 440 g/m<sup>2</sup> mit 50% Hartzinkanteil in jeweils sechs Zügen bei unterschiedlichen Öffnungswinkeln  $2\alpha$  von 12 bis 24° mit 75% Gesamtquerschnittsabnahme an 2,0 mm Dmr. gezogen. Die Er-

Zinkbadtemperatur 430 °C, Tauchzeit 80 s

Zinkauflage in g/m<sup>2</sup>:

Anteil der Hartzinkschicht in %:

Ausziehgeschwindigkeit in m/s:

445

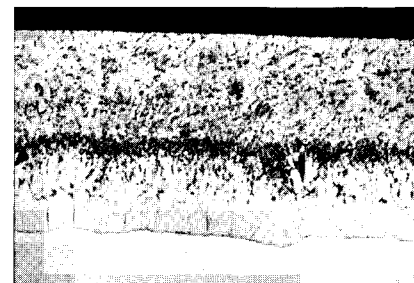
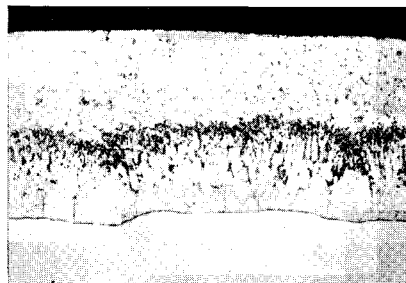
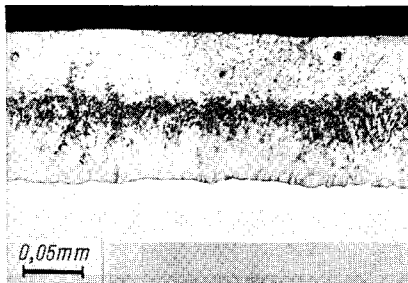
50

6

500

45

12



Zinkbadtemperatur 475 °C, Tauchzeit 80 s

Zinkauflage in g/m<sup>2</sup>:

Anteil der Hartzinkschicht in %:

Ausziehgeschwindigkeit in m/s:

480

76

6

510

72

12

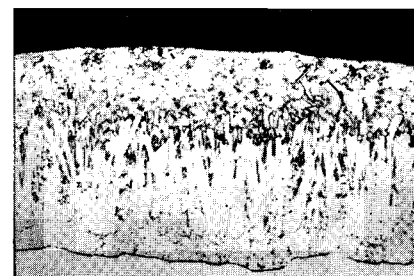
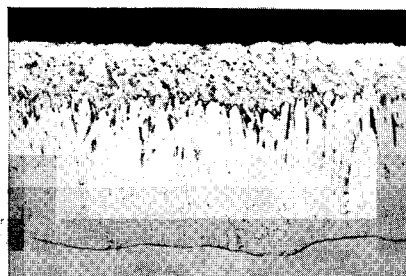
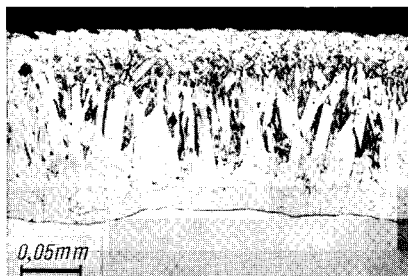


Bild 8. Einfluß der Ausziehgeschwindigkeit und der Zinkbadtemperatur auf die Ausbildung der Zinkschicht bei Stahl 1 (380:1, Original 500:1)

gebnisse sind in Bild 6 dargestellt. Während bei einem Öffnungswinkel von 12° der Zinkverlust bei etwa 9% liegt, ist er bei 22 und 24° rd. 5%. Da außerdem festgestellt wurde, daß der größte Teil des Zinkverlustes, nämlich rd. 60% des Gesamtverlustes, bereits im ersten Zug entsteht, empfiehlt es sich, wenigstens beim ersten Zug beim Ziehen von feuer-

verzinkten Drähten einen möglichst großen Ziehhol-Öffnungswinkel anzuwenden.

## Einfluß der Abstreifbedingungen auf die Beschaffenheit des Zinküberzuges auf Stahldrähten

Beim Ausziehen der feuerverzinkten Stahldrähte ohne Anwendung eines Abstreifbettes wirkt die an der Badoberfläche gebildete Zinkoxydhaut als Abstreifmittel. Die

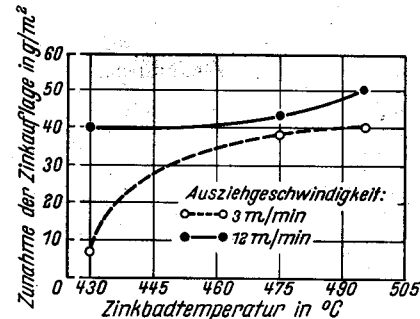


Bild 7. Einfluß eines Kohle-Abstreifbettes auf die Zinkauflage in Abhängigkeit von der Zinkbadtemperatur und der Ausziehgeschwindigkeit

