

Gruppe C

Nr. 699

## **Der Einfluß der Arbeitsbedingungen beim Feuerverzinken von Draht auf die Dicke und den Gefügebau des Zinküberzuges**

Von Dietrich Horstmann in Düsseldorf

# Der Einfluß der Arbeitsbedingungen beim Feuerverzinken von Draht auf die Dicke und den Gefügebau des Zinküberzuges

Von Dietrich Horstmann in Düsseldorf

Mitteilung aus dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Abhandlung 1083

[Bericht Nr. 123 des Ausschusses für Drahtverarbeitung des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und Bericht Nr. 54 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e. V.\*)]

*Untersuchungen über den Einfluß der Tauchdauer und der Durchlaufgeschwindigkeit des Drahtes sowie der Temperatur des Zinkbades auf die Dicke und den Gefügebau des Zinküberzuges bei stark verzinkten Drähten. Wirkung der Oberflächenrauheit des Drahtes, der Viskosität der Zinkschmelze und der Abdeckung des Zinkbades am Auslauf des Drahtes.*

**Effect of the working conditions in hot-dip galvanizing of wire on the thickness and structure of the zinc coat.** Investigation of the effect of dipping time and throughput rate of wire as well as of the temperature of the zinc bath on the thickness and structure of the zinc coat of thick-coated wires. Effect of the surface roughness of wire, of the viscosity of the zinc melt and the covering of the zinc bath at the exit of wire.

**L'influence des conditions de travail, lors de la galvanisation à chaud de fils d'acier, sur l'épaisseur et la structure du revêtement en zinc.** Etudes sur l'influence de la durée d'immersion et de la vitesse du passage du fil ainsi que de la température du bain de zinc sur l'épaisseur et la structure du revêtement de fils fortement galvanisés. Effet de la rugosité de la surface du fil, de la viscosité du zinc fondu et du recouvrement du bain de zinc à la sortie du fil.

Der Wunsch der Verbraucher nach Drähten mit einem möglichst dicken, gut am Draht haftenden Zinküberzug mit glatter Oberfläche hat dazu geführt, daß man die in den Normen vorgeschriebenen Werte immer mehr erhöht hat, ohne die Grenzen des technisch Möglichen zu kennen. Dabei hat sich herausgestellt, daß Zinkauflagen in der in den Normen angegebenen Höhe bei einer Reihe von Drahtgütern ohne besondere Schwierigkeiten einzuhalten sind, bei anderen aber nur zufällig oder unter besonders günstigen Voraussetzungen erreicht werden. Die Gründe hierfür sind mannigfaltig und zum Teil dadurch bedingt, daß Draht im Gegensatz zum

sucht worden<sup>1)</sup> bis <sup>5)</sup>; es hat sich gezeigt, daß diese Schicht um so dicker wird, je länger der Draht mit der Zinkschmelze in Berührung ist. Mit höher werdender Temperatur des Zinkbades wächst diese Schicht schneller und stärker. Dagegen ist die Menge der vom Draht mit herausgezogenen Zinkschmelze von der Tauchdauer unabhängig; sie wird mit zunehmender Ausziehgeschwindigkeit größer. Bei höheren Temperaturen wird vom Draht weniger geschmolzenes Zink mitgerissen, weil die Schmelze dünnflüssiger wird<sup>6)</sup> bis <sup>7)</sup>. Bei rauherer Oberfläche des Drahtes wird der Zinküberzug dicker<sup>8)</sup>. Durch die Abdeckung des Zinkbades am Austritt

Tafel 1. Chemische Zusammensetzung der untersuchten Drahtwerkstoffe

Werkstoff	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% N	% Al	% Cr	% Cu	% Ni
Unberuhigter Siemens-Martin-Stahl D 6-2 <sup>1)</sup>	0,038	<0,01	0,20	0,027	0,034	0,004	<0,001	n. b.	0,115	n. b.
Unberuhigter Thomasstahl D 5-1 <sup>1)</sup>	0,040	<0,01	0,40	0,040	0,026	0,010	<0,001	n. b.	0,022	n. b.
D 45-2 (Härte 4) <sup>1)</sup>	0,46	0,17	0,54	0,026	0,023	0,005	0,010	0,12	0,16	0,07
D 65-2 (Härte 6) <sup>1)</sup>	0,68	0,30	0,54	0,021	0,026	0,007	0,028	0,09	0,12	0,065
Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand	0,076	0,39	0,37	0,084	0,022	0,004	0,022	0,54	0,39	0,33

<sup>1)</sup> Vgl. DIN 17140.

Verzinken von Einzelstücken im Durchlauf feuerverzinkt und dabei in einem Arbeitsgang gegläht, gereinigt und verzinkt wird. Die in diesen einzelnen Stufen einzuhaltenden Behandlungszeiten sind meistens dementsprechend kurz und lassen sich nur in einem beschränkten Umfang ändern. Hinzu kommt, daß eine bewußt herbeigeführte Veränderung in einer dieser drei Stufen häufig auch die Vorgänge in den anderen mit beeinflußt, wobei es unter Umständen sogar möglich ist, daß die Wirkung dieser ungewollten Veränderung überwiegt. Eine Arbeitsweise, die auf einer Verzinkungsanlage zu einem guten Erfolg geführt hat, läßt sich daher nicht unbedingt auf andere übertragen, weil die baulichen Voraussetzungen andere sind.

Die Dicke eines durch Feuerverzinken hergestellten Überzuges setzt sich aus der im Zinkbad entstehenden Eisen-Zink-Legierungsschicht und der sich beim Ausziehen des Drahtes darüberlegenden Zinkschmelze zusammen, die zur Zinkschicht erstarrt. Die Bildung und das Wachstum der Legierungsschicht ist schon mehrfach unter-

des Drahtes wird ein Teil der mitgerissenen Zinkschmelze abgestreift. Schwingungen des Drahtes beim Verlassen des Zinkbades können dazu führen, daß der Zinküberzug ungleichmäßig und ein Teil der anhaftenden Schmelze wieder vom Draht abgeschleudert wird. Die bisherigen Untersuchungen geben zwar die Richtung und die Größenordnung an, in der die verschiedenen Einflüsse wirksam werden, allgemeine Gesetzmäßigkeiten für das Verzinken von Draht lassen sich aus den dabei gewonnenen Ergebnissen aber kaum ableiten. Daher schien es wünschenswert zu sein, den Einfluß der Arbeitsbedingungen beim Feuerverzinken von Draht erneut zu untersuchen, wobei neben den hauptsächlichsten Einflüssen wie Tauchdauer, Durchlaufgeschwindigkeit und Temperatur des Zinkbades gleichzeitig auch die

<sup>1)</sup> Bablik, H.: Das Feuerverzinken. Wien 1941.

<sup>2)</sup> Gallbach, H., u. A. Pomp: Stahl u. Eisen 71 (1951) S. 805/17 (Aussch. Drahtverarbeitung 40).

<sup>3)</sup> Imhoff, W. G.: Wire W. Prod. 30 (1955) S. 167/70 u. 233/35.

<sup>4)</sup> Imhoff, W. G.: Wire W. Prod. 30 (1955) S. 553/56 u. 605.

<sup>5)</sup> Krautmacher, H., u. P. Funke jun.: Stahl u. Eisen 85 (1965) S. 1713/22 (Aussch. Drahtverarbeitung 119 u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 51).

<sup>6)</sup> Imhoff, W. G.: Wire W. Prod. 30 (1955) S. 681/83 u. 726/27.

<sup>7)</sup> Baldi, F., u. A. Pirozzi: In: Proc. 6th International Conference on Hot Dip Galvanizing, held in Interlaken, June 1961. [Ed.: European General Galvanizers Association, London 1962; s. bes. S. 383/95.

<sup>8)</sup> Pügel, W., u. R. Stenkhoff: Stahl u. Eisen 64 (1944) S. 720/25.

\* ) Vorgetragen auf der 28. Vollversammlung des Ausschusses für Drahtverarbeitung am 13. Juli 1966 in Düsseldorf.

