Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 49 (1971)

Heft: 3

Artikel: Untersuchung der Feuerverzinkung an Kabelschutzeisen

Autor: Brunold, Armin

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874266

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Untersuchung der Feuerverzinkung an Kabelschutzeisen

Armin BRUNOLD, Bern

621.315.233:669.586.5
669.586.5:621.315.233

Zusammenfassung. *Der Zinküberzug an Kabelschutzeisen musste vor allem wegen zu geringer Schichtdicke und schlechter Haftung immer wieder beanstandet werden. Ausmass und Ursache der festgestellten Mängel waren deshalb abzuklären. Die entsprechenden Erhebungen und Untersuchungen sind im vorliegenden Bericht beschrieben. Dabei zeigt es sich, dass die Fehler nicht auf die Verwendung ungeeigneter Rohmaterialien zurückzuführen sind, sondern hauptsächlich durch ungünstig gewählte Fabrikationsbedingungen verursacht werden.*

Examen du zingage au feu des caniveaux de câbles

Résumé. *La qualité de zingage des caniveaux de câbles donnant lieu à des réclamations, l'épaisseur et l'adhérence de la couche protectrice étant insuffisantes, il devint nécessaire de rechercher la cause de ces défauts. La nature des essais réalisés et les résultats obtenus font l'objet de l'article ci-après. Il est intéressant de constater que les difficultés rencontrées ne proviennent pas du choix des matières premières utilisées, mais des méthodes d'application du revêtement.*

Analisi della zincatura a fuoco sui canali di protezione cavi

Riassunto. *A più riprese la patina di zinco sui canali di protezione cavi fu oggetto di contestazioni, dovute all'esiguità dello strato applicato e alla sua cattiva adesione. Si dovettero perciò appurare l'importanza e le cause dei difetti constatati. Il presente rapporto descrive i procedimenti di rilievo e di analisi eseguiti. Da essi risulta che i difetti non sono da attribuire all'utilizzazione di materiale inadeguato, ma soprattutto alle condizioni sfavorevoli dei processi di fabbricazione scelti.*

1. Einleitung

Seit Anfang 1966 werden anstelle der bis zu jenem Zeitpunkt gebräuchlichen, warmgewalzten und bitumisierten Zoreskanäle nur noch kaltverformte Kanalprofile beschafft. Dank den gegenüber den alten, überdimensionierten Zoreseisen wesentlich herabgesetzten Eisenquerschnitten können erhebliche Einsparungen erzielt werden. Dagegen fordern die geringeren Wandstärken der kaltgerollten Kabelschutzeisen einen höheren Aufwand für ein besseres Korrosionsschutzverfahren. Da der bei den alten Kanälen übliche Bitumenüberzug ohnehin schon seit längerer Zeit nicht mehr befriedigte (schlechte Rostschutzwirkung, unangenehme Handhabung infolge der kleberigen Oberfläche, Zusammenbacken auf den Stapeln), erreichte man mit der für die neuen Kabelkanäle vorgeschriebenen Feuerverzinkung nicht nur einen bedeutend besseren Schutz gegen Korrosionsangriffe, sondern eliminierte damit auch die genannten, durch die Bitumisierung bedingten Unzulänglichkeiten.

Nachdem vier verschiedene Verzinkereifirmen (A, B, C und D) in der Lage waren, die 6 m langen Profileisen zu den gegebenen Bedingungen im Tauchverfahren zu verzinken, und die ersten Lieferungen auf den Lagerplätzen der Kreistelephondirektionen eingetroffen waren, musste man leider feststellen, dass die Zinkschichten nicht durchwegs einwandfrei aufgebracht waren. Die auf die Mängel aufmerksam gemachten Firmen bezeichneten dies als Anlaufschwierigkeiten und versuchten durch Änderungen im Fabrikationsprozess bessere Resultate zu erzielen. Trotzdem wurden auch später immer wieder zu geringe Schichtdicken und schlecht haftende Zinkschichten festgestellt. Wir wurden schliesslich damit beauftragt, der Angelegenheit nachzugehen und zu untersuchen, in welchem Ausmass Mängel auftreten und welcher Ursache sie allenfalls zuzuschreiben sind.

2. Untersuchungsverlauf

Um ein genaues Bild über Art und Ausmass der von den Kreistelephondirektionen gemeldeten Mängel zu erhalten, und um den Fehleranteil der verschiedenen Verzinkereien zu erfassen, nahmen wir Kontrolluntersuchungen auf den Lagerplätzen Bern, Basel, Lausanne und Sitten vor. Diese Plätze wurden gewählt, weil sie jeweils vorwiegend von einer bestimmten Verzinkerei beliefert werden, während bei den übrigen Direktionen Material verschiedener Firmen angeliefert wird, das dann, einmal gestapelt, nicht mehr mit Sicherheit nach seiner Herkunft identifiziert werden kann. Bei diesen ersten Erhebungen, die wir in der Zeit vom 6. bis 27. Juni 1968 durchführten, bestimmten wir jeweils von möglichst vielen zugänglichen Kanaleisen die Stärke der Zinkauflage, beurteilen Aussehen und Haftfestigkeit des Überzugs, sammelten Spanproben der Zinkschichten und trennten von einzelnen Kabelschutzeisen Probestücke für weitere Untersuchungen im Laboratorium ab.

Für den weiteren Untersuchungsverlauf muss man wissen, dass, einem Vorschlag der Firma A entsprechend, vom Juli 1968 an als Rohmaterial für die kaltgerollten Eisenprofile nicht mehr gewöhnlicher kohlenstoffarmer und siliciumfreier Stahl 33 verwendet wurde, sondern Stahl 33 mit einem Zusatz von 0,15% ($\pm$ 0,05%) Silicium. Von dieser Umstellung versprach man sich eine vermehrte Zinkaufnahme und hoffte, die geforderte Minimalschichtdicke von 80 μm eher zu erreichen als bisher. Etwa ein Jahr nach den ersten Lagerkontrollen, bei denen noch durchwegs siliciumfreies Material erfasst worden war, wiederholten wir die Kontrollarbeiten in gleicher Weise und auf denselben Lagerplätzen. Da zu diesem Zeitpunkt vorwiegend silicierte Kabelkanäle angetroffen wurden, musste es sich somit herausstellen, ob der Siliciumzusatz erwartungsgemäss schichtverstärkend wirkte oder nicht.

Um den Einfluss von Verfahrensunterschieden beim Verzinkungsprozess kennen zu lernen und festzustellen, ob die beanstandeten Mängel allenfalls durch ungünstige Arbeitsmethoden verursacht waren, besuchten wir die vier Verzinkereien. Bei jeder Firma hatten wir Gelegenheit, den Fabrikationsablauf zu verfolgen und Proben vom jeweils verwendeten Zink, den Beizbädern und Flussmitteln zu beschaffen.

Die Untersuchung dieses Probenmaterials und die Auswertung der Beobachtungen auf den Lagerplätzen und in den Verzinkereien ging im Laboratorium nach folgendem Programm vor sich:

- Klassierung und Beurteilung der festgestellten Mängel,
- Auswertung der Lagerkontrollen bezüglich Schichtdicke, Aussehen und Haftfestigkeit der Überzüge,
- spektrographische und chemische Untersuchung des Probenmaterials,
- Beschreibung und Beurteilung der Verzinkungsverfahren,
- metallographische Untersuchung der Verzinkungsschichten.

3. Klassierung und Beurteilung der festgestellten Mängel

Die zu beanstandenden Verzinkungsschichten weisen Mängel unterschiedlicher Art auf. Wir klassierten sie nach Typen mit den Bezeichnungen: Schichtdicke, Abblättern, Zinkanhäufungen und Längsstreifen.

3.1 Schichtdicke

Weitaus der häufigste Beanstandungsgrund bildet das Unterschreiten der geforderten minimalen Schichtdicke von 80 μm. Dies ist allerdings erst durch unsere Kontrollmessungen auf den Lagerplätzen deutlich zutage getreten, weil es äusserlich nicht zu erkennen war und darum weder dem Magazinerpersonal auffiel, noch den Monteur bei den Verlegungsarbeiten störte. Da wir mit der Verzinkung nicht nur den Rostschutz der Eisenkanäle bezwecken, sondern auch die kathodische Schutzwirkung auf die darin verlegten Bleimantelkabel für möglichst lange Zeit ausnützen wollen,

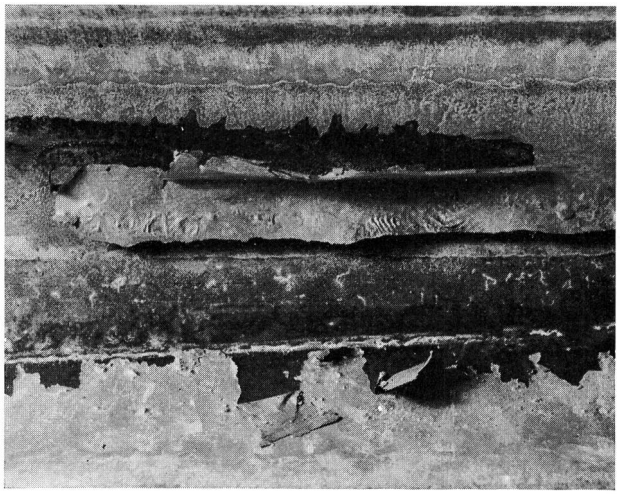

Fig. 2
Kanaltyp Nr. 4: Unter der abblätternden Zinkschicht kommt die samtige, dunkel erscheinende Legierungsschicht zum Vorschein

sind wir an einer starken Zinkauflage interessiert und erwarten, dass die von den Verzinkereien garantierte Schichtstärke auch durchwegs eingehalten wird.