Zähigkeit dieser Oxydschicht ist stark von der Höhe der Badtemperatur abhängig, und somit ist die Ausziehgeschwindigkeit für die Abstreifwirkung dieser Schicht von großem Einfluß. Bei einem Vergleich von Probedrähten, die bei verhältnismäßig hoher Badtemperatur ohne Abstreifbett verzinkt wurden, war zu erkennen, daß bei dem Draht, der mit einer großen Ausziehgeschwindigkeit von 12 m/min ver-

zinkt wurde, die hellen Stellen im gleichen Abstand um etwa das Vierfache häufiger sind als bei einer geringen Ausziehgeschwindigkeit von nur 3 m/min. Bei der Probe, die mit der Ausziehgeschwindigkeit von 12 m/min verzinkt wurde, war an den dunklen Stellen fast nur Hartzink, während an den hellen Stellen Reinzink haftenblieb, so daß die Hartzink-

schicht bei gleicher Dicke wie an den dunklen Stellen nur etwa 65% der Gesamtzinkauflage betrug. Die Oberflächen der verzinkten Drähte — behandelt im Laboratorium mit einem Abstreifbett aus Kohle mit Öl von 5 cm Dicke, das nach jeder Probe erneuert wurde — hatten allgemein gleichmäßigere Auflagen; der Glanz und die Tönung der Oberfläche waren von der Badtemperatur und der Ausziehgeschwindigkeit abhängig.

Bild 7 zeigt den Einfluß der Badtemperatur und der Ausziehgeschwindigkeit bei Anwendung eines Kohle-Abstreifbettes auf die Höhe der Zinkauflage.

### Ergebnisse der Hauptversuche

#### Herstellung der Zinküberzüge

Auf Grund der Erfahrungen in den Vorversuchen wurde bei den weiteren Laboratoriumsversuchen einheitlich fol-

Zinkauflage in  $\text{g/m}^2$ :

Anteil der Hartzinkschicht in %:

Temperatur des Zinkbades in  $^{\circ}\text{C}$ :

345

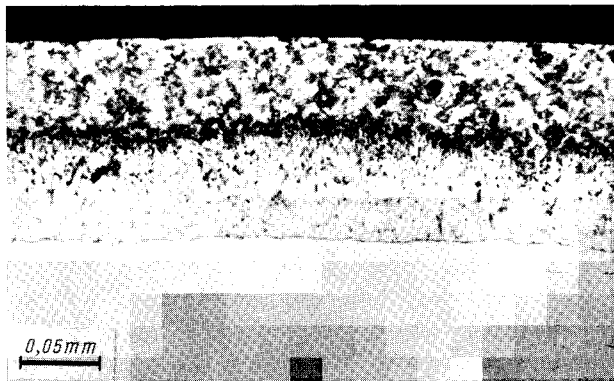
55

430

380

65

460



Zinkauflage in  $\text{g/m}^2$ :

Anteil der Hartzinkschicht in %:

Temperatur des Zinkbades in  $^{\circ}\text{C}$ :

380

70

475

390

80

490

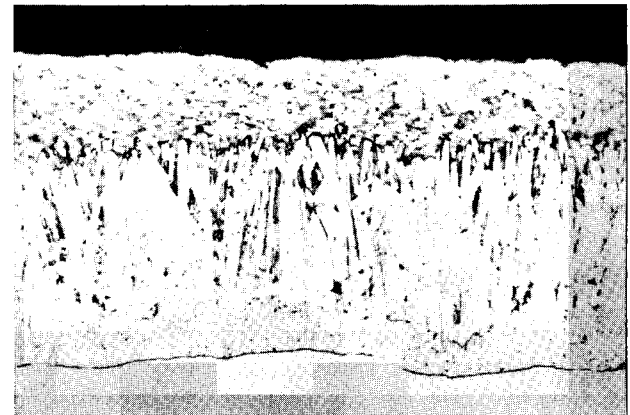
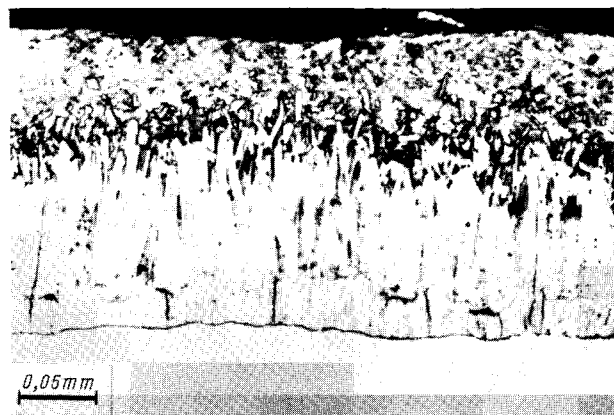