Nebeneinflüsse der Oberflächenrauheit des Drahtes und der Wirkung der Abdeckung des Zinkbades auf die Güte des Zinküberzuges miterfaßt werden sollten. Die Untersuchun-

Von den verzinkten Drähten wurden Proben entnommen, an denen die Gleichmäßigkeit des Zinküberzuges nach dem Oberflächenaussehen beurteilt und die Zinkauflage nach dem

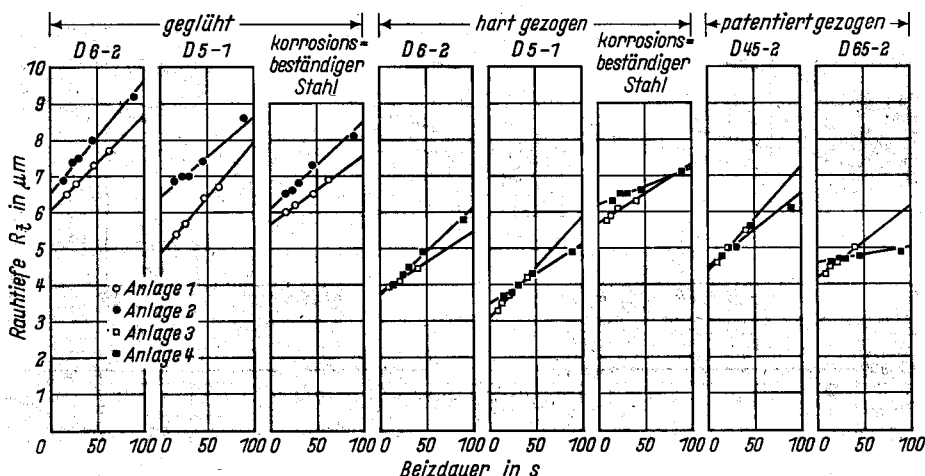


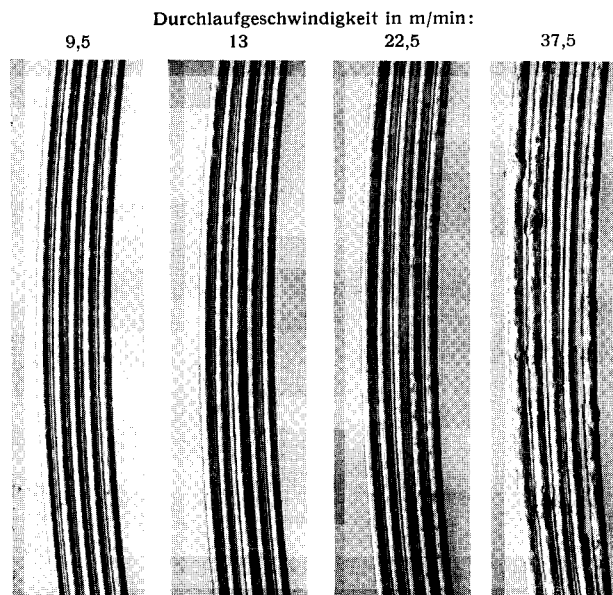
Bild 1. Einfluß der Beizdauer auf die Oberflächenrauheit von Drähten bei verschiedenen Anlagen

gen umfassen daher sowohl das für die Oberflächenrauheit des Drahtes wirksame Beizen als auch die Gleichmäßigkeit und Dicke des Zinküberzuges und seinen Gefügeaufbau. Die Haftung des Zinküberzuges am Draht soll dagegen in einer besonderen Arbeit behandelt werden<sup>9)</sup>.

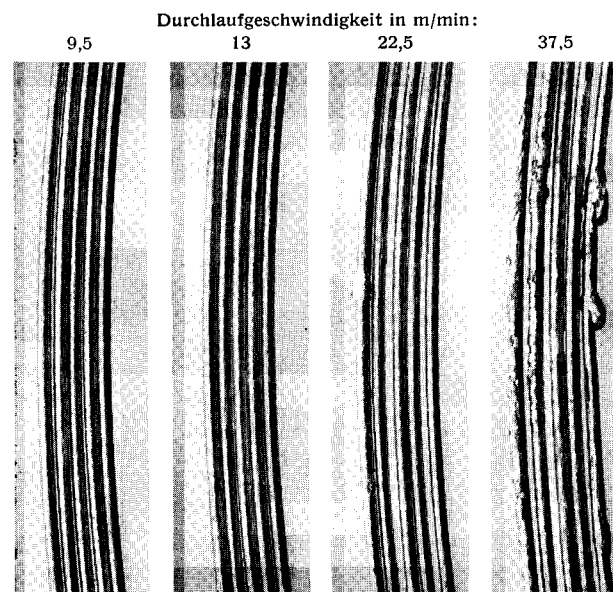
#### Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden mit 2 mm dicken Drähten aus unberuhigtem weichem Siemens-Martin-Stahl D 6-2, aus unberuhigtem weichem Thomasstahl D 5-1, aus Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand und aus zwei Kohlenstoffstählen D 45-2 (Härte 4) und D 65-2 (Härte 6) durchgeführt. Die chemische Zusammensetzung dieser Stähle ist in *Tafel 1* angegeben. Von diesen Drähten wurden die ersten drei Güten sowohl im geglühten als auch im hart gezogenen Zustand untersucht; die Drähte aus den beiden Kohlenstoffstählen der Härten 4,5 und 7,5 wurden patentiert gezogen verzinkt. Das Verzinken der geglühten Drähte geschah auf einer Anlage, die nach dem Crapo-Verfahren<sup>1)</sup> arbeitete (Anlage 1), und auf einer anderen, bei der die Drähte nach dem Beizen noch elektrolytisch nachgereinigt wurden (Anlage 2). Die hart und patentiert gezogenen Drähte wurden ebenfalls auf zwei Anlagen parallel zueinander verzinkt, und zwar auf einer Anlage, bei der sich an das Vorwärmen des Drahtes in einem Bleibad auf etwa 400 °C zum Verkoken des Ziehmittelfilmes eine alkalische Entfettung anschloß (Anlage 3), und auf einer anderen, bei der die Drähte nach dem Vorwärmen nicht alkalisch entfettet, dafür aber elektrolytisch nachgereinigt wurden (Anlage 4). Die Tauchdauer der Drähte im Zinkbad lag bei diesen Versuchen zwischen 1,8 und 29 s. Die Durchlaufgeschwindigkeit der Drähte durch die Verzinkungsanlagen wurde stufenweise zwischen 6 und 40 m/min geändert. Die Versuche wurden jeweils bei drei verschiedenen Zinkbadtemperaturen durchgeführt, und zwar bei 430 bis 440, 455 und bei 465 bis 475 °C. Bei den Zinkbädern der Anlagen 1 und 3 wurde mit einem Bleisumpf am Boden der Zinkbäder gearbeitet, so daß der Bleigehalt der Zinkschmelze hier bei etwa 1% lag. Die beiden anderen Zinkbäder der Anlagen 2 und 4 enthielten dagegen nur die in Feinzink üblichen 0,02% Pb. Die Gehalte an den anderen Begleitelementen lagen bei allen vier Bädern in dem für Feinzink üblichen Rahmen. Am Auslauf des Drahtes waren die Zinkbäder der Anlagen 1 und 3 nur mit einem Kohle-Öl-Gemisch leicht, die der Anlagen 2 und 4 dagegen zusätzlich auch noch mit einem Sand-Öl-Gemisch schwerer abgedeckt.

<sup>9)</sup> Horstmann, D.: Stahl u. Eisen demnächst.