3.2 Abblättern

Äusserst ungünstig wirken sich abblätternde Zinkschichten aus. Die *Figuren 1 und 2* zeigen diese Erscheinung an zwei typischen Fällen. Fehler dieser Art wurden von den Kreistelephondirektionen an erster Stelle beanstandet, weil sich herausstellte, dass auf solche schlecht haftende Verzinkungen keine Kupferdrähte aufgelötet werden können, um elektrisch durchverbundene Kabelkanalanlagen zu erstellen.

3.3 Zinkanhäufungen

Bei Zinkanhäufungen, wie sie die *Figuren 3...6* zeigen, handelt es sich um Fabrikationsfehler, die sich einerseits bei den Verlegungsarbeiten lästig auswirken, indem sich solche Eisen wegen der vorstehenden Zinkbrauen oder Verdickungen nicht zu einem geschlossenen Kanal zusam-

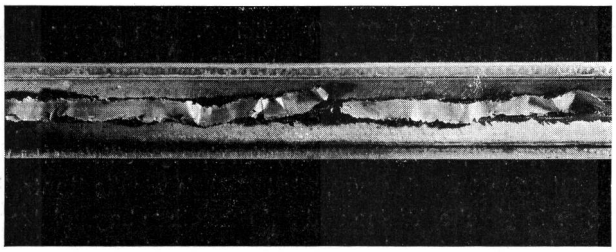

Fig. 1
Kanaltyp Nr. 4: Am Kanalboden schälen sich ganze Streifen der Zinkschicht ab

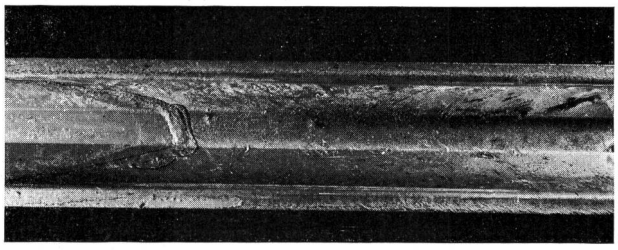

Fig. 3
Kanaltyp Nr. 8: Zinkanhäufungen, entstanden durch eine Betriebsstockung während des Ausziehens aus dem Zinkbad

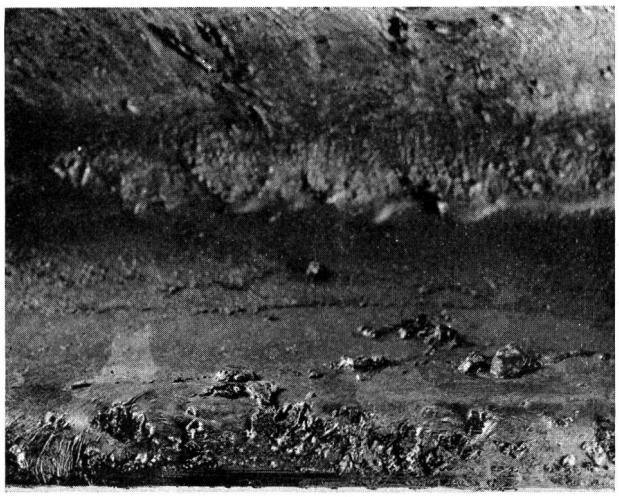

Fig. 4
Kanaltyp Nr. 4: Auf der Verzinkung im Kanalinnern haftende Zinkspritzer behindern den Kabeleinzug

Fig. 6
Kanaltyp Nr. 9: Starke Zinkanhäufung an der Aussenseite eines Kanalendes behindert das Zusammenbriden

menbriden lassen, und anderseits können derartige Unebenheiten im Kanalinnern den Einzug der Kabel behindern oder diese sogar beschädigen. Diese durch Stockungen im Verzinkungsablauf und Unachtsamkeit der beteiligten Arbeiter entstandenen Mängel können wohl nicht völlig ausgeschaltet werden, sie sind jedoch durch eine sorgfältigere Ausgangskontrolle des Lieferanten auf ein Minimum reduzierbar.

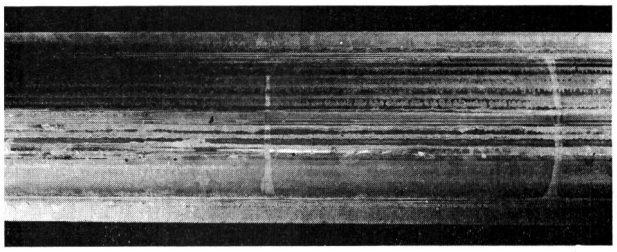

Fig. 7
Kanaltyp Nr. 9: Die Verzinkung an der Kanalaussenseite ist auf der ganzen Länge von dunkelgrauen Streifen durchzogen

Fig. 5
Kanaltyp Nr. 8: Starke Zinkansammlung am Kanalende, vermutlich durch vorzeitiges Abstellen der Abblasluft entstanden

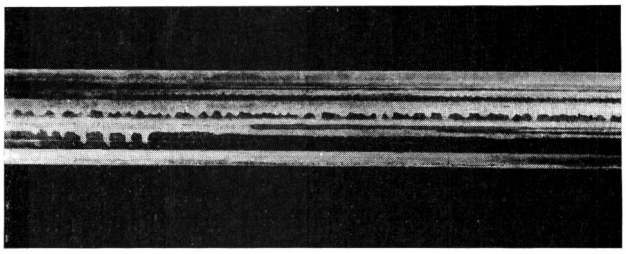

Fig. 8
Kanaltyp Nr. 4: Abgesehen von den grauen Längsstreifen fällt hier auf, dass die noch vorhandenen Reinzinkstreifen nach einer Querrichtung hin einen eigenartigen gardinenförmigen Verlauf aufweisen

3.4 Längsstreifen

Diese aus den *Figuren 7 und 8* ersichtliche auffällige Erscheinung wurde sehr häufig festgestellt. Der Fehler beschränkt sich nicht auf einzelne Stäbe, sondern tritt gehäuft auf; er wurde, in mehr oder weniger ausgeprägter Form, bei

ganzen Lieferungen (Tabelle I: Lieferung T) angetroffen. Es scheint sich also um einen systematischen Fabrikations- oder Materialfehler zu handeln. Zu beanstanden war dabei nicht in erster Linie das schlechte, graustreifige Aussehen der Oberfläche, sondern vielmehr die geringe Zinkauflage und die schlechte Haftung der noch vorhandenen Reinzinkschicht, die im Kanalinnern häufig in grossen Fetzen abblätterte.

4. Ergebnisse und Auswertung der Lagerkontrollen

Auf jedem Lagerplatz versuchten wir an eine möglichst grosse Zahl einzelner Kabelschutzeisen heranzukommen, ohne dazu eine Umschichtung der Stapel vornehmen zu müssen. Im allgemeinen prüften wir von jeder Kanalgrösse rund 2...5% der am Lager vorhandenen Stückzahl. Nebst der Schichtdickenbestimmung versuchten wir auch zu einem Urteil über die Qualität der Verzinkung bezüglich Haftfestigkeit und Aussehen zu gelangen.

4.1 Schichtdickenmessung

Am einfachsten und schnellsten konnte die Zinkschicht mit der magnetischen Messmethode bestimmt werden. Um allfälligen Zweifeln über die Richtigkeit der gemessenen Werte zu begegnen, verglichen wir die magnetisch gemessenen Schichtdicken später im Laboratorium an mitgenommenen Proben mit den gravimetrisch bestimmten Werten.

Dazu wurden von insgesamt 50 verschiedenen Kabelkanalabschnitten die Zinkschichten mit inhibierter Salzsäure abgelöst und aus dem Gewichtsverlust die Schichtdicken berechnet. Dabei zeigte sich, dass im Bereich von 40... 200 μm die magnetische Messmethode meist mit einem Fehler von 0...+10 μm behaftet war. Die bei der Lagerkontrolle magnetisch bestimmten Schichtdickenwerte sind also im allgemeinen eher etwas zu hoch.

Die Ergebnisse der Kontrollmessungen sind in *Tabelle I* ausgewertet. Die durchschnittlichen Schichtdicken liegen vor allem bei den von der Verzinkerei A gelieferten Kabelkanälen weit unter dem geforderten Minimalwert. (Auch die angeführte Lieferung T stammt von dieser Firma.) Auffällig ist jedoch, dass die Zinkauflage beim grössten Kanaltyp Nr. 9 der Verzinkerei A durchwegs in Ordnung ist. Teilt man die gemessenen Zinkschichten nach ihrer Dicke in die Güteklassen:

$< 60\ \mu$m = sehr schlecht
60...69 μm = schlecht
70...79 μm = knapp genügend
80...130 μm = gut und
$> 130\ \mu$m = übermässig dick

so ergibt sich ein detaillierteres und für die Verzinkerei A noch ungünstigeres Bild. Von den Kanaltypen Nr. 4 und 8 der Verzinkerei A müssen 48...77% der Klasse «sehr schlecht» zugeteilt werden, während von sämtlichen Typen der übrigen Firmen höchstens 27% Schichtstärken von $< 60\ \mu$m aufweisen. Interessant ist auch, dass beim Lager C zur Zeit der zweiten Kontrolle (1969) ein verhältnismässig grosser Teil sehr dicker Zinkschichten gemessen werden konnte.