Bild 9. Einfluß der Zinkbadtemperatur auf die Ausbildung der Zinkschicht bei 60 s Tauchzeit und 3 m/min Ausziehgeschwindigkeit (Stahl 1; 2prozentige  $\text{HNO}_3$ ) (500:1)

gende Behandlung der Drahtproben angewendet. Nach guter mechanischer Reinigung wurde 20 s in salzsaurer Lösung aus zwei Teilen konzentrierter Salzsäure und einem Teil Wasser bei einer Beiztemperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  ohne Sparbeizzusatz gebeizt, danach mit kaltem fließendem Wasser gespült, 5 s in eine  $80^{\circ}\text{C}$  heiße Salmiaklösung (135 g/l) getaucht und anschließend 15 s getrocknet. In das Zinkbad wurde der Draht senkrecht eingetaucht und herausgezogen. Das Zinkbad hatte kein Abstreifbett, nach jeder Tauchung wurde das Bad zum Temperatúrausgleich umgerührt und das gesamte Bad nach einer Betriebszeit von 20 Stunden

erneuert. Bei diesen Versuchen wurde nur Zink aus einer Betriebsanlage mit einem Bleighalt von 1,15 bis 1,40% eingesetzt.

Verändert wurden die Tauchzeit, die Ausziehgeschwindigkeit und die Zinkbadtemperatur.

Beim überwiegenden Teil der Versuche wurde Stahl 1 eingesetzt, da in den Vorversuchen ermittelt wurde, daß Stahl 1 gegenüber den Stählen 2 und 3 eine etwas geringere Zinkauflage erhielt.

#### Einfluß der Ausziehgeschwindigkeit

In Bild 8 ist der Einfluß der Ausziehgeschwindigkeit im Bereich von 3 bis 12 m/min bei Zinkbadtemperaturen von  $430^{\circ}\text{C}$  und  $475^{\circ}\text{C}$  an der Ausbildung der Zinkschichten deutlich zu erkennen. Die Tauchzeit war hierbei immer 80 s. Bei einer Badtemperatur von  $430^{\circ}\text{C}$  stieg die Zinkauflage

von 375 über 445 auf  $500 \text{ g/m}^2$  an, der Anteil der Hartzinkschicht fiel mit steigender Ausziehgeschwindigkeit von 60 über 50 auf 45% ab. Bei einer Zinkbadtemperatur von  $475^{\circ}\text{C}$  und ebenfalls gleichbleibender Tauchzeit von 80 s verringerte sich der Einfluß der Ausziehgeschwindigkeit in der Art, daß der Unterschied der Zinkauflage zwischen 3 m/min und 12 m/min nur noch  $50 \text{ g/m}^2$  bei Gesamtauflagen von 460 und  $510 \text{ g/m}^2$  betrug und der Anteil des Hartzinkes, der wegen der höheren Badtemperatur größer ist als bei  $450^{\circ}\text{C}$  Verzinkungstemperatur, fiel von 80 über 76 auf 72%. Dieser unterschiedliche Einfluß der Ausziehgeschwindigkeit

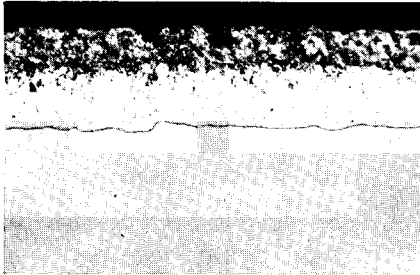


bei verschiedener Badtemperatur ist durch die starke Abhängigkeit der Viskosität des Zinkes von der Temperatur bedingt, und die Größe des Anteiles der Hartzinkschicht ist überwiegend von der Badtemperatur abhängig. Grundsätzlich kann jedoch festgestellt werden, daß in dem untersuchten Bereich von 3 bis 12 m/min Ausziehgeschwindigkeit mit größer werdender Geschwindigkeit die Höhe der Zink-

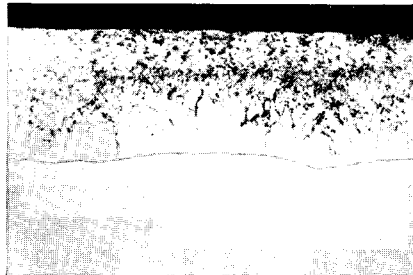
Zinkbadtemperatur 475 °C; Ausziehgeschwindigkeit 3 m/min

Anteil der Hartzinkschicht in %:

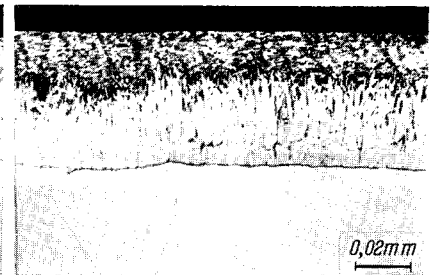
60  
Tauchzeit in s; (mittlere Zinkauflage in g/m<sup>2</sup>)  
15 (255)