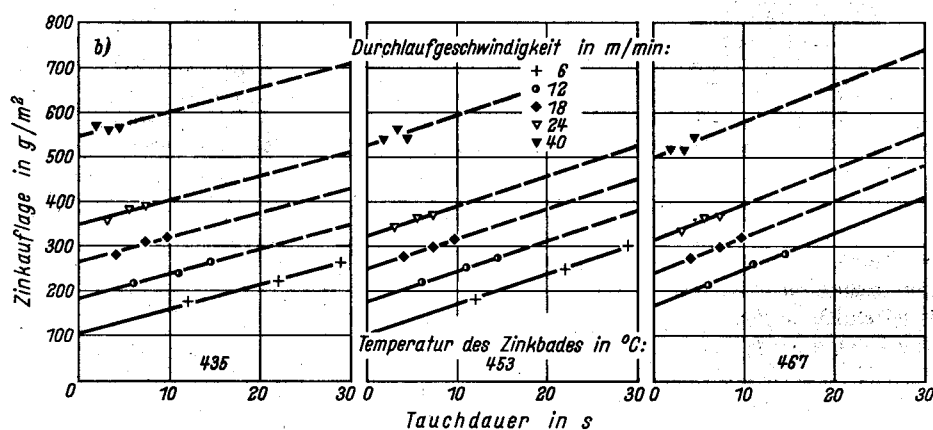
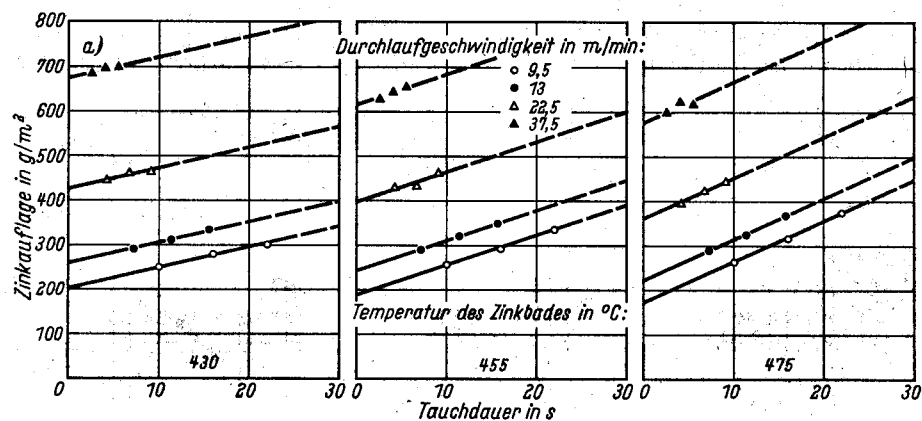


a) Temperatur des Zinkbades 430 °C

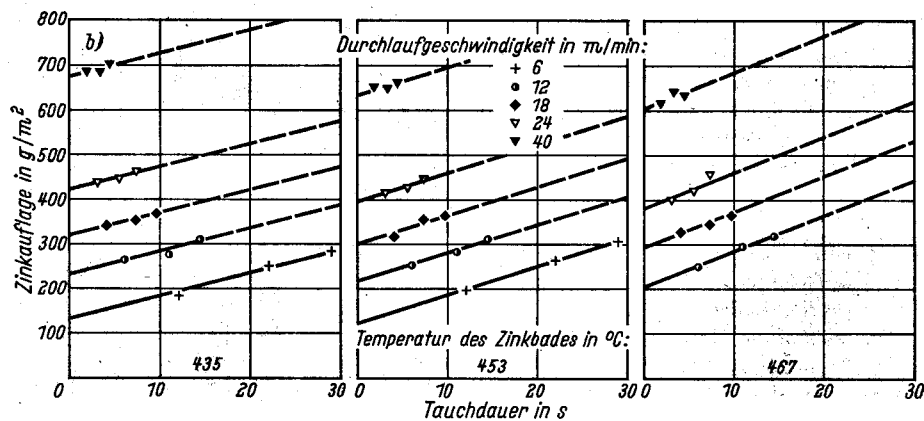
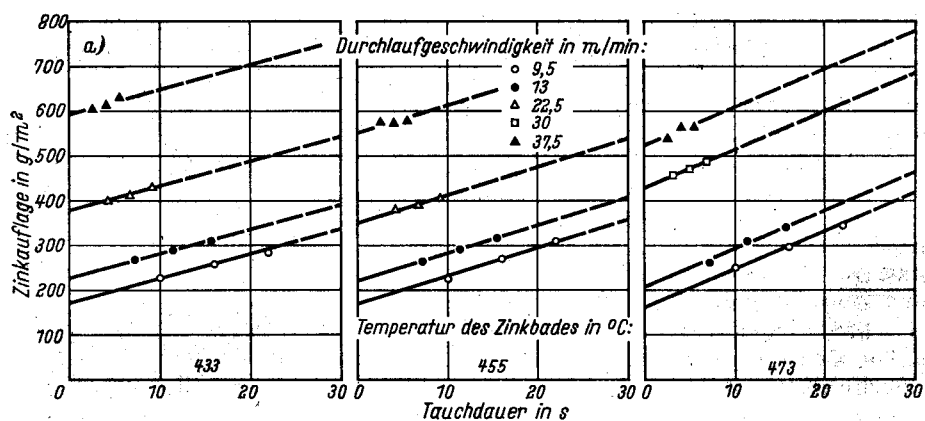


b) Temperatur des Zinkbades 475 °C

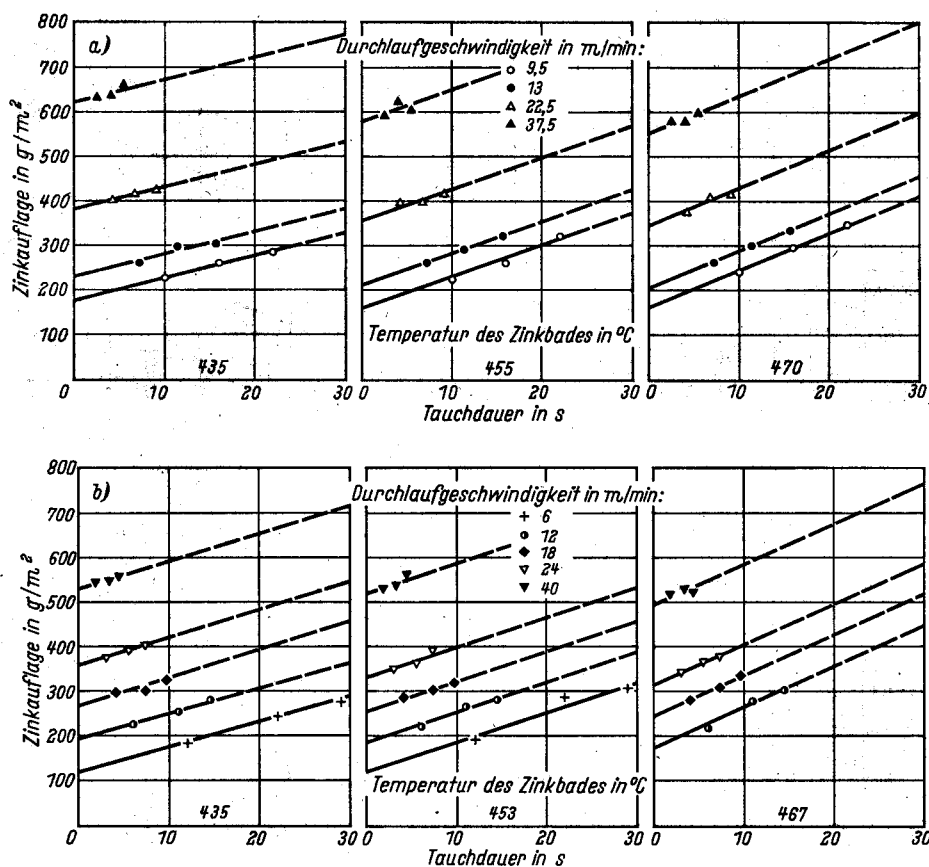
Bilder 2a und b. Oberflächenaussehen von verzinkten Drähten (0,9:1, Original 1:1)