Von der bereits erwähnten Umstellung auf silicierten Stahl 33 erwartete man eine verstärkte Zinkaufnahme. Vorversuche führten jedoch, wie der *Tabelle II* entnommen werden kann, zu keinem eindeutigen Ergebnis. Beim ersten Versuch mit Forming-Eisen konnte tatsächlich gegenüber den normalen Lieferungen mit Si-freiem Stahl eine deutlich erhöhte Zinkauflage gemessen werden. Auf Grund dieses positiv verlaufenen Versuches wurde dann veranlasst, vom Juli 1968 an für die Herstellung der Kabelschutzeisen nur noch Stahl 33 mit 0,15% Si zu verwenden. Ein etwa zwei Monate danach durchgeführter Verzinkungsversuch mit von-Roll-Eisen liess dann allerdings wieder einige Zweifel an der Wirksamkeit des Si-Zusatzes aufkommen. Obwohl der Si-Gehalt des von-Roll-Eisens eher höher eingestellt war (0,2 statt 0,15%), erreichte man hier durchschnittlich nur 72 μm starke Zinkschichten, das heisst nicht einmal den geforderten Minimalwert (80 μm). 46% der Versuchsstäbe wiesen sogar Zinkauflagen von weniger als 70 μm auf. Nachdem beide Versuche zwar zu verschiedenen Zeiten, aber angeblich unter gleichen Bedingungen von der Verzinkerei A durchgeführt worden waren, mussten wir annehmen, dass das ungleiche Ergebnis auf unkontrollierte Unterschiede in der Zusammensetzung der Zinkschmelze oder unbewusste Verfahrensänderungen zurückzuführen sei.

Trotzdem verzichteten wir auf eine Wiederholung der Versuche unter definierteren Bedingungen. Wir durften damit rechnen, dass sich beim Vergleich der Lagerkontrollen vor und nach der Umstellung auf siliciertes Eisen eindeutig erweisen werde, ob sich der Si-Zusatz schichtverstärkend auswirkt. Vergleicht man nun nach Tabelle I die durchschnittlichen Schichtdickenwerte von 1968 (Si-freier Stahl) mit jenen von 1969 (grösstenteils mit 0,1...0,2% silicierter Stahl), so muss man leider feststellen, dass die Umstellung auf siliciertes Eisen keine deutliche Erhöhung der Zinkauflage gebracht hat. Einzig bei dem von der Verzinkerei C gelieferten Material sind 1969 durchschnittlich dickere Zinkschichten gemessen worden. Dagegen war beispielsweise beim Kanaltyp Nr. 4 der Verzinkereien A und D die Zinkauflage nach der Silicierung geringer als vorher. Offensichtlich wird die Stärke der gebildeten Zinkschichten weniger durch die Legierungszusätze im Eisen als durch die Zusammensetzung des Zinks und vor allem durch den technischen Ablauf des Verzinkungsvorgangs bestimmt.

Tabelle I. Kontrolle der Schichtdicke von Zinküberzügen auf Kabelschutzeisen

Lagerort	KTD A						KTD B						KTD C						KTD D						Lieferung T
Kanaltyp	Nr. 4		Nr. 8		Nr. 9		Nr. 4		Nr. 8		Nr. 9		Nr. 4		Nr. 8		Nr. 9		Nr. 4		Nr. 8		Nr. 9		Nr. 4
Datum der Messungen	14. 6. 68	25. 6. 69	14. 6. 68	25. 6. 69	14. 6. 68	25. 6. 69	6. 6. 68	23. 6. 69	6. 6. 68	23. 6. 69	6. 6. 68	23. 6. 69	27. 6. 68	26. 6. 69	27. 6. 68	26. 6. 69	27. 6. 68	26. 6. 69	19. 6. 68	24. 6. 69	19. 6. 68	24. 6. 69	19. 6. 68	24. 6. 69	23. 4. 69
Grundmetall: (—) St. 33, Si-frei (+) St. 33 mit 0,1...0,2% Si	—	+	—	—	—	—	—	+	—	+	—	—	—	+	—	+	—	— z. T. +	—	+	—	+	—	+	+
Lagerbestand (Stückzahl)	5000	3100	350	240	480	120	1200	2250	750	1260	400	480	18	825	1200	1080	600	440	900	600	230	600	700	380	3000
kontrollierter Anteil (% des Lagerbestandes)	0,5	1,7	5,1	4,2	2,5	6,7	2,1	1,8	2	1,8	2,8	3,1	30	2,4	2,5	2,2	2	3,9	2	5,3	2,6	2,7	1,7	3,2	1,1
durchschnittliche Schichtdicke in μm	62	58	66	58	105	95	65	95	91	93	91	76	95	118	80	140	93	119	101	75	87	99	87	88	50
Prozentanteil nach Güteklassen:																									
sehr schlecht ($<60\,\mu$m)	48	60	56	70	0	0	20	0	0	0	0	27	0	5	0	0	0	0	0	22	8	0	0	27	77
schlecht (60...69 μm)	37	17	11	30	0	0	36	0	7	17	27	0	0	0	10	0	0	0	12,5	31	17	19	0	0	12
knapp genügend (70...79 μm)	7,5	6	5	0	0	0	40	39	26	36	9	13	0	5	47	0	8	0	0	16	8	12,5	8	18	2
gut (80...130 μm)	7,5	17	28	0	100	100	4	47	67	30	55	60	100	66	43	75	92	71	83,5	28	59	43,5	92	37	9
übermässig dick ($>130\,\mu$m)	0	0	0	0	0	0	0	14	0	17	9	0	0	24	0	25	0	29	4	3	8	25	0	18	0

Tabelle II. Verzinkungsversuche mit siliciertem Stahl 33

Verzinkerei	A					
Walzwerk	Forming			von Roll		
Kanaltyp und Stückzahl	Nr. 4 49 Stück			Nr. 4 50 Stück		
verzinkt und an das Lager der KTD Bern geliefert im	Juni 1968			August 1968		
	µm		% Si	µm		% Si
	92		0,10	71	63	
	87	106		71	72	
gemessene Zinkschichtdicke	101	94		89	76	
	86	107		72		0,19
(Mittel aus je 10 Messungen)	118		0,10	68	72	
	103	89		69	64	
	100	81		63	79	
und	96		0,13	88		0,20
	98	97		88	84	
	93	94		70	75	
Ergebnisse der Siliciumanalysen	95	91		77		0,20
	83	82		80	67	
	68		0,11	68	68	
	96	108		65	81	
	101	85		70		0,20
	83	85		68	74	
	122		0,13	96	74	
	101	109		69		0,20
	111		0,13	68	69	
	97	95		70	68	
	92	89		72	65	
	100	91		71		0,20
	102		0,13	66	64	
	100	99		68	64	0,20
	107	113		67		
	115	106	0,11	69	71	
	115			68	68	
	110	114		71	87	0,20
	93			80		
Durchschnittliche Schichtdicke	98 µm			72 µm		
Prozentanteil nach Güteklassen:						
sehr schlecht (< 60 µm)	0 %			0 %		
schlecht (60...69 µm)	2 %			46 %		
knapp genügend (70...79 µm)	0 %			36 %		
gut (80...130 µm)	98 %			18 %		

4.2 Haftfestigkeit und Aussehen

Für die Beurteilung der Haftung der Zinkschicht auf der Eisenunterlage stand uns keine brauchbare Messmethode zur Verfügung, so dass wir die Haftgüte, wie auch andere äusserliche Mängel, nur subjektiv beurteilen konnten. Es war deshalb sehr schwierig, die bei den Kontrolluntersuchungen aufgezeichneten Einzelbeobachtungen quantitativ auszuwerten. Wir beschränken uns deshalb darauf, den jeweiligen Zustand der vorgefundenen Lagerbestände zusammenfassend zu kommentieren:

4.2.1 Lager A

Der Zustand der Zinküberzüge der hier gelagerten Kabelkanäle muss nicht nur wegen des grossen Anteils an zu dünnen Zinkschichten, sondern auch wegen der verhältnismässig häufig auftretenden Mängel bezüglich Haftung und Oberflächenbeschaffenheit als unbefriedigend bezeichnet werden. Dabei ist eine deutliche Qualitätsverschlechterung des 1969 eingegangenen Materials gegenüber dem 1968 kontrollierten festzustellen. Diese Klassierung gilt allerdings nicht für den grössten Kanaltyp, bei dem die Zinkschicht-

dicke wie die Haftung und, abgesehen von vereinzelten Zinkspritzern und Brauen, auch die Oberflächenbeschaffenheit einwandfrei sind. 1968 fanden wir bei etwa 20% der kontrollierten Kanäle Nr. 4 und 8 schlecht haftende und teilweise abblätternde Zinküberzüge, 1969 war dieser Anteil sogar auf rund 40% angestiegen. Die Figuren 1 und 2 zeigen zwei Extremfälle. Dabei fällt auf, dass sich grosse Zinkfetzen vor allem vom flachen Boden des Kanalinnern ablösen, während die Aussenflächen dieser Eisen meistens graue Längsstreifen aufweisen, die sich wegen der dort fehlenden Reinzinkschicht abzeichnen (Fig. 7 und 8). Diese Aussenseiten weisen denn auch durchwegs zu geringe Schichtdicken auf (20...50 μm), während die abblätternde Schicht im Kanalinnern häufig sehr dick ist. Verglichen mit andern Lagerbeständen mussten wir auch vermehrt aus Zinkanhäufungen bestehende Oberflächenfehler feststellen. Wie aus den Figuren 3...6 zu erkennen ist, können solche Unebenheiten die Montage und den Kabeleinzug ausserordentlich behindern.