68  
30 (315)



71  
45 (350)

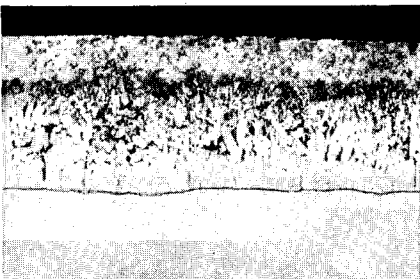


0,02mm

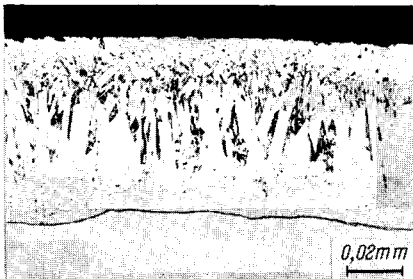
Zinkbadtemperatur 475 °C; Ausziehgeschwindigkeit 3 m/min

Anteil der Hartzinkschicht in %:

74  
Tauchzeit in s; (mittlere Zinkauflage in g/m<sup>2</sup>)  
60 (420)



79  
80 (480)



0,02mm

Bild 10  
Einfluß der Tauchzeit bei konstanter Zinkbadtemperatur und Ausziehgeschwindigkeit auf die Dicke der Zinkauflage und Ausbildung des Zinküberzuges (Stahl 1; 0,2prozentige HNO<sub>3</sub>) (370:1, Original 500:1)

aufgabe steigt und der Hartzinkanteil abnimmt, wobei diese Einflüsse bei einem kalten Zinkbad wesentlich größer sind als bei einem heißen Zinkbad.

#### Einfluß der Zinkbadtemperatur

Bild 9 zeigt die Ausbildung der Zinkschicht bei 60 s Tauchzeit, 3 m/min Ausziehgeschwindigkeit und Zinkbadtemperaturen zwischen 430 und 490 °C. Die Dicke der Zinkauflage steigt zwischen 430 und 460 °C Badtemperatur von 345 auf 380 g/m<sup>2</sup> an, danach ist der Anstieg bis zu 490 °C Badtemperatur nur noch gering und liegt bei 10 g/m<sup>2</sup>. Da die Diffusionsgeschwindigkeit mit der Temperatur zunimmt, steigt der Anteil der Hartzinkschicht mit höher werdender Badtemperatur von 55% bei 430 °C auf 75% bei 490 °C an.

#### Einfluß der Tauchzeit

Der Einfluß der Tauchzeit auf die Ausbildung der Zinkschicht wurde bei 475 °C Badtemperatur und 3 m/min Ausziehgeschwindigkeit untersucht (Bild 10). Mit steigender Tauchzeit im Bereich von 15 bis 80 s steigt die Dicke der Auflage von 255 auf 480 g/m<sup>2</sup> und der Anteil des Hartzinkes von 60 auf 79% an. Die Zunahme der Zinkauflage und die des Hartzinkanteils verlaufen fast linear in Abhängigkeit von der Tauchzeit. Im Mittel nimmt die Zinkauflage um 3,6 g/m<sup>2</sup> je Sekunde Tauchzeit und der Hartzinkanteil um rd. 0,4% je Sekunde Tauchzeit zu.

In Bild 11 ist die Abhängigkeit der Zinkauflage von der Tauchzeit und der Tauchtemperatur bei einer Ausziehgeschwindigkeit von 3 m/min dargestellt. Hier ist deutlich zu erkennen, daß die Verweilzeit im Zinkbad einen wesentlich größeren Einfluß auf die Dicke der Zinkauflage ausübt als die Badtemperatur.

Haftfestigkeit der Zinkschicht in Abhängigkeit von der Tauchzeit und der Tauchtemperatur bei 12 m/min Ausziehgeschwindigkeit

Die Ausziehgeschwindigkeit von 12 m/min wurde angewendet, da bei dieser hohen Geschwindigkeit die allgemein höchsten Zinkauflagen erzielt werden. In Bild 12 ist die Haftfestigkeit, entsprechend der Beurteilung der Wickelprobe

um  $4 \times d$  in Bild 1, in Abhängigkeit von der Tauchzeit und der Tauchtemperatur für 5 mm dicke patentierte Drähte und mit 84% Gesamtquerschnittsabnahme verzinkt gezogene Drähte des Stahles 1 dargestellt. Bei den Zinkbad-