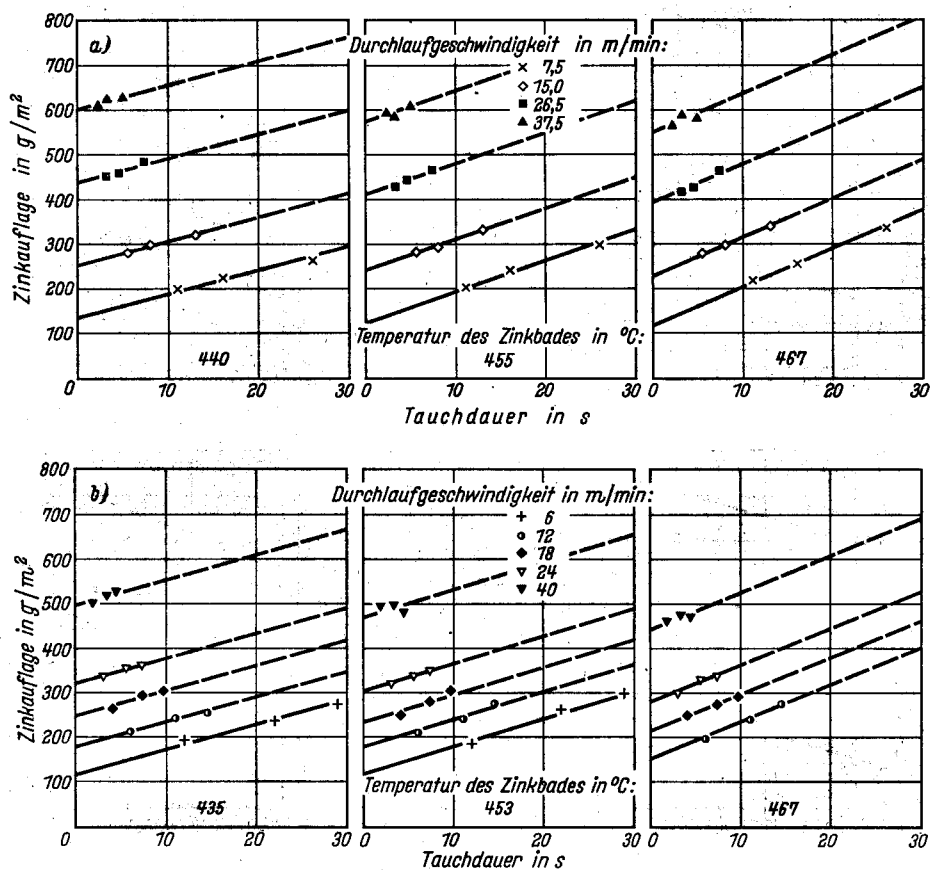
Bilder 3a und b. Einfluß der Tauchdauer und der Durchlaufgeschwindigkeit auf die Zinkauflage des a) auf Anlage 1 und b) auf Anlage 2 verzinkten geglühten unberührigten Siemens-Martin-Stahlrahtes



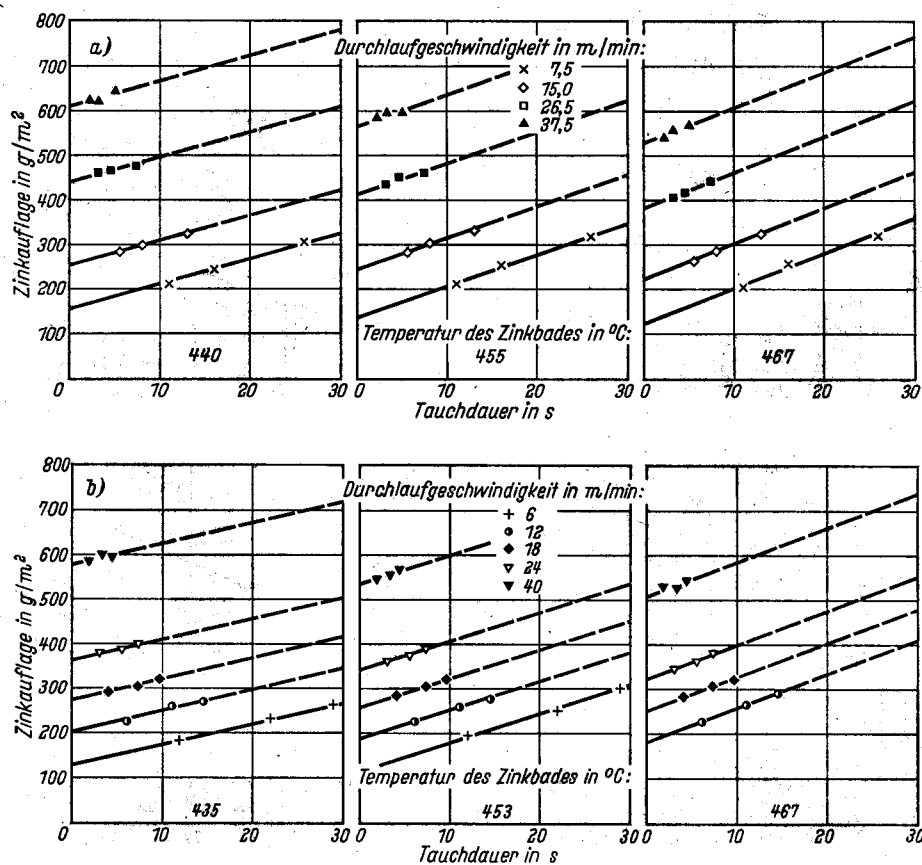
Bilder 4a und b. Einfluß der Tauchdauer und der Durchlaufgeschwindigkeit auf die Zinkauflage des a) auf Anlage 1 und b) auf Anlage 2 verzinkten geglühten Thomas-Stahlrahtes



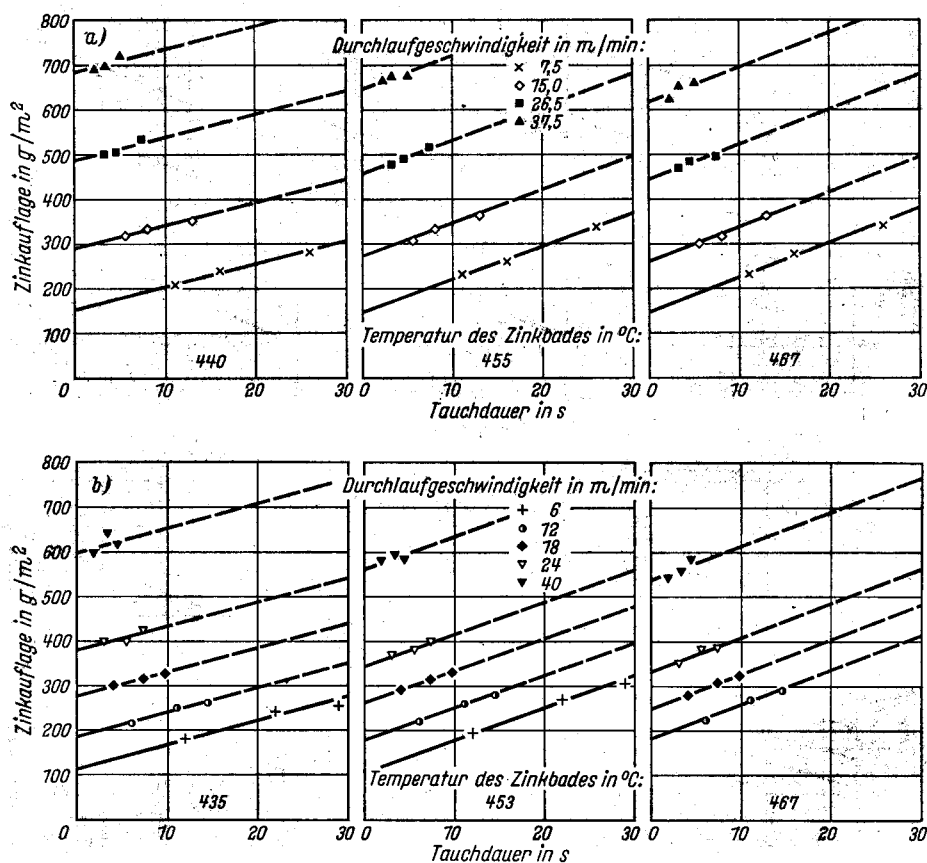
Bilder 5a und b. Einfluß der Tauchdauer und der Durchlaufgeschwindigkeit auf die Zinkauflage des a) auf Anlage 1 und b) auf Anlage 2 verzinkten geölhten Drahtes aus Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand



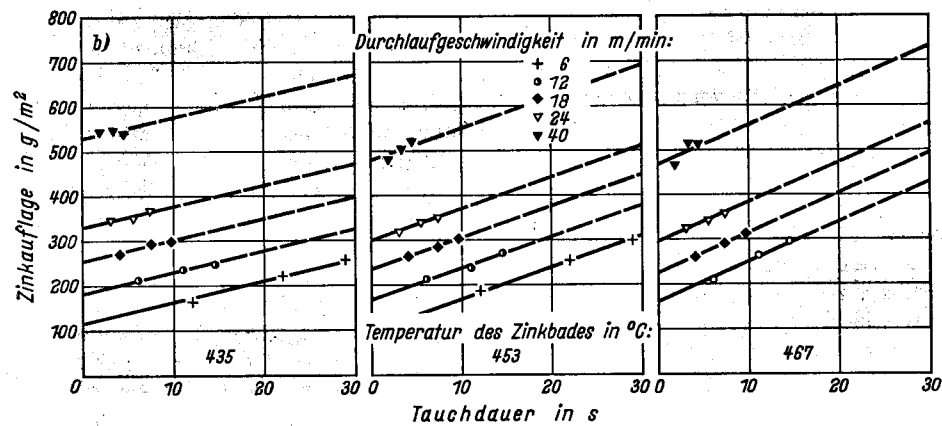
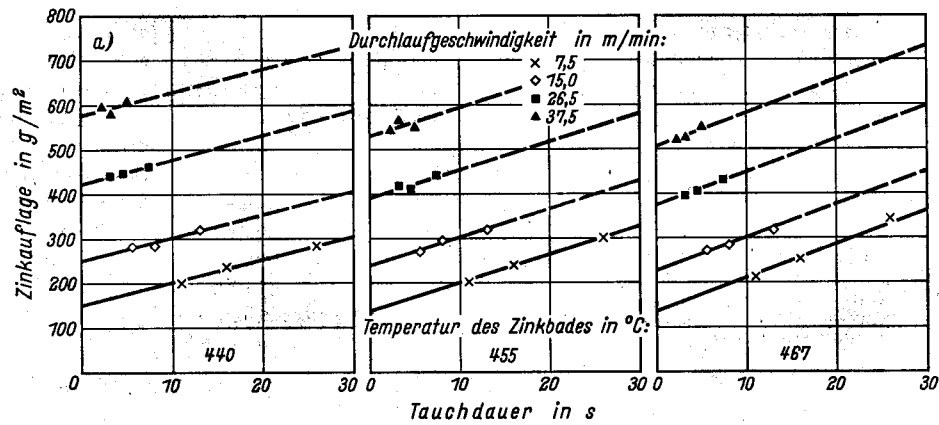
Bilder 6a und b. Einfluß der Tauchdauer und der Durchlaufgeschwindigkeit auf die Zinkauflage des a) auf Anlage 3 und b) auf Anlage 4 verzinkten hart gezogenen Siemens-Martin-Stahldrahtes



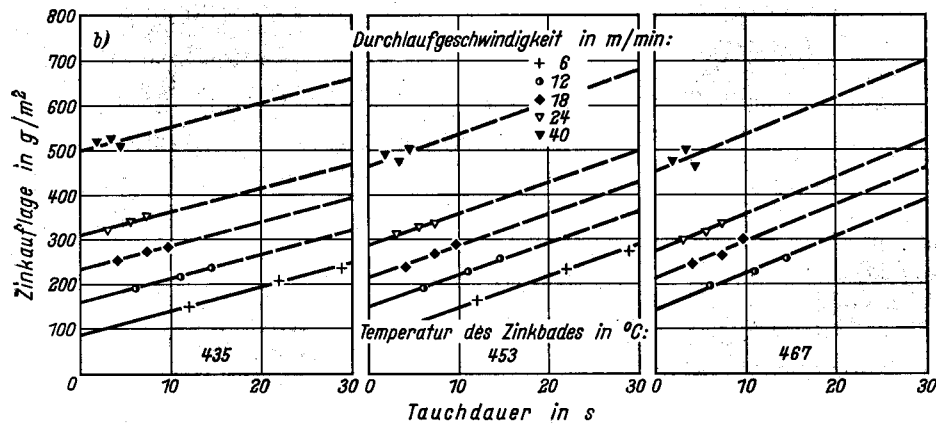
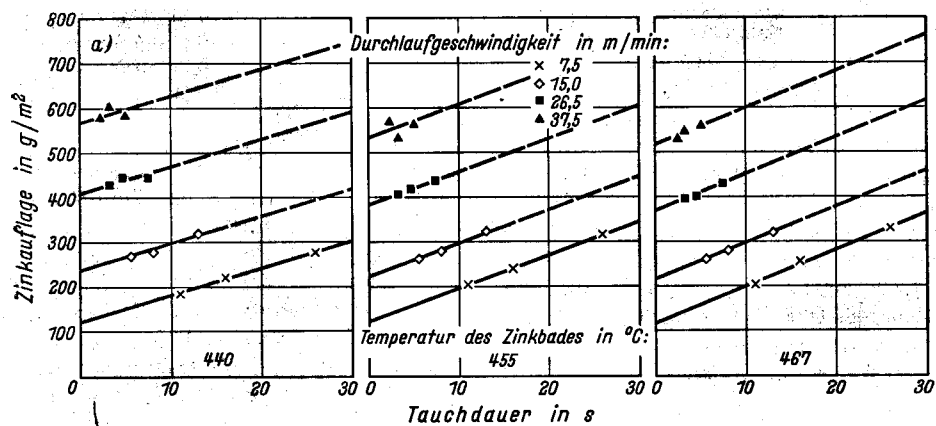
Bilder 7 a und b. Einfluß der Tauchdauer und der Durchlaufgeschwindigkeit auf die Zinkauflage des a) auf Anlage 3 und b) auf Anlage 4 verzinkten hart gezogenen Thomas-Stahldrahtes



Bilder 8 a und b. Einfluß der Tauchdauer und der Durchlaufgeschwindigkeit auf die Zinkauflage des a) auf Anlage 3 und b) auf Anlage 4 verzinkten hart gezogenen Drahtes aus Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand



Bilder 9a und b. Einfluß der Tauchdauer und der Durchlaufgeschwindigkeit auf die Zinkauflage des a) auf Anlage 3 und b) auf Anlage 4 verzinkten patentiert gezogenen Stahldrahtes der Härte 4



Bilder 10a und b. Einfluß der Tauchdauer und der Durchlaufgeschwindigkeit auf die Zinkauflage des a) auf Anlage 3 und b) auf Anlage 4 verzinkten patentiert gezogenen Stahldrahtes der Härte 6

volumetrischen Verfahren<sup>10)</sup> aus der beim Abbeizen des Überzuges entstehenden Wasserstoffmenge bestimmt wurde. Außerdem wurde an einer Reihe der abgebeizten Proben die Oberflächenrauheit des Drahtes mit einem Perth-O-Meter in Längsrichtung gemessen. Das Gefüge des Zinküberzuges wurde an Schliffproben untersucht, die nach dem Polieren mit Diamantpaste in einem Gemisch von vier Tropfen konzentrierter Salpetersäure und 50 ml Amylalkohol geätzt worden waren<sup>11)</sup>. In einer größeren Anzahl von Schliffen wurde die Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht und der Zinkschicht ausgemessen.

### Versuchsergebnisse

Zur Herstellung eines einwandfreien Zinküberzuges ist es erforderlich, daß der Draht vorher durch Beizen gereinigt wird und Zunder und Ziehmittelreste von seiner Oberfläche entfernt werden. Durch das Beizen wird der Draht außerdem mehr oder weniger stark aufgeraut, je nachdem, ob nur kurz oder länger gebeizt wird. Diese Rauheit der Drahtoberfläche, die durch das anschließende Verzinken kaum noch beeinflußt wird<sup>12)</sup>, nimmt in erster Näherung bis zu einer Beizdauer von etwa 100 s geradlinig mit der Zeit zu, wie *Bild 1* zeigt, in dem die Rauhtiefe  $R_t$  in Abhängigkeit von der Beizdauer aufgetragen ist. Man sieht, daß die Oberflächenrauheit bei den einzelnen Drahtgütern sehr verschieden ist, was auf eine unterschiedliche Anfangsrauheit und ein unterschiedliches Beizverhalten zurückzuführen sein dürfte. Geringe Unterschiede der Konzentration und Temperatur der Beizlösung wirken sich ebenfalls aus, wie der Vergleich der Meßergebnisse zeigt. Daneben können aber sicher auch noch andere Vorgänge beim Herstellen und Verzinken des Drahtes die Oberflächenrauheit beeinflussen und Unterschiede in der Anfangsrauheit bedingen, so z. B. das Ziehen des Drahtes, sein Zundern nach dem Glühen in der Verzinkeanlage, Art und Menge des beim Eintritt in das Beizbad noch auf der Drahtoberfläche vorhandenen Ziehmittels, der Angriff von Salzsäure beim Crapo-Verfahren und die elektrolytische Nachreinigung, die die Oberflächenrauheit sicher stärker erhöht als das übliche Beizen. Bei diesen Versuchen war es jedoch nicht möglich, die Auswirkung dieser Vorgänge auf das Beizverhalten und die Oberflächenrauheit getrennt vom Einfluß der Beizdauer zu erfassen. Aus dem Verlauf der Geraden in *Bild 1* kann lediglich durch Extrapolation auf die Zeit Null eine Anfangsrauheit festgelegt werden, die für jeden Draht verschieden ist und die zusammen mit der Neigung der Geraden, die die Zunahme der Oberflächenrauheit beim Beizen angibt, das Verhalten der Drahtoberfläche beim Beizen kennzeichnet. Beide Werte, die Anfangsrauheit und die Zunahme der Oberflächenrauheit beim Beizen, beeinflussen, wie später noch gezeigt wird, die Menge der vom Draht mitgerissenen Zinkschmelze in kennzeichnender Weise.