4.2.2 Lager B

Die Kabelkanäle dieses Lagers wiesen bezüglich Haftung und Oberflächenaussehen grösstenteils Zinkschichten befriedigender Qualität auf. Abblätternde Zinkhaut konnte von insgesamt 120 kontrollierten Stäben lediglich an einem einzigen Stück, und dort beschränkt auf eine kurze Zone, festgestellt werden. Dazu haftete der Zinküberzug noch bei weiteren fünf Kanälen nicht einwandfrei: beim Abraspeln der Zinkschicht lösten sich statt Feilspäne kleine Zinksplitter. Gröbere Oberflächenfehler, wie sie etwa in den Figuren 3...6 abgebildet sind, trafen wir in diesem Lager sowohl 1968 als auch 1969 nur vereinzelt an.

4.2.3 Lager C

Die Verzinkung der hier gestapelten Kabelschutzeisen kann, gesamthaft gesehen, als gut bezeichnet werden. Vor allem bei der Kontrolle 1969 fiel auf, dass die Schichtdicke oft mehr als 100 μm betrug und häufig Schichten von mehr als 130 μm (24...29%) anzutreffen waren. Die Kanäle mit sehr dicken Zinkschichten wiesen meist eine grübelige Oberfläche auf, wie dies *Figur 9* zeigt. Bei einem einzelnen Bund zu 15 Kanälen Nr. 8 beobachteten wir Überzugsschichten von teilweise mehr als 300 μm, wobei diese Schichten eine graue und porige Oberfläche zeigten, wie dies die *Figur 10* veranschaulicht. Weil dieser Fehler nicht über den ganzen Lagerbestand verteilt vorgekommen ist, sondern sich auf einen einzigen Bund beschränkte, muss er als zufällig betrachtet werden. Störende Zinkanhäufungen und Zinkschlackeneinschlüsse konnten nur vereinzelt festgestellt werden. Hingegen wiesen sämtliche Kanäle der Grösse Nr. 8 und 9 sowie ein Teil der Kanäle Nr. 4 am einen Seitenflansch sehr stark verdickte Zinkschichten auf, die in Extremfällen das Zusammenbriden von Boden und Deckel erschweren. Allerdings sind uns bisher von der Bauabteilung der Kreistelephondirektion C keine entsprechenden Beschwerden zugekommen. Ein Teil der Kanäle Nr. 4 zeigte Abstreifspuren in der Zinkoberfläche. Vereinzelt konnten bei solchen Überzügen zu dünne Zinkauflagen gemessen werden.

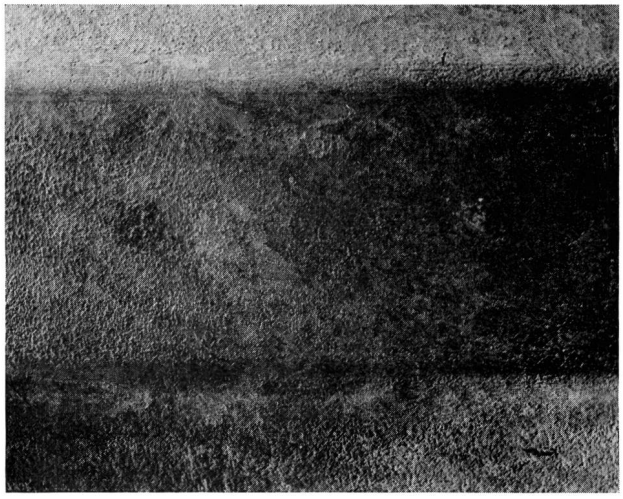

Fig. 9
Kanaltyp Nr. 9: Dicker Zinküberzug mit grübeliger Oberfläche

4.2.4 Lager D

Die Verzinkungsqualität der hier gelagerten Kabelschutzeisen hat sich innerhalb eines Jahres wesentlich verändert. Während wir 1968 praktisch keine Beanstandung anbringen

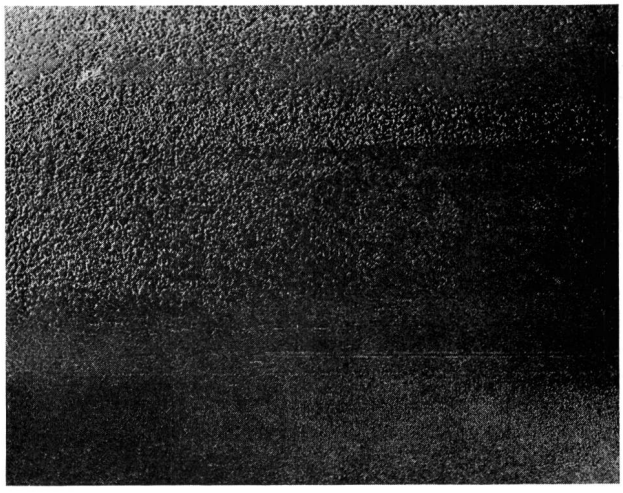

Fig. 10
Kanaltyp Nr. 8: Die graue und porige Verzinkung von über 300 μm Dicke splittert bei Schlageinwirkung ab

mussten, wies im Juni 1969 ein grosser Teil der vorhandenen Kanäle grau gestreifte Zinküberzüge auf, ähnlich wie wir dies im Lager A beobachteten (Fig. 7). Andere Oberflächenfehler traten hingegen nur vereinzelt auf.

5. Spektrographische und chemische Untersuchung des Probenmaterials

5.1 Bedeutung der Fremdmetallanteile in der Zinkschmelze

Bei der Feuerverzinkung werden die Tauchbäder in der Regel mit Hüttenzink 98,5 beschickt. Der Fremdmetallgehalt von 1,5% besteht zum grössten Teil aus Blei (rund 1,3%), während die Elemente Zinn, Cadmium, Eisen und Kupfer insgesamt nicht mehr als etwa 0,2% ausmachen. Abgesehen von Aluminium, das je nach Verzinkungsverfahren zu 0,01...0,2% in die Zinkschmelze gegeben wird, verwendet man normalerweise keine weiteren Metallzusätze. Der Fachliteratur kann entnommen werden, dass zur Erzielung guter Zinküberzüge im Gegenteil eher auf möglichst reines Zink tendiert wird. Über den Einfluss der möglichen Fremdmetallverunreinigungen oder Zusätze auf die Verzinkungsqualität findet man etwa folgende Hinweise [1, 2, 3]:

Der *Eisengehalt* der Zinkschmelze sollte nicht mehr als 0,05% betragen. Höhere Fe-Gehalte wirken sich ungünstig auf die Biegefestigkeit und den Korrosionswiderstand des Zn-Überzugs aus.

Bis zu 1,3% *Blei* ist in Zink bei 420 °C löslich und soll auf die Zink-Eisen-Reaktion beim Verzinkungsprozess praktisch keinen Einfluss ausüben. Dagegen wird die Viskosität der Schmelze erhöht, wodurch die Zinkaufnahme ansteigt. An anderer Stelle wird ausgeführt, dass Bleigehalte von 0,22... 0,26% die Haftfestigkeit des Zinküberzugs nicht beeinflussen. Einerseits wird auch die Meinung vertreten, dass weder Blei noch Cadmium wesentlich auf die Qualität des Zinküberzugs einwirken, während anderseits erwähnt wird, dass der Gehalt an Cadmium nicht höher als 0,01% und jener an Blei maximal 0,05% sein darf, weil höhere Anteile dieser Metalle zum Abblättern der Reinzinkschicht von der Eisen-Zink-Legierungsschicht führen können.

Cadmium soll bis zu 0,2% unbedenklich sein und weder die Löslichkeit des Eisens noch die Struktur der Verzinkung beeinflussen. Höchstens die Verformbarkeit der Reinzinkschicht wird beeinträchtigt, weshalb für die Drahtverzinkung jedenfalls cadmiumfreies Zink verwendet wird. Ist zugleich Blei vorhanden, soll dieses die versprödende Wirkung des Cadmiums stark vermindern.

Zinn in Mengen von einigen 1/10-Prozenten bringt glänzendere Überzüge und verbessert die sogenannte Zinkblumenbildung, soll jedoch auch versprödend wirken.

Aluminium beeinflusst die Struktur und die Eigenschaften der Verzinkung am stärksten. Deutliche Auswirkungen können aber erst bei Aluminiumgehalten von mehr als 0,1% erwartet werden. Aluminium hemmt die Legierungsbildung und wird deshalb bei der Blechverzinkung zur Erzielung besonders guter Biegefähigkeit in Mengen von etwa 0,2% der Zinkschmelze zugesetzt.