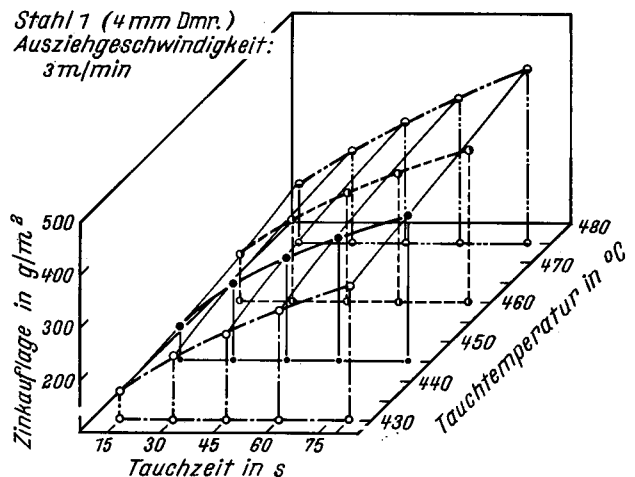


Bild 11. Zinkauflage in Abhängigkeit von der Tauchzeit und der Tauchtemperatur bei gleichbleibender Ausziehgeschwindigkeit

temperaturen 430 und 445 °C bleibt die Oberfläche des verzinkten Drahtes sowohl bei 5,0 mm als auch bei 2,0 mm Dmr. glatt (Beurteilung 1). Bei den Badtemperaturen 460 und 475 °C weisen nur noch die Proben mit sehr kurzer Tauchzeit von 15 s, die auch nur eine verhältnismäßig geringe Zinkauflage und einen kleinen Hartzinkanteil besitzen, eine gute Haftfestigkeit mit der Beurteilung 1 bei 5,0 und 2,0 mm Dmr. auf. Die Drähte mit längerer Tauchzeit sind

rauh oder rissig. Bei der höchsten Badtemperatur von 480 °C weist der Draht mit 5,0 mm Dmr. bei einer Tauchzeit von 15 s noch eine glatte Oberfläche nach dem Wickeln auf, der an 2,0 mm Dmr. gezogene Draht ist jedoch nach der Verformung bereits rauh (Beurteilung 2). Bei den mit Tauch-

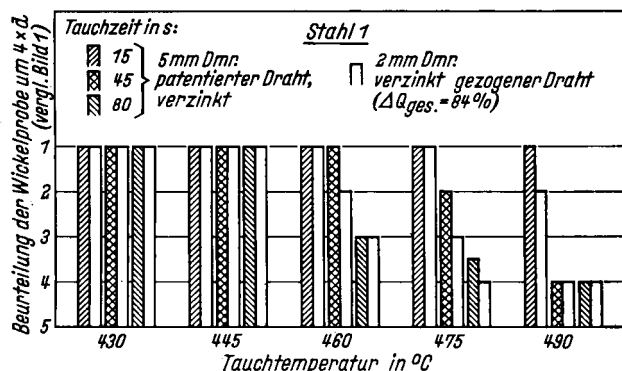


Bild 12. Haftfestigkeit bei der Wickelprobe in Abhängigkeit von der Tauchzeit und der Tauchtemperatur bei einer Ausziehgeschwindigkeit von 12 m/min

zeiten von 45 und 80 s verzinkten Drähten blättert in allen Fällen auf Grund des hohen Hartzinkanteils die Zinkschicht nach dem Wickeln ab.

Einfluß des Drahtwerkstoffes auf die Ausbildung der Zinkschicht und die mechanischen Eigenschaften

Es wurden 5,0 mm dicke patentierte Drähte der Stähle 1 bis 3 bei einer Zinkbadtemperatur von 430 °C, einer Tauchzeit von 80 s und einer Ausziehgeschwindigkeit von 12 m/min

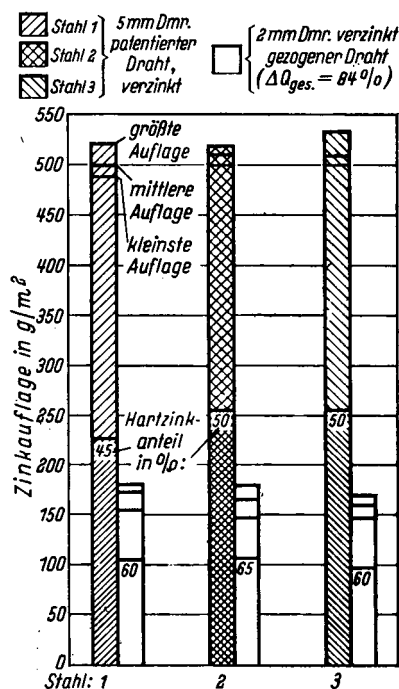
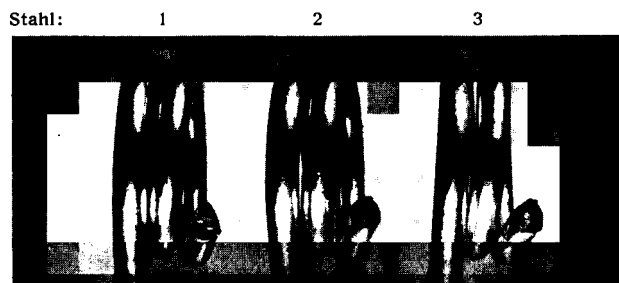