Die Gleichmäßigkeit des Zinküberzuges hängt sehr stark von der Durchlaufgeschwindigkeit des Drahtes ab. Bei höheren Geschwindigkeiten wird ein gleichmäßiges Abfließen der mitgerissenen Zinkschmelze durch Schwingungen des Drahtes behindert. Als Beispiel für diese Erscheinung ist in *Bild 2* das Oberflächenansetzen von Drahten wiedergegeben, die auf Anlage 1 mit verschiedenen Durchlaufgeschwindigkeiten verzinkt worden sind. Man sieht, wie die Zinkschmelze bei den hohen Durchlaufgeschwindigkeiten ungleichmäßig, zum Teil zu dicken Tropfen, zusammengelaufen ist. Bei höheren Temperaturen des Zinkbades

macht sich diese Erscheinung stärker bemerkbar, wie ein Vergleich der Teilbilder a und b zeigt. Die Zinkschmelze bleibt durch den größeren Unterschied zwischen der Badtemperatur und der Erstarrungstemperatur des Zinks länger flüssig und die Schwingungen des Drahtes können sich stärker auswirken. Die Durchlaufgeschwindigkeit, bei der die Zinkschmelze ungleichmäßig zusammenzulaufen beginnt, liegt bei den auf den Anlagen 1 und 3 verzinkten Drahten etwas über 20 m/min und bei den auf den Anlagen 2 und 4 verzinkten Drahten um 25 m/min. Nur bei sehr ruhigem Lauf der Drähte ist es möglich, die Durchlaufgeschwindigkeit wesentlich weiter zu erhöhen<sup>13)</sup>, ohne daß die Zinkschmelze zu Tropfen zusammenfließt.

Die Zinkauflage wird hauptsächlich durch die Tauchdauer des Drahtes, seine Durchlaufgeschwindigkeit und die Temperatur des Zinkbades bestimmt. Daher soll der Einfluß dieser drei Größen hier zunächst behandelt und die Wirkung der Oberflächenrauheit des Drahtes, der Viskosität der Zinkschmelze und der Abdeckung des Zinkbades am Auslauf des Drahtes danach aus den bei den einzelnen Drahten beobachteten Unterschieden der Zinkauflage abgeleitet werden. In den *Bildern 3 bis 10* ist die Zinkauflage der einzelnen Drähte in Abhängigkeit von der Tauchdauer für verschiedene Durchlaufgeschwindigkeiten und Temperaturen des Zinkbades aufgetragen. Man sieht, daß die Zinkauflage in allen Fällen geradlinig mit der Tauchdauer zunimmt. Das sich nach sehr viel längerer Tauchdauer bei diesen Temperaturen üblicherweise einstellende parabolische Zeitgesetz<sup>14)</sup> tritt also bei sehr kurzer Tauchdauer bis zu etwa 30 s noch nicht auf. Es deutet sich aber schon dadurch an, daß die Meßwerte bei der niedrigsten Durchlaufgeschwindigkeit häufig in Form einer flachen Kurve von den Geraden abweichen. Eine Steigerung der Durchlaufgeschwindigkeit bewirkt ebenfalls eine Zunahme der Zinkauflage. Man erhält daher bei dieser Art der Darstellung der Zinkauflage als Funktion der Tauchdauer für die verschiedenen Durchlaufgeschwindigkeiten eine Schar parallel zueinander verlaufender Geraden, die mit zunehmender Temperatur des Zinkbades stärker ansteigen.

In den *Bildern 3 bis 10* sind die Geraden jeweils auf die Tauchdauer Null extrapoliert, und man erhält auf diese Weise Anfangswerte für die Zinkauflage bei verschiedenen Durchlaufgeschwindigkeiten des Drahtes. Umfangreiche Messungen der Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht und der darüberliegenden Zinkschicht und eine entsprechende Umrechnung von Dicken in Mengen haben ergeben, daß die Dicken der Zinkschicht im allgemeinen gut mit diesen Anfangswerten und die Dicken der Legierungsschicht mit dem Unterschied zwischen der Gesamtauflage und diesem Anfangswert übereinstimmen. Nur bei sehr kurzer Tauchdauer führt das Nachwachsen der Legierungsschicht während des Abkühlens des Drahtes nach dem Verzinken zu etwas größeren Abweichungen in der Art, daß die gemessene Dicke der Legierungsschicht größer ist als die durch diese Extrapolation ermittelte. Für den Drahtverzinker ergibt sich hieraus also eine Möglichkeit, schnell und einfach ziemlich genaue Anhaltswerte für den Schichtaufbau des Zinküberzuges zu erhalten. Ferner lassen sich hieraus die Gesetzmäßigkeiten ableiten, die die Bildung und das Wachstum dieser beiden einzelnen Schichten bestimmen.

Aus dem parallelen Verlauf der einzelnen für verschiedene Durchlaufgeschwindigkeiten geltenden Geraden ist zu entnehmen, daß das Wachstum der Eisen-Zink-Legierungs-

<sup>10)</sup> DIN 51213 (Vornorm) — Prüfung metallischer Überzüge auf Drahten —. Ausg. Juli 1965.

<sup>11)</sup> Rowland, D. H.: Trans. Amer. Soc. Metals 40 (1948) S. 983/1011.

<sup>12)</sup> 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).

<sup>13)</sup> Zastara, A.: Draht 17 (1966) S. 111/16.

<sup>14)</sup> Vgl. Stricker, F., u. D. Horstmann: Stahl u. Eisen 83 (1963) S. 1640/46 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 958, u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 46).



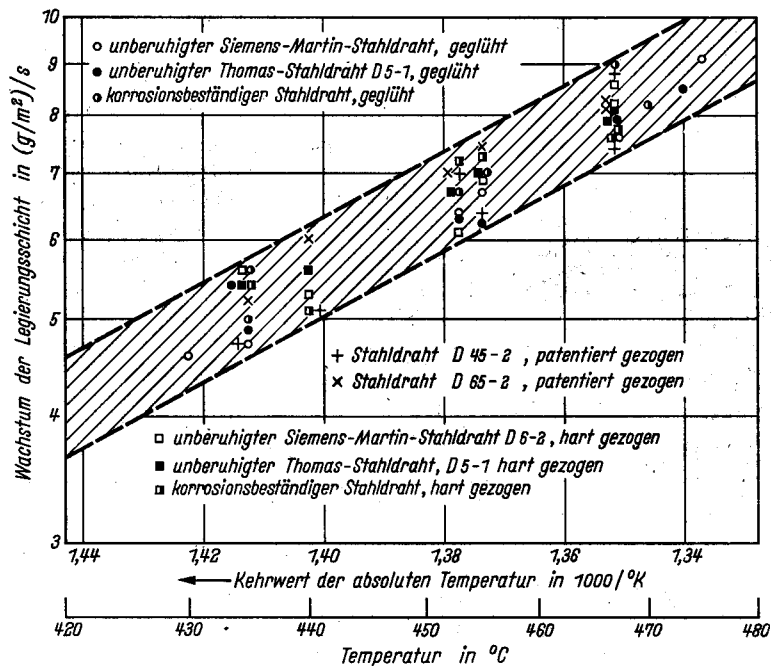


Bild 11. Einfluß der Temperatur des Zinkbades auf das Wachstum der Eisen-Zink-Legierungsschicht bei verschiedenen Drahtgüten