Die hier erwähnten, zum Teil widersprüchlichen Angaben über die Wirkungsweise von Fremdmetallen veranlassten uns, zu untersuchen, ob die Zinkschichten der verschiedenen Kabelschutzeisen unterschiedliche Fremdmetallanteile enthalten und besonders, ob zwischen schlecht haftenden und guten Überzügen Unterschiede in Art und Menge der Verunreinigungen festzustellen waren.

5.2 Probenahme und Analysenmethoden

Anlässlich der Lagerkontrollen 1968 schabten wir mit einer Bohrraspel von insgesamt 98 Kabelkanälen Späne der Überzugsschichten ab. Wegen der grossen Zahl Proben und der verhältnismässig geringen Materialmengen (je etwa 1 g Zinkspäne) konnten die Fremdmetallanteile nur auf spektrographischem Wege ermittelt werden. Da es uns mehr darum ging, Vergleichswerte zu erhalten, und weniger um die Bestimmung der genauen Absolutgehalte, bedienten wir uns der experimentell einfachen Methode der Lösungsspektrographie. Dazu lösten wir die Zinkspäne in Salzsäure (1 g Zn in 10 ml HCl 2:1), tropften von diesen Lösungen auf Kohleträgerelektroden und spektrographierten die so präparierten Proben unter folgenden Bedingungen:

Gerät: Hilger Medium Quarz-Spektrograph Typ E498
Anregung: Wechselstrombogen 220 V, 7 A, intermittierend
Trägerelektroden: Spektralkohle RW II, Ringsdorff
Spaltbreite: 0,015 mm
Elektrodenabstand: 3 mm
Belichtungszeit: 60 Sekunden
Photoplatte: Agfa Scientia
Auswertung: gegen Leitproben (Eichlösungen)
Genauigkeit: $\sim \pm 30\%$

Nach üblichen chemischen Analysenverfahren untersuchten wir zudem einige den Verzinkungsbädern und den Barrenlagern entnommene grössere Zinkproben, wie auch Proben der von den Verzinkereien verwendeten Beizlösungen und Flussmittel.

5.3 Ergebnisse der spektralanalytischen Untersuchung der Zinküberzüge

In *Tabelle III* haben wir verschiedene Durchschnittswerte der spektralanalytisch bestimmten Fremdmetallanteile zusammengestellt. Zum vorneherein muss berücksichtigt werden, dass die Gehaltsangaben auf die gesamte Überzugsschicht bezogen sind und nicht dem in der Zinkschmelze enthaltenen Fremdmetallanteil entsprechen, weil bedingt durch die Art der Probenahme die analysierten Späne zu etwa einem Drittel aus von den Legierungsschich-

Tabelle III. Auswertung der spektralanalytischen Untersuchung von Zinkschichten

Verzinkerei	A					B					C					D				
Fremdmetall	Pb	Sn	Cd	Cu	Al	Pb	Sn	Cd	Cu	Al	Pb	Sn	Cd	Cu	Al	Pb	Sn	Cd	Cu	Al
Durchschnittsgehalt in %	0,64	0,11	0,04	0,03	0,04	0,68	0,09	0,03	0,04	0,02	0,75	0,03	0,05	0,01	0,02	0,71	0,06	0,03	0,02	0,02
Streuung:																				
max. Wert %	1,2	0,22	0,09	0,07	0,12	1,0	0,20	0,06	0,10	0,06	1,2	0,06	0,08	0,02	0,04	1,1	0,20	0,09	0,04	0,04
min. Wert %	0,4	0,04	0,02	0,02	<0,01	0,4	0,05	0,02	0,02	0,01	0,5	0,01	0,03	0,01	0,01	0,4	0,01	0,01	0,01	<0,01
Durchschnittsgehalt *schlecht haftender* Zn-Schichten %	0,60	0,12	0,04	0,03	0,04						0,68	0,03	0,05	0,02	0,01					
Durchschnittsgehalt *normal haftender* Zn-Schichten %	0,66	0,11	0,05	0,03	0,04						0,77	0,03	0,05	0,01	0,02					
Streuung bei *schlecht haftenden* Zn-Schichten																				
max. Wert %	0,8	0,22	0,06	0,07	0,06						0,8	0,05	0,07	0,02	0,01					
min. Wert %	0,4	0,05	0,03	0,02	<0,01						0,5	0,01	0,03	0,01	0,01					
Streuung bei *normal haftenden* Zn-Schichten																				
max. Wert %	1,2	0,20	0,09	0,06	0,12						1,2	0,06	0,08	0,02	0,04					
min. Wert %	0,4	0,04	0,02	0,02	<0,01						0,5	0,02	0,03	0,01	0,01					
Total der Beimengungen durchschnittlich	0,86%					0,86%					0,86%					0,84%				

ten und vom Grundmetall stammendem Eisen bestehen. Durchschnittlich beträgt der Gesamtfremdmetallgehalt in den Zinküberzügen der Kabelkanäle aller Verzinkereien rund 0,9%. Blei bildet mit 0,7% den Hauptanteil, während Zinn, Cadmium, Kupfer und Aluminium im Durchschnitt insgesamt etwa 0,1...0,2% ausmachen. Vergleicht man die Fremdmetallgehalte der normal haftenden Zinküberzüge mit den in den abblätternden Zinkschichten gefundenen Werten, so sind keine Unterschiede festzustellen, aus denen irgendwelche Schlüsse auf einen Fremdmetalleinfluss gezogen werden könnten. Immerhin zeigt sich, dass die Verzinkerei A im allgemeinen mit etwas höherem Al-Zusatz arbeitet als die übrigen Firmen. Es kann dies mindestens als Teilursache dafür angesehen werden, dass bei der Verzinkerei A durchschnittlich geringere Schichtdicken erzielt werden.

5.4 Ergebnisse der chemischen Analyse von Zinkproben

Die *Tabelle IV* enthält die Analysenwerte der untersuchten Zinkproben. Die vier Firmen verwenden alle Hüttenzink für ihre Verzinkungsbäder. Dabei handelt es sich normalerweise um die DIN-Qualität Zn 98,5 mit einem Gesamtfremdmetallgehalt von höchstens 1,5%. Die unter 5.1 beschriebenen Auswirkungen der Fremdmetallbeimengungen treten offenbar nur wesentlich in Erscheinung, wenn mit reinstem Zink (Feinzink) für höchste Ansprüche (zum Beispiel Drahtverzinkung) gearbeitet werden muss. Jedenfalls konnten wir keinerlei Übereinstimmung zwischen schlechter Verzinkungsqualität und höherem Fremdmetallgehalt feststellen. So ist zum Beispiel der Fremdmetallanteil in den Proben der Verzinkerei C grösser als in jenen der Verzinkerei A, diese liefert aber trotzdem bedeutend mehr schlecht verzinktes Material.

5.5 Analysenergebnisse der Beizbad- und Flussmittelunterssuchung

In *Tabelle V* sind die Analysenergebnisse zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, dass sämtliche Firmen zum Abbeizen von Rost und Walzhaut Salzsäurebäder verwenden. Da wir nicht wussten, welche Eisenmengen im Zeitpunkt der Probenahme die Bäder bereits passiert hatten, konnten wir die ermittelten Säuregehalte nicht direkt miteinander vergleichen. Immerhin ist anzunehmen, dass die Firmen B und D das Bad auf höhere Anfangskonzentration einstellen als A und vor allem C. Der Literatur [1] ist zu entnehmen, dass die Salzsäure zweckmässig auf eine Anfangskonzentration von 50...100 g HCl/l für längere und auf 150...200 g HCl/l für kurze Beizzeiten eingestellt werden soll. Nach diesen Angaben müssen die Bäder erneuert werden, wenn der Salzsäuregehalt auf 30 g HCl/l abgefallen oder der Eisengehalt auf 100...120 g Fe/l angestiegen ist. Trotz der unterschiedlichen Analysenwerte liegen demnach alle Beizlösungen noch im brauchbaren Bereich.

Wie die qualitative Analyse der Flussmittelproben ergab, wird von allen Verzinkereien Ammoniumchlorid als Flussmittel benutzt, wenn auch in unterschiedlicher Form (Presskörper, Salz, Pulver).

6. Beschreibung und Beurteilung der Verzinkungsverfahren der verschiedenen Verzinkereien

Für die Feuerverzinkung kennt man als Grundverfahren die Nassverzinkung und die Trockenverzinkung. Bei der Nassverzinkung werden die Eisenteile direkt aus der Beizlösung – noch nass – durch eine auf der Zinkschmelze schwimmende Flussmitteldecke in das Zinkbad eingetaucht und durch den blanken Zinkspiegel wieder herausgezogen.