Bild 13. Zinkauflage und Hartzinkanteil bei den Stählen 1 bis 3 (Verzinkungsbedingungen: Badtemperatur 430 °C, Tauchzeit 80 s, Ausziehgeschwindigkeit 12 m/min)

im Laboratorium feuerverzinkt und unter gleichen Bedingungen an 2,0 mm Dmr. gezogen. Die Ergebnisse sind in Bild 13 dargestellt. Stahl 1 mit einem Stickstoffgehalt von 0,014% liegt bei 5,0 mm Dmr. mit einer mittleren Zinkauflage von 500 g/m² 10 g/m² unter den Auflagen der Stähle 2 und 3, die jeweils einen Stickstoffgehalt von 0,004% besitzen. Der Hartzinkanteil des Stahls 1 ist, vermutlich wegen des höheren Stickstoffgehaltes, geringer als bei den beiden anderen Stählen. Nach dem Ziehen mit 84% Gesamtquer-

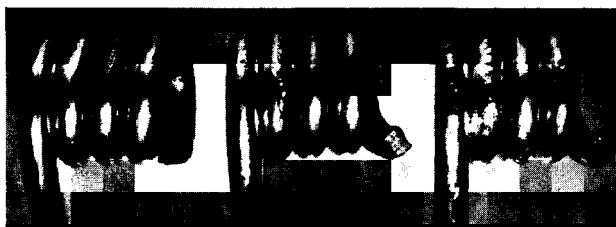
schnittsabnahme weist Stahl 1 mit 175 g/m² die höchste Zinkauflage auf und die Stähle 2 und 3 liegen um 10 g/m² in ihrer Auflage tiefer. Ein Unterschied von 5% im Hartzinkanteil wirkt sich bereits sehr deutlich auf die Wickelfestigkeit aus, wie aus Bild 14 zu ersehen ist. Während Stahl 1 bei allen Wickelproben um 3, 4 und 5 x d eine glatte Oberfläche aufweist (Beurteilung 1), sind bei den Stählen 2 und 3 bei Wickeldurchmessern von 4 und 3 x d die Zinkoberflächen bereits rauh, rissig oder blättern ab.



Wickeldurchmesser 5 x d



Wickeldurchmesser 4 x d



Wickeldurchmesser 3 x d

Bild 14. Abhängigkeit der Haftfestigkeit der Zinkschicht vom Wickeldurchmesser bei den Stählen 1 bis 3 (Verzinkungsbedingungen: Badtemperatur 430 °C, Tauchzeit 80 s, Ausziehgeschwindigkeit 12 m/min)

Aus diesen Ergebnissen darf geschlossen werden, daß neben den Verzinkungsbedingungen der Drahtwerkstoff, überwiegend durch seinen Stickstoff- und Kupfergehalt die Dicke der Auflage, den Hartzinkanteil und somit die Wickelfestigkeit beeinflusst.

In Bild 15 sind die mechanischen Eigenschaften der Stähle 1 bis 3 nach dem Patentieren und Verzinken bei 5,0 mm Dmr. und nach dem Ziehen der verzinkten Drähte bei 2,0 mm Dmr. dargestellt. Zum Vergleich wurden die mechanischen Werte der nach dem Patentieren blank an 2,0 mm Dmr. gezogenen Drähte mit aufgeführt. Die Unterschiede der mechanischen Werte zwischen den Stählen 1, 2 und 3 sind auf die unterschiedlichen Kohlenstoff- und Mangan-gehalte der Stähle zurückzuführen. Wesentlich ist, daß die blank gezogenen Drähte gegenüber den verzinkt gezogenen Drähten nach 84% Abnahme allgemein eine höhere Bruchdehnung und mehr Biegungen aufweisen. Eine Erklärung hierfür konnte nicht ermittelt werden, und eine Deutung wird dadurch erschwert, daß die nicht in Bild 15 enthaltenen Verwindeszahlen der verzinkt gezogenen und der blank gezogenen Drähte bei allen drei Stählen etwa gleich lagen.