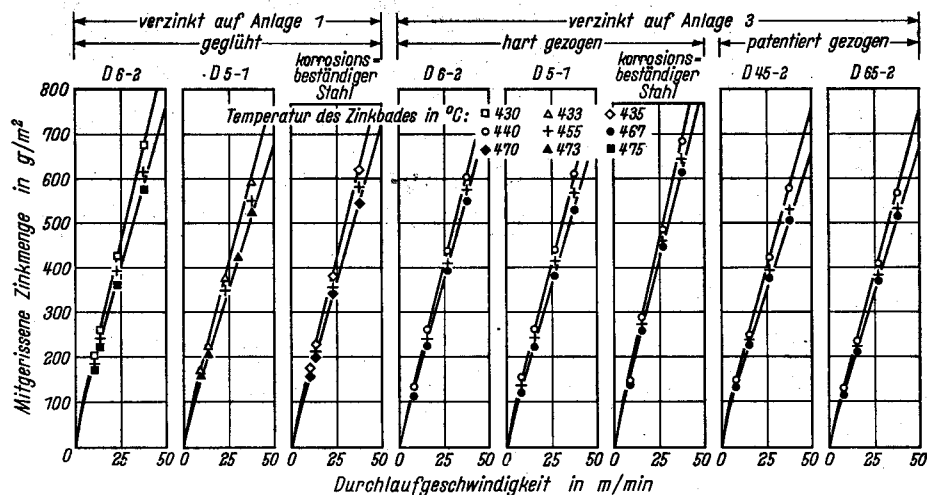


Bild 12. Einfluß der Durchlaufgeschwindigkeit und der Temperatur des Zinkbades auf die von den auf den Anlagen 1 und 3 verzinkten Drähten mitgerissenen Zinkmengen

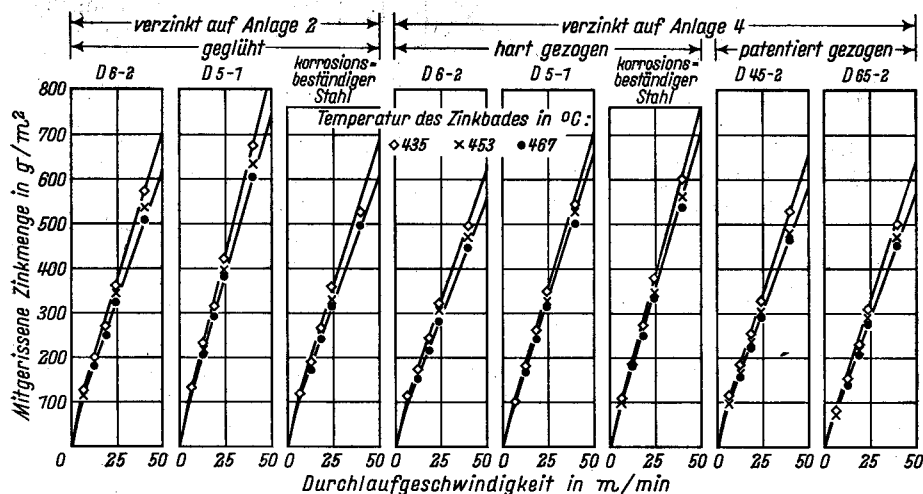


Bild 13. Einfluß der Durchlaufgeschwindigkeit und der Temperatur des Zinkbades auf die von den auf den Anlagen 2 und 4 verzinkten Drähten mitgerissenen Zinkmengen

schicht von der Durchlaufgeschwindigkeit unabhängig ist<sup>14)</sup>. Aus dem steileren Anstieg mit steigender Temperatur des Zinkbades folgt, daß ihr Wachstum mit der Temperatur zunimmt, wie bereits aus vielen Veröffentlichungen<sup>15)</sup> bekannt ist. Während jedoch nach längeren Eintauchzeiten die Unterschiede im Wachstum der Legierungsschicht bei

ergebnissen, einerlei ob sie für Drähte aus unberuhigtem weichem Stahl oder aus beruhigtem Stahl mit höherem Kohlenstoffgehalt gelten, in einen gemeinsamen Streubereich fallen. Auch der Zustand des Drahtes, ob gegläht, hart oder patentiert gezogen, spielt offensichtlich keine Rolle. Aus diesem Befund lassen sich die betrieblichen

Erfahrungen erklären, die besagen, daß sich zum Feuerverzinken von Draht auch Drähte aus mit Siliziumberuhigten Stählen mit höheren Kohlenstoffgehalten gut eignen, obwohl ein höherer Silizium- oder Kohlenstoffgehalt im Stahl das Wachsen der Legierungsschicht nach längerer Tauchdauer erheblich verstärkt und daher beim Verzinken von Einzelstücken oft zu Schwierigkeiten führt. Die Wirkung der Viskosität der Zinkschmelze, der Oberflächenrauheit des Drahtes und der Abdeckung des Zinkbades am Auslauf des Drahtes ist aus diesen Meßergebnissen nicht zu entnehmen. Wenn ein solcher Einfluß auf das Wachstum der Eisen-Zink-Legierungsschicht daher überhaupt vorhanden ist, ist er sicher außerordentlich gering.

Die vom Draht beim Ausziehen mitgerissene Zinkmenge nimmt mit der Durchlaufgeschwindigkeit zunächst sehr schnell und später geradlinig mit dieser weiter zu. Wenn man daher die mitgerissenen Zinkmengen in Abhängigkeit von der Durchlaufgeschwindigkeit für verschiedene Temperaturen des Zinkbades aufträgt, erhält man Geraden, die mit einer leichten Krümmung in den Koordinatenursprung einlaufen (Bild 12 und 13). Dabei liegen die Geraden für die höheren Temperaturen des Zinkbades tiefer und steigen weniger stark an, was darauf zurückzuführen ist, daß die Zinkschmelze dünnflüssiger ist und dementsprechend weniger Zink vom Draht mit herausgezogen wird. Ein Vergleich der Teilbilder untereinander zeigt, daß die Lage und der Anstieg dieser Geraden für die einzelnen Drähte deutlich verschieden ist.

Durch Extrapolation dieser Geraden auf die Durchlaufgeschwindigkeit Null kann man einen Wert errechnen, der als Anfangswert der mitgerissenen Zinkmenge bezeichnet werden soll. Der Anstieg der Geraden entspricht dann der Zunahme der mitgerissenen Zinkmenge. Trägt man beide Werte in Abhängigkeit von der Temperatur des Zinkbades auf, so ergeben sich für die einzelnen Drähte flachgekrümmte Kurven, die den Einfluß dieser Größe deutlicher sichtbar machen und aus denen die Wirkung der Viskosität der Zinkschmelze, der Oberflächenrauheit des Drahtes und der Abdeckung des Zinkbades am Auslauf des Drahtes auf die mitgerissenen Zinkmengen abgeleitet werden kann (Bild 14). Der Verlauf dieser Kurven stimmt mit einem Vielfachen der kinematischen Viskosität der Zinkschmelze überein, die sich aus den von H. R. Thresh, D. W. G. White, J. O. Edwards und J. W. Meier<sup>16)</sup> an bleifreien und bleihaltigen Zinkschmelzen gemessenen dynamischen Viskositäten und Dichten leicht berechnen läßt.