Tabelle IV. Fremdmetallgehalte der untersuchten Zinkproben

Verzinkerei	A			B	C			D
Probenahme	21. 6. 68			27. 6. 69	2. 7. 69			24. 6. 69
Art der Probe	Schmelze aus Bad 1	Schmelze aus Bad 6	Barren ab Lager	Schmelze aus Bad	Schmelze aus Bad	Barren ab Lager	Hartzink abgeschöpft	Schmelze aus Bad
Fremdmetall:								
Blei %	1,02	1,00	0,90	1,10	1,19	1,23	1,82	1,22
Zinn %	0,15	0,17	0,06	0,07	0,03	0,01	0,01	0,14
Cadmium %	0,04	0,05	0,01	0,09	0,09	0,14	0,07	0,01
Kupfer %	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02
Eisen %	0,05	0,05	0,02	0,05	0,07	0,03	4,7	0,05
Aluminium %	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Beimengungen total %	1,3	1,3	1,0	1,35	1,4	1,4	6,6	1,45

Tabelle V. Ergebnisse der chemischen Analyse der Beizlösungen und Flussmittel

Verzinkerei	A		B	C	D
Datum der Probenahme	21. 6. 68		27. 6. 69	2. 7. 69	24. 6. 69
1. Beizlösungen	«ältere Lösung»	«neuere Lösung»			
Filtrierrückstand g/l	1	0,1	0,1	0,8	0,4
Dichte bei 20 °C g/cm³	1,275	1,232	1,229	1,244	1,191
Salzsäuregehalt g HCl/l	97	95	146	53	168
HCl-Konzentration Gew. %	8,3	7,7	11,9	4,3	14,1
Eisengehalt g Fe/l	117	96	85	62	60
Zinkgehalt g Zn/l	4,2	2,8	2,6	65	1,5
Totalsalzgehalt g/l ($FeCl_2 + ZnCl_2$)	277	224	198	277	139
2. Flussmittel					
Form	zylindr. Presskörper 28 mm lang, 28 mm ⌀		feines Pulver	zylindr. Pressk. 28 mm lang, 28 mm ⌀	feinkrist. Salz
Löslichkeit in Wasser	klar löslich		mit Trübung lösl. (0,1 % unlöslich)	klar löslich	klar löslich
Sublimierbarkeit	vollständig sublimierbar		mit 0,01 % Glührückstand subl.	vollständig subl.	vollständig subl.
pH der wäss. Lösung	5		5	5	5
Ergebnis d. qual. Analyse	NH_4Cl		NH_4Cl mit Rieselzusatz	NH_4Cl	NH_4Cl

Bei der Trockenverzinkung wird das Eisen nach dem Abbeizen in eine wässerige Lösung des Flussmittels getaucht, herausgenommen und im Trockenofen getrocknet. Dadurch bleibt auf dem Material ein Flussmittelfilm haften. Beim Eintauchen in die Zinkschmelze reinigt der Flussmittelfilm die Eisenoberfläche, kocht ab, steigt an die Zinkbadoberfläche und beseitigt dort noch die sich bildenden Zinkoxyde. Beim Trockenverfahren entstehen Zinkschichten von geringerer Stärke als bei der älteren Methode des Nassverzinkens, weil dabei mit einem Zusatz von 0,2% Aluminium gearbeitet wird. Die Schichten werden somit biegsamer und die Verformbarkeit solcher Überzüge wird dadurch wesentlich verbessert. Das Trockenverfahren ist deshalb vor allem für die Blechverzinkung von Bedeutung. Da die Kabelschutzeisen nach der Verzinkung durch keine weitere Verformung beansprucht werden und man hauptsächlich auf eine starke Zinkauflage Wert legt, verzinkt man sie in allen Verzinkereien nach dem Nassverfahren.

Durch Werkbesichtigungen versuchten wir abzuklären, ob trotz der grundsätzlich gleichen Verzinkungsmethode doch Unterschiede im gesamten Arbeitsablauf bestanden, aus denen sich das zeitweise gehäufte Auftreten von unbefriedigend verzinktem Material erklären liess.

6.1 Verzinkerei A

Bei einer ersten Werkbesichtigung am 21. Juni 1968 stellten wir fest, dass die Kabelkanäle nach zwei verschiedenen Verfahren verzinkt werden. Vom grössten Typ Nr. 9 fixiert man jeweils etwa 25 Kanäle in Eisenhaltern und taucht sie als Paket ins Zinkbad. Dabei lässt man das Bündel durch eine auf dem Zinkspiegel schwimmende Schicht von geschmolzenem Ammoniumchlorid langsam ins flüssige Zink gleiten. Ist das ganze Bündel vollständig eingetaucht, wird die Zinkbadoberfläche von der Flussmitteldecke und Zinkoxydhäuten ständig freigehalten, bis das Kanalpaket wieder durch den blanken Zinkspiegel aus dem Bad herausgezogen worden ist. Der ganze Vorgang beansprucht 10...15 min, wobei das Material während 3 bis 5 min vollständig eingetaucht bleibt. Das verzinkte Kanalpaket wird anschliessend etwa 10 min in der Nähe des Bades abgelegt, um zu erkalten. Die Oberflächentemperatur beträgt danach noch etwa 200 °C. Jetzt entfernt man die Eisenhalterung und verteilt die 25 Kanaleisen zum vollständigen Abkalten auf dem Boden.

Die Kabelschutzeisen Nr. 4 und 8 dagegen werden im Einzeltauchverfahren mit maschineller Eingabe verzinkt. Die gebeizten Eisen gelangen, noch feucht, einzeln zwischen die Speichen der an der Längsseite des Bades angeordneten beiden Eingaberäder, von wo sie durch Drehen durch die Flussmitteldecke in die Zinkschmelze fallen. Ein Arbeiter fasst dann fortlaufend die auf den im Bad befestigten Eisenschienen liegenden Kanäle mit einer Greifzange, hebt das Vorderende des Kanals aus dem Zinkspiegel und richtet es durch eine dem Kanalprofil angepasste Ringdüse

an das dahinter sich drehende Magnetrad. Diese Magnetwalze reisst dann den Kanal aus dem Bad. Beim Durchlaufen der Ringdüse wird das überschüssige Zink durch ausströmende Pressluft allseitig von der Kanaloberfläche abgeblasen. Hinter der Magnetwalze wird das Material von einem Rollenförderband weitertransportiert und passiert eine Vorrichtung, aus welcher der vorbeirollende Kanal mit Kühlwasser besprengt wird. Am Ende des Förderbandes nehmen zwei Arbeiter die noch heissen Kanäle mit Zangen in Empfang, legen sie auf Gestellböcken nebeneinander und binden sie periodisch zu Bünden lagerfertig zusammen. Die Zinkbadtemperatur wird auf 450...455 °C gehalten. Die Tauchzeit beträgt maximal 2 min. Der Abblasdruck wird auf 3 Atü eingestellt. Die Durchlaufgeschwindigkeit durch die Abblasdüse beträgt etwa 1 m/s. Während etwa 5 s wird jeder Kanal mit Wasser berieselt, und etwa 2 min nachdem ein Kanal das Zinkbad verlassen hat, liegt er auf dem Stapel.

Am 30. April 1969 statteten wir der Verzinkerei A einen zweiten Besuch ab. Anlass dazu war eine Lieferung von Kabelschutzeisen Nr. 4 und 8 von Anfang April, die zu 90% wegen zu geringer Zinkschichtdicke und schlecht haftender, teilweise abblätternder Verzinkung beanstandet werden musste (Tabelle I: Lieferung T). Erstmals fiel uns bei dieser Lieferung die grau gestreifte Verzinkungsschicht auf und dazu auch gardinenartig verlaufende Formen der dünnen Reinzinkschicht, wie dies in den *Figuren* 8, *11 und 12* deutlich zu erkennen ist.

Grundsätzlich wurde in gleicher Weise verzinkt wie bei unserem ersten Besuch vor Jahresfrist. Im Bestreben einer wirksamen Vorkühlung hatte man aber den Abblasdruck inzwischen bis 5 Atü erhöht. Zudem war die Wasserberieselung durch ein Kühlwassertauchbad ersetzt worden, weil man die Hauptursache für das Abblättern der Zinkschichten darin sah, dass es immer noch zu lange dauerte, bis die Kabelkanäle nach dem Verzinken auf Raumtemperatur abgekühlt waren. Unter dem Eindruck des erwähnten Misserfolges hatte man im Zeitpunkt unserer zweiten Werkbesichtigung als erste Korrekturmassnahme den Abblasdruck bereits wieder auf 1,5 Atü reduziert und die Tauchzeit

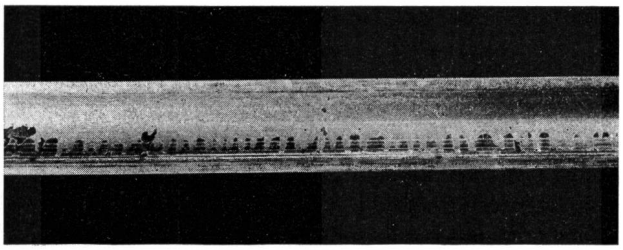

Fig. 11
Kanaltyp Nr. 4, Innenseite: Die in einer Querrichtung verlaufenden Gardinenformen zeigen sich hier noch deutlicher als bei Figur 8. Die Zinkschicht blättert stellenweise auch ab