#### Betriebsversuche

Das Ziel dieser Untersuchung war es, auf einer Verzinkungsanlage patentierte Drähte mit 5,0 mm Dmr. mit



einer möglichst dicken Zinkauflage bei geringem Hartzinkanteil zu verzinken, um nach dem Ziehen an die Fertigabmessung noch eine möglichst dicke Zinkschicht bei guter Haftfestigkeit zu erhalten, wobei die mechanischen Eigen-

Während die Wickelprobe bei Stahl 2 glatt war, wiesen Stahl 1 und 3 eine raue Oberfläche auf. Bei der Prüfung nach BS 443 wurden zwei bis drei Tauchungen erreicht und damit den Vorschriften dieser Norm entsprochen. Die mechanischen Eigenschaften wie Zugfestigkeit, Biegungen und Verwindungen liegen wie bei den Laboratoriumsversuchen infolge unterschiedlicher Kohlenstoff- und Mangangehalte in verschiedener Höhe. Beim Ziehen lag der Zinkverlust zwischen 10 und 14% und lag gegenüber den Laboratoriumsversuchen damit um etwa 60 bis 80% höher. Dieser Unterschied dürfte zu einem Teil auf die stark unterschiedlichen Ziehgeschwindigkeiten, zum anderen auf die unterschiedlichen Drahtlängen zurückzuführen sein. Allgemein kann festgestellt werden, daß die Ergebnisse der einander entsprechenden Laboratoriums- und Betriebsversuche weitgehend übereinstimmen und daß der Einfluß des Drahtwerkstoffes auf die Güte des Zinküberzuges nur sehr gering ist.

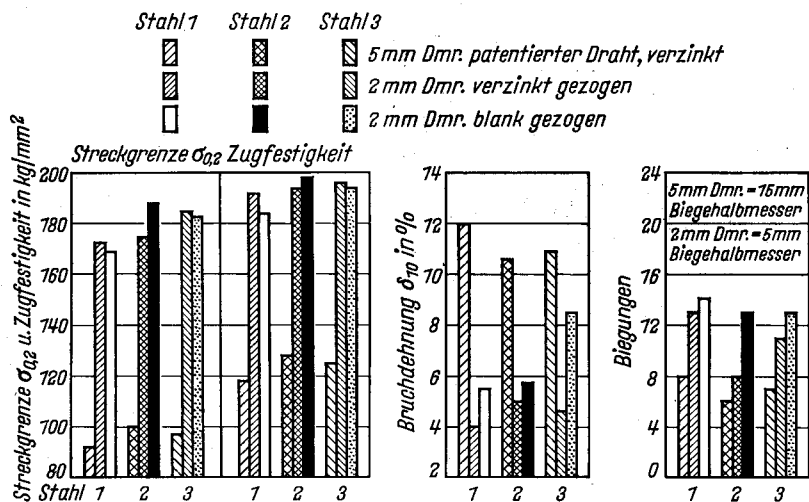


Bild 15. Mechanische Eigenschaften der Versuchsdrähte (Verzinkungsbedingungen: 430 °C, Tauchzeit 80 s, Ausziehgeschwindigkeit 12 m/min)

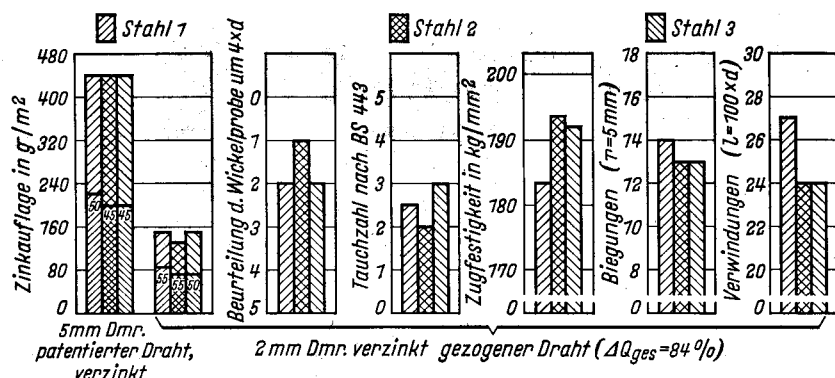


Bild 16. Eigenschaften der im Betrieb verzinkten und gezogenen Drähte aus den Stählen 1 bis 3 (Verzinkungsbedingungen: Badtemperatur 445 °C, Tauchzeit 70 s, Ausziehgeschwindigkeit 3,2 m/min)

schaften dieser Drähte weitgehend blank gezogenen Drähten entsprechen sollten.

Die Betriebsanlage war mit einer Zinkpfanne von 3,85 m Länge ausgerüstet; die Tauchlänge war etwa 3,70 m. Bei einer Ausziehgeschwindigkeit von 3,2 m/min war die Tauchzeit 70 s. Die patentierten 5,0 mm dicken Drähte der Stähle 1 bis 3 wurden, da sie keinen Schmierfilm an der Oberfläche hatten, über das Bleibad geleitet, etwa 10 s in salzsaurer Lösung gebeizt, durch Flußmittel geleitet und bei einer Zinkbadtemperatur von 445 °C, die am Austritt um +5 und -3 °C schwankte, feuerverzinkt. Alle Drähte wurden mit einem Kohle-Sand-Abstreifbett verzinkt, das jeweils nach 2 h erneuert wurde. Nach dem Verzinken wurden die Drähte mit sieben Zügen von 5,0 mm an 2,0 mm Dmr. auf einer Überkopf-Ziehmaschine mit einer Ziehgeschwindigkeit von 1,41 m/s an der Fertigscheibe gezogen; der Ziehhol-Öffnungswinkel war bei allen Zügen 16°.