Trägt man diese Vielfachen der kinematischen Viskosität als Beiwerte für den Anfangswert und die Zunahme der mitgerissenen Zinkmengen in Abhängigkeit vom Anfangswert und der Zunahme der Oberflächenrauheit beim längeren

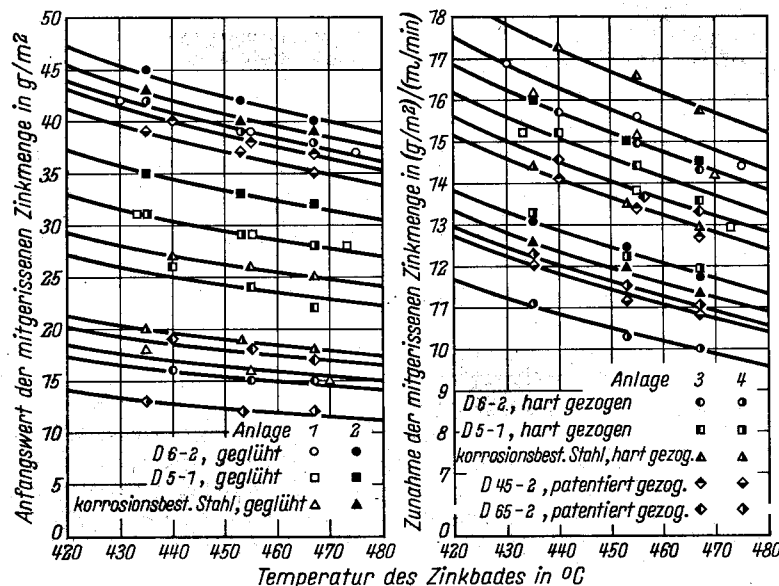


Bild 14. Einfluß der Temperatur des Zinkbades auf den Anfangswert und die Zunahme der mitgerissenen Zinkmenge bei verschiedenen Drähten

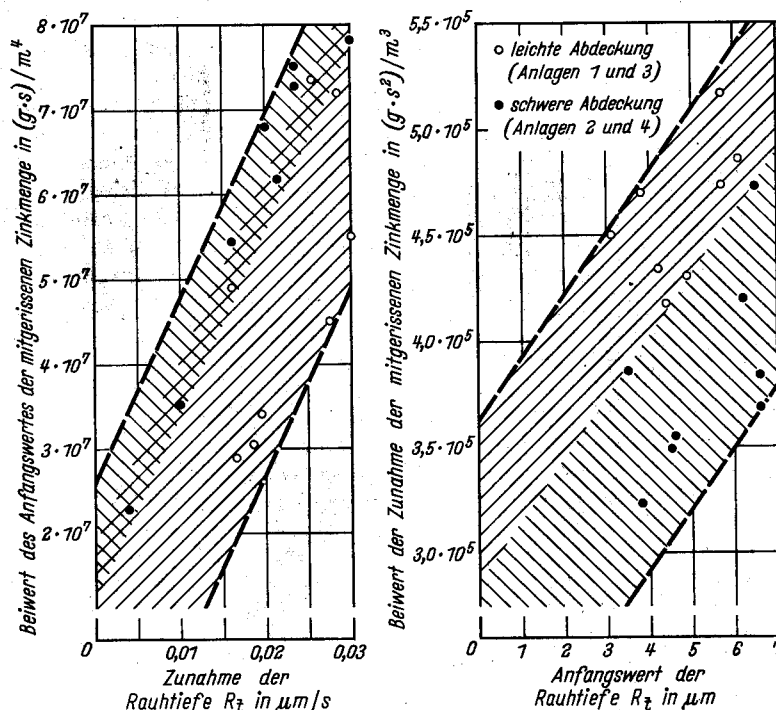


Bild 15. Einfluß der Kennwerte der Oberflächenrauheit des Drahtes und der Abdeckung des Zinkbades am Auslauf des Drahtes auf die Beiwerte der mitgerissenen Zinkmengen

verschiedenen Stählen erheblich sind, wächst die Eisen-Zink-Legierungsschicht bei sehr kurzzeitigem Tauchen, wie es beim Drahtverzinken üblich ist, bei allen Stählen etwa gleich schnell. Dieser Befund ist in Bild 11 dargestellt. Hier ist das sich aus dem Anstieg dieser Geraden ergebende Wachstum der Legierungsschicht in einem logarithmischen Maßstab in Abhängigkeit vom Kehrwert der absoluten Temperatur aufgetragen. Man sieht, daß alle Versuchs-

<sup>14)</sup> Horstmann, D.: Stahl u. Eisen 80 (1960) S. 1531/40 (Mitt. Max-Planck-Inst. Eisenforsch., Abh. 867, u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 38). Dort weitere Schrifttumsangaben.

<sup>16)</sup> Canada Department of Mines and Technical Surveys Mines Branch Ottawa, Physical Metallurgy Division, Internal Reports PM-R-61-19, PM-R-61-25, PM-R-62-9, PM-R-62-17 u. PM-R-63-16.

Beizen auf, so läßt sich daraus nicht nur der Einfluß der Oberflächenrauheit des Drahtes auf die mitgerissene Zinkmenge, sondern auch die Wirkung der Zinkbadabdeckung am Auslauf des Drahtes ableiten (*Bild 15*). Man sieht, daß der Beiwert des Anfangswertes der mitgerissenen Zinkmenge von der Zunahme der Oberflächenrauheit abhängt, die Zunahme der mitgerissenen Zinkmenge dagegen vom Anfangswert der Oberflächenrauheit. Die Gegenläufigkeit beider Werte erklärt sich daraus, daß die mitgerissene Zinkmenge mit zunehmender Durchlaufgeschwindigkeit größer, die Oberflächenrauheit des Drahtes dagegen durch die verkürzte Beizdauer kleiner wird. Durch die stärkere Zunahme der Oberflächenrauheit bei längerem Beizen sind daher die bei geringen Durchlaufgeschwindigkeiten gemessenen mitgerissenen Zinkmengen infolge der größeren Oberflächenrauheit größer als die bei hohen Durchlaufgeschwindigkeiten und geringerer Oberflächenrauheit gemessenen. Der Verlauf der in *Bild 12* eingezeichneten Geraden für die mitgerissenen Zinkmengen wird daher bei geringen Durchlaufgeschwindigkeiten etwas stärker angehoben, was einem erhöhten Anfangswert entspricht. Dieser Einfluß ist offenbar stärker, wenn die Abdeckung am Auslauf des Drahtes schwerer ist, denn die Beiwerte für die Anfangswerte der mitgerissenen Zinkmenge liegen bei den auf den Anlagen 2 und 4 verzinkten Drähten mit der schweren Sandabstreifung höher als die auf den Anlagen 1 und 3 verzinkten Drähte mit der leichten Kohleabstreifung. Der mit der Anfangsrauheit zunehmende Beiwert für die Zunahme der mitgerissenen Zinkmenge ist dagegen bei einer leichten Abstreifung größer als bei einer schwereren, was durchaus verständlich ist, denn eine leichte Abdeckung wird weniger Zinkschmelze abstreifen als eine schwere.

Das Gefüge des Zinküberzuges besteht entsprechend den an Hand der Zinkauflage gewonnenen Versuchsergebnissen je nach der Tauchdauer und der Durchlaufgeschwindigkeit aus verschiedenen dicken Eisen-Zink-Legierungsschichten und Zinkschichten, wobei das Verhältnis dieser beiden Schichten zueinander recht unterschiedlich ist. Im allgemeinen sind die beiden Schichten bei allen Drähten klar voneinander abgegrenzt. Nur an einigen örtlich begrenzten Stellen treten manchmal größere Mengen von Eisen-Zink-Kristallen in der Zinkschicht auf, die von der Legierungsschicht abgeschwommen sind. Auch ein büschelförmiges Auswachsen der Legierungsschicht konnte nur vereinzelt beobachtet werden. Diese Erscheinung ist außerdem auch noch auf Drähte begrenzt, die länger in das Zinkbad eingetaucht waren.

### Zusammenfassung

Untersuchungen über die Dicke und den Aufbau von Zinküberzügen haben ergeben, daß die Dicke der Eisen-Zink-Legierungsschicht mit der Tauchdauer zunimmt. Das Wachstum dieser Schicht ist um so stärker, je höher die Temperatur des Zinkbades ist. Die Viskosität der Zinkschmelze, die Oberflächenrauheit des Drahtes und die Abdeckung des Zinkbades am Auslauf des Drahtes haben keinen merklichen Einfluß auf das Wachsen der Legierungsschicht. Diese Größen wirken sich jedoch auf die Dicke der Zinkschicht aus, die in erster Linie von der Durchlaufgeschwindigkeit des Drahtes abhängt. Eine größere kinematische Viskosität der Zinkschmelze und eine größere Oberflächenrauheit des Drahtes führen zu dickeren Schichten. Eine schwerere Abdeckung streift dagegen die mitgerissene Zinkschmelze stärker ab.