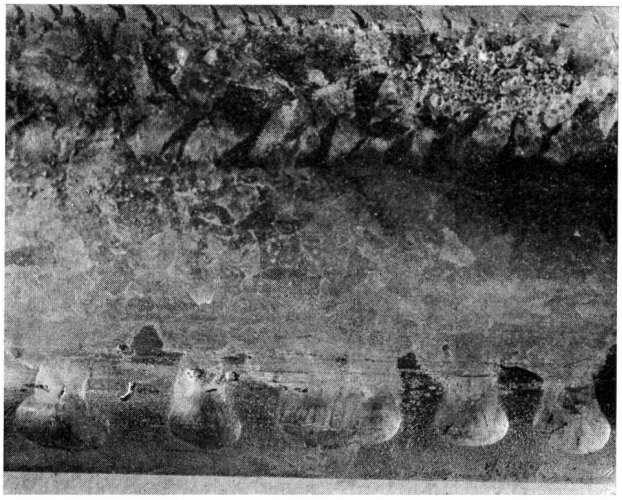

Fig. 12
Kanaltyp Nr. 4: An der Innenseite sind die Gardinenformen am einen Seitenflansch zu dicken Zinktropfen ausgebildet. Im Kanalboden erkennt man Strukturen, die auf ein Reissen der bereits erstarrten Oberflächenhaut hinweisen

etwas verlängert. Diese an sich geringfügigen Veränderungen hatten denn auch sofort zu einer wesentlichen Verbesserung der Verzinkungsqualität geführt. Die Manipulationen beim Abschrecken im Wasserbad wirkten sich jedoch immer noch ungünstig auf die Zinkschicht aus, wie aus folgender Beschreibung des Kühlvorgangs hervorgeht:

Innerhalb weniger Sekunden gelangt ein Kanal auf dem Rollenförderband vom Zinkbad neben den Kühlwassertrog und wird durch einen Holzprellbock brüsk zum Stehen gebracht. Zwei Arbeiter fassen den Kanal mit Greifzangen an beiden Enden und schwingen ihn auf zwei danebenstehende Abstellböcke, wobei der Kanal auf dem einen Seitenflansch hart aufschlägt und die Hohlseite nach unten gekippt wird. Nun wird er erneut mit Zangen gefasst und Hohlseite nach unten in den Wassertrog getaucht. Im gleichen Zangengriff wird das abgeschreckte Stück in einem Schwung auf das Ablegegestell zurückgehoben und sofort gestapelt. Wie wir beobachteten, wird im Augenblick, da der Kanal seitlich auf die Abstellböcke aufschlägt, das unter der bereits erstarrten Oberflächenhaut noch teilweise flüssige Zink nach unten geschleudert, wodurch schliesslich die in den Figuren 8, 11 und 12 ersichtliche Gardinenstruktur entsteht. In Extremfällen zerreisst dabei sogar die erstarrte Oberflächenhaut, und es kommt zur Tropfenbildung am unteren Seitenflansch, was sehr deutlich auf Figur 12 zu erkennen ist.

Nachdem wir auf die beobachteten Nachteile des beschriebenen Kühlvorganges aufmerksam gemacht hatten, erklärte man uns, dass es sich um ein Provisorium handle und man beabsichtige das Wasserbad so bald als möglich so zu konstruieren, dass die Kanäle direkt vom Förderband

ins Wasser gelangen. Tatsächlich wurde uns anlässlich eines kurzen Besuches am 25. Juni 1969 ein in der Weise verbessertes Kühlsystem vorgeführt. Offensichtlich kann damit nun auch fehlerfrei gearbeitet werden.

6.2 Verzinkerei B

Wie wir anlässlich eines Fabrikbesuches am 27. Juni 1969 feststellten, werden die Kabelschutzeisen Nr. 4, 8 und 9 in gleicher Weise verzinkt. Die an einem Krangestell hängenden, von der Salzsäure noch feuchten Kanäle werden mit Ammoniumchloridpulver bestäubt. Dann werden, beispielsweise vom Kanaltyp Nr. 4, gleichzeitig etwa 100 Stück langsam durch den blanken Zinkspiegel bis zum Zinkbadboden abgesenkt (Badtiefe 2,1 m). Sobald die senkrecht eintauchenden Kanäle den Badboden berühren, wird das Aufhängegestell langsam vorgefahren und zugleich weiter abgesenkt, bis die dadurch sich neigenden Stäbe völlig unter dem Zinkspiegel verschwunden sind. Von dem Augenblick an, da die Kanäle den Zinkspiegel berühren, bis sie vollständig in der Zinkschmelze untergetaucht sind, verstreichen etwa 2 min. Während weiterer 2 min lässt man sie schräg eingetaucht im Zinkbad hängen, wobei die Aufhängevorrichtung ständig etwas bewegt wird. Dann wird das Material innerhalb etwa einer Minute aus dem Bad gezogen. Die Zinkbadtemperatur sinkt von 450 °C vor dem Eintauchen auf etwa 440 °C nach dem Herausheben einer Ladung. Die verzinkten Kanäle werden nach dem Abtropfen über dem Bad mit dem Laufkran zum Rüstplatz gefahren, wo sie am Boden in einem ausgebreiteten Haufen zum Erkalten abgelegt werden. 10 min nach dem Verzinken haben wir an den abgelegten Kanälen noch Oberflächentemperaturen von 150...250 °C messen können.

Auffallend an diesem Verfahren ist, dass sehr wenig Flussmittel verwendet wird und dass praktisch nicht darauf geachtet wird, das verzinkte Material rasch abkühlen zu lassen. Eine gewisse Fehlermöglichkeit bietet der Umstand, dass der Zinkspiegel während des Aufziehens des Materials wegen der hinderlichen Aufhängevorrichtung nicht vollkommen frei von Oxydhäuten gehalten werden kann. Dadurch können Schlackenfetzen auf der verzinkten Kanaloberfläche hängen bleiben.

6.3 Verzinkerei C

Wie wir bei unserem Besuch am 27. Juni 1969 beobachteten, wird hier der grösste Teil des Kanalmaterials stapelweise verzinkt. Das Zinkbad ist durch eine über die ganze Badbreite ins flüssige Zink eintauchende Trennwand in zwei Hälften geteilt. Über dem Zinkspiegel schwimmt in der einen Badhälfte eine dicke Flussmittelschicht, bestehend aus geschmolzenem Ammoniumchlorid; in der andern Badhälfte wird der Zinkspiegel blank gehalten. Bevor der Tauchprozess beginnt, wird eine Uhr auf 9 min gestellt, das heisst, die beteiligte Mannschaft muss den Arbeitsablauf so einrichten, dass eine Ladung in genau 9 Minuten das Zinkbad passiert hat. Mit einem Laufkran wird der in einem Gestell fixierte Kanalstapel (beispielsweise etwa 50 Stäbe Nr. 8) langsam durch die Flussmitteldecke in das flüssige Zink abgesenkt. Nach 3 min ist das ganze Gestell vollständig untergetaucht und wird nun sofort wieder hochgezogen, schwebt nach einer weiteren Minute wieder über der flussmittelbedeckten Badhälfte, wird vorgezogen und innert einer Minute in das blanke Zink der andern Badhälfte getaucht. Während etwa 2 min bleibt das Paket völlig eingetaucht und wird dabei ständig etwas bewegt. Dann wird der ganze Stapel langsam in schräger Lage wieder hochgezogen und dabei das abtropfende Zink mit Eisenschabern abgestrichen. Nach etwa 2 min sind die Kanäle aus dem Bad gehoben, sie werden im Gestell neben dem Bad abgestellt, wo man mit einem Ventilator während etwa 2 min Kühlluft durch das Kanalpaket strömen lässt. Nach Lösen der Halterung werden die Kanäle bundweise vom Gestell zum Rüstplatz befördert und dort nach dem Erkalten einzeln kontrolliert, verputzt und lagerfertig gebündelt. Die Zinkbadtemperatur von anfänglich 460 °C sinkt nach sechs solchen Tauchvorgängen auf 440 °C.

Mit Hilfe eines Kontakttemperaturfühlers prüften wir an einer Verzinkungsladung den Abkühlverlauf. Die Oberflächentemperatur 10 min nach der Verzinkung betrug noch 220...270 °C, nach 30 min waren noch immer 150...210 °C zu messen, und erst nach einer Stunde lag die Oberflächentemperatur durchwegs unter 150 °C. Dieses sehr langsame Abkühlen des verzinkten Materials ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die Einzelstäbe schon wenige Minuten nach dem Verzinken provisorisch gebündelt und in kompakten Stapeln beim Rüstplatz abgelegt werden. Trotzdem haben wir bei dem von dieser Firma gelieferten Kanalmaterial nur vereinzelt abblätternde Zinkschichten angetroffen. Hingegen sind häufig sehr dicke Zinküberzüge beobachtet worden, die bei starker Schlageinwirkung absplittern.

Ausser dass nur wenig auf eine möglichst kurzzeitige Abkühlung geachtet wird, fällt bei dieser Verzinkungsmethode auf, dass eine verhältnismässig lange Tauchzeit genau eingehalten wird. Es ergeben sich daraus durchschnittlich auch sehr starke Zinkauflagen, wie dies Tabelle I zeigt.

In kleinerer Menge wird der Kanaltyp Nr. 4, sozusagen zum Ausfüllen von Produktionslücken, in einem zweiten Bad auch im Einzeltauchverfahren verzinkt. Dabei werden die gebeizten Kanäle einzeln von Hand durch die Flussmitteldecke ins flüssige Zink gestossen, am andern Badende mit Greifzangen gefasst, aus der Schmelze über den blanken Zinkspiegel gehoben und im Schrittempo durch eine Abstreifschablone mit Asbesteinlagen gezogen. Bei dieser Arbeitstechnik ergeben sich ziemlich unterschied-

liche Zinkschichten. Jedenfalls haben wir bei der Lagerkontrolle feststellen müssen, dass nach diesem Verfahren verzinkte Kanäle teilweise zu geringe Schichtdicken, manchmal aber auch stellenweise dicke Zinkansammlungen aufweisen.