In Bild 16 sind die Ergebnisse der Betriebsversuche angegeben. Bei allen Stählen wurde im Mittel eine einheitliche Zinkauflage von 440  $\text{g/m}^2$  erreicht. Abweichend von den Ergebnissen der Laborversuche lag der Anteil der Hartzinkschicht bei Stahl 1 mit hohem Stickstoffgehalt um 5% höher als bei den Stählen 2 und 3; dieses Verhältnis blieb auch bei den verzinkt gezogenen Drähten bestehen, jedoch liegt in Bild 16 die Zinkauflage des Stahles 2 mit 130  $\text{g/m}^2$  um 20  $\text{g/m}^2$  unter den Auflagen der Stähle 1 und 3.

Der Westfälischen Union, Hamm, sei an dieser Stelle für die Unterstützung der Untersuchungen bestens gedankt.

### Zusammenfassung

In Laboratoriumsversuchen mit Stahldrähten unterschiedlicher Er-schmelzungsart wurde ermittelt, daß Auflagen aus Hüttenroh-zink mit 1,25 bis 1,38% Pb, die bei einer Badtemperatur von 445 °C, einer Tauchzeit von 30 s und einer Ausziehgeschwindigkeit von 6 m/min hergestellt wurden, gegenüber Feinzinküberzügen im Anfangszustand

und nach einer Verformung von 75% etwas wickelfester sind. Ob dieses Ergebnis auch beim Verzinken im Betrieb immer erhalten wird, muß noch durch weitere Betriebsversuche geklärt werden. Der Korrosionswiderstand von bleihaltigen Überzügen ist um etwa 15 bis 20% geringer als von Überzügen, die aus Feinzink erzeugt wurden.

Der Einfluß des Drahtwerkstoffes, geprüft an Elektro-, Sauerstoffaufblas- und Siemens-Martin-Stahl mit 0,71 bis 0,75% C, etwa gleichen Gehalten an Silizium, Phosphor und Schwefel, jedoch unterschiedlichen Stickstoff- und Kupfergehalten, ist nur gering. Hier kann eine abschließende Erkenntnis nur durch laufende Betriebsuntersuchungen gewonnen werden.

Die Einflüsse der Verzinkungsbedingungen konnten in Laboratoriumsversuchen klar nachgewiesen werden. Die Tauchzeit im Zinkbad hat den stärksten Einfluß auf die Dicke der Zinkauflage und den Anteil der Hartzinkschicht. Im Bereich von 15 bis 80 s Tauchzeit bei einer Badtemperatur von 475 °C und einer im Betrieb üblichen Ausziehgeschwindigkeit von 3 m/min stieg die Zinkauflage um rd. 3,6  $\text{g/m}^2$  s und der Hartzinkanteil von 60% bei 15 s um etwa 0,4% je Sekunde auf rd. 80% bei einer Tauchzeit von 80 s.

Mit steigender Badtemperatur nimmt zwischen 430 und 460 °C die Zinkauflage um rd. 10 bis 12% zu, bei weiteren Temperaturen ist der Anstieg sehr gering. Der Hartzink-

anteil steigt mit höher werdender Badtemperatur an. Mit steigender Ausziehgeschwindigkeit wird die Zinkauflage erhöht und der Hartzinkanteil verringert. Dieser Einfluß der Ausziehgeschwindigkeit ist bei niedrigen Zinkbadtemperaturen wesentlich größer als bei hohen Zinkbadtemperaturen.

Die Anwendung eines Abstreifbettes aus Kohle und Sand mit Ölzusatz erhöht die Zinkauflage je nach Ausziehgeschwindigkeit und Zinkbadtemperatur bis über 10%.

In Laboratoriumsversuchen wurden bei sehr geringen Ziehgeschwindigkeiten Zinkverluste in Abhängigkeit vom Ziehhol-Öffnungswinkel von etwa 5 bis 10% bei Quer-

schnittsabnahmen von etwa 75% ermittelt. Hier wurde mit zunehmendem Öffnungswinkel ein geringerer Zinkverlust festgestellt. Diese Ergebnisse müssen im Betrieb durch Großversuche bei Anwendung größerer Ziehgeschwindigkeiten überprüft werden.

Voraussichtlich muß beim Verzinken im Betrieb und anschließendem Ziehen mit Gesamtquerschnittsabnahmen von 75 bis 85% mit Zinkverlusten von 12 bis 15, teilweise bis zu 20%, gerechnet werden.

Abschließend wurde festgestellt, daß die Ergebnisse von Laboratoriumsversuchen ohne große Abweichungen auf das Verzinken im Betrieb übertragen werden können.