6.4 Verzinkerei D

Am 24. Juni 1969 besichtigten wir den Verzinkereibetrieb D. Die gebeizten Kanäle werden einzeln von Hand durch die aus einer Ammoniumchloridschmelze bestehende Flussmitteldecke in das flüssige Zink gestossen. Ein Arbeiter fischt die untergetauchten Kanäle mit einer Greifzange heraus, hebt ihr vorderes Ende über den auf dieser Badseite blanken Zinkspiegel und steckt sie durch eine am Beckenrand aufgestellte Ringdüse. Dort wird der Kanal von zwei Arbeitern sofort gleichzeitig gepackt, rasch durch die mit 6 Atü ausströmende Pressluft gezogen und hinter dem Zinkbad zum Abkühlen aufgereiht. Wie wir während unseres Besuches beobachteten, ergaben sich Tauchzeiten von knapp 1 min bis maximal 4 min. Die Geschwindigkeit, mit der die Stäbe durch die Abblasdüse gezogen werden, beträgt nach unseren Beobachtungen etwa 1 m/s. Die Zinkbadtemperatur konnte nicht genau angegeben werden, weil ein die effektive Temperatur der Schmelze anzeigendes Gerät fehlte. Eine Kontrollmessung der Oberflächentemperatur des Zinkspiegels mit unserem Kontakttemperaturfühler liess immerhin vermuten, dass die Schmelze wesentlich heisser als 450 °C war, weil der Instrumentenzeiger sofort deutlich über das Maximum von 450 °C ausschlug. Die Abkühlung der verzinkten Kanäle wird nur insofern etwas gefördert, als man sie nicht sofort stapelt, sondern vorher einige Minuten nebeneinander liegen lässt. 30 min nach dem Verzinken konnten wir an einigen Kanälen noch Oberflächentemperaturen von 150...160 °C messen.

Auf Grund der Ergebnisse der Lagerkontrollen (vergl. 4.2.4) vermuteten wir, dass die Verzinkerei D ihr ursprüngliches Verfahren verändert hat. Wir konnten nun erfahren, dass der Verzinkereibetrieb Anfang 1969 einige Zeit eingestellt war, um die Heizung des Zinkbades umzubauen, weil die Kapazität der alten Anlage ungenügend war. Das bedeutet aber, dass vor dem Umbau mit geringerer Durchgangsmenge gearbeitet worden ist, weil sonst die Badtemperatur zu stark abgesunken wäre. Mit dem neuen Bad wird nun offensichtlich nicht nur bei höherer Temperatur verzinkt, sondern auch rascher und mit kürzerer Tauchzeit gearbeitet.

6.5 Beurteilung der Arbeitsmethoden

Der wesentlichste Unterschied der von den untersuchten Verzinkereien angewandten Nassverzinkungsverfahren besteht darin, dass einerseits Einzelkanäle in rascher Folge durch das flüssige Zink gezogen werden, während anderseits gleichzeitig mehrere Kanäle zusammen langsam eingetaucht und auch langsam wieder herausgezogen werden. Daraus ergibt sich, dass die Berührungszeit des Eisens mit dem geschmolzenen Zink im ersten Fall meist 2 min und weniger, im zweiten aber 4...10 min beträgt. Dazu kommt, dass beim Einzeltauchverfahren flüssiges Zink beim Ausziehen von der Kanaloberfläche abgeblasen oder abgestreift wird, beim paketweisen Verzinken dagegen lässt man das überschüssige Zink beim langsamen Ausziehen selbsttätig abfliessen. Sehr unterschiedlich sind auch die Ansichten über die Bedeutung des Abkühlverlaufs nach der Verzinkung. Besonders bei der Verzinkerei A bemüht man sich um möglichst rasches Kühlen des verzinkten Materials, wogegen die andern Betriebe diese Phase des Verzinkungsprozesses nur wenig beeinflussen. So konnten an Kanaloberflächen 30 min nach dem Passieren des Verzinkungsbades je nach Kühlmethode Temperaturen von 85...210 °C gemessen werden.

Wie die Erhebungen in den Kabelkanallagern der Kreistelephondirektionen und bei den Verzinkereibetrieben eindeutig ergeben haben, ist unsere Forderung nach einer minimalen Zinkauflage von 80 μm mit der paketweisen Tauchmethode bedeutend leichter zu erfüllen als durch das Einzeltauchverfahren und anschliessende Abblas- oder Abstreifvorrichtung. Jedenfalls sind praktisch alle wegen zu geringer Schichtdicke, Streifenbildung und Abblättern beanstandeten Überzüge im Einzeltauchverfahren hergestellt worden. Trotzdem kann natürlich das modernere, weitgehend mechanisierte Verfahren der Verzinkerei A nicht einfach abgelehnt werden, denn es ist zweifellos möglich, auch mit dieser Methode einwandfrei zu verzinken. Offenbar ist es aber nicht auf Anhieb gelungen, die verschiedenen Manipulationen und mechanischen Einrichtungen richtig aufeinander abzustimmen. Wenigstens teilweise ist dies wohl darauf zurückzuführen, dass man sich bei der Verzinkerei A allzusehr von den Forderungen der maschinellen Blechverzinkungen leiten liess. (Um möglichst biegefähige Zinküberzüge zu erhalten, wird für die Blechverzinkung im Trockenverfahren die Bildung von Legierungsschichten durch kurze Tauchzeiten, Al-Zusatz und rasche Abkühlung weitgehend gehemmt.) Man hat dabei, wie es scheint, zu wenig beachtet, dass für die Kabelschutzeisen eine starke Zinkauflage mit guter Haftung bedeutend wichtiger ist als eine besonders gute Biegefähigkeit.

7. Metallographische Untersuchungen

7.1 Theoretische Erläuterungen

7.1.1 Strukturbildung

Der nach dem Eintauchen von blankgebeiztem Eisen in geschmolzenes Zink entstandene Zinküberzug besteht nicht nur aus einem auf der Eisenoberfläche erstarrten Zinkbelag. Vielmehr bilden sich durch Reaktion von Zink mit Eisen

zwischen dem Grundmetall und der äussersten Reinzinkschicht verschiedene Legierungsschichten. Vorerst erstarrt auf dem kalt eingetauchten Eisengegenstand eine Reinzinkschicht, die aber wieder schmilzt, sobald die Eisenoberfläche sich auf Zinkbadtemperatur erhitzt hat. Nun löst sich Eisen im flüssigen Zink und legiert sich sofort mit diesem zu festen Eisen-Zink-Kristallen, die grösstenteils auf der Eisenoberfläche anwachsen und diese schliesslich vollständig überziehen. Durch die entstandene Legierungsschicht diffundiert weiterhin Eisen in der einen und in geringerem Ausmass Zink in der andern Richtung, wodurch die Schicht unter Bildung immer zinkreicherer Legierungen wächst. Erst beim Herausnehmen des Verzinkungsgutes überzieht sich dieses noch mit einer auf den Legierungsschichten verankerten Zinkschmelze, die dann beim Abkühlen zur bekannten, Zinkblumen bildenden Kristallstruktur erstarrt.

Die Eisen-Zink-Legierungsschichten bestehen aus Kristallen von unterschiedlicher Art, weil entsprechend dem Eisen-Zink-Verhältnis verschiedene Raumgitterformen aus den Atomrümpfen der beiden Metalle aufgebaut werden. Im Temperaturbereich des Feuerverzinkens sind folgende homogene Phasen möglich [1]:

Auf der Zinkseite bildet sich, mit gleichem Kristallgitter wie reines Zink, die η-Phase mit 0...0,2% Fe (hexagonale Kugelpackung), gegen das Eisen zu folgt die ζ-Phase mit 6,0...6,2% Fe (monokline Symmetrie), dann schliesst die δ_1-Phase an mit 7...11,5% Fe (hexagonale Symmetrie), der Eisenoberfläche anliegend folgt die Γ-Phase mit 21...28% Fe (kubisch), und in der Eisenoberfläche existiert schliesslich noch der zinkgesättigte α-Mischkristall mit gleichem kubischem Gitter wie reines α-Eisen.

Bei der Entwicklung eines Zinküberzuges auf Eisen bauen sich grundsätzlich alle diese homogenen Phasen in der Überzugsschicht auf. Das schematische Strukturbild in *Figur 13* zeigt den theoretisch möglichen Schichtaufbau in Beziehung zum Eisen-Zink-Zustandsdiagramm. Die einzelnen Schichten werden entsprechend ihrer Lage und ihrem Aussehen auch wie folgt benannt: haftende Schicht (ha), anliegende Schicht (an), Palisadenschicht (Pal), abschwimmende Schicht (ab) und Reinzinkschicht (RZ). Die aus der Γ-Phase bestehende haftende Schicht ist sehr dünn und bei Zinküberzügen, die unter normalen Bedingungen entstanden sind, gewöhnlich mikroskopisch nicht nachweisbar. Die δ_1-Phase bildet die nächsten beiden Schichten «an» und «Pal». Die im Schliffbild strukturlos erscheinende «anliegende Schicht» erhielt ihren Namen wohl deshalb, weil sie normalerweise direkt dem Eisenuntergrund anliegend erscheint. Sie geht nach aussen sozusagen nahtlos in die ihres palisadenartigen Aussehens wegen Palisadenschicht benannte Zone über. Meist durch eine deutliche Trennlinie von der Palisadenschicht abgegrenzt, bildet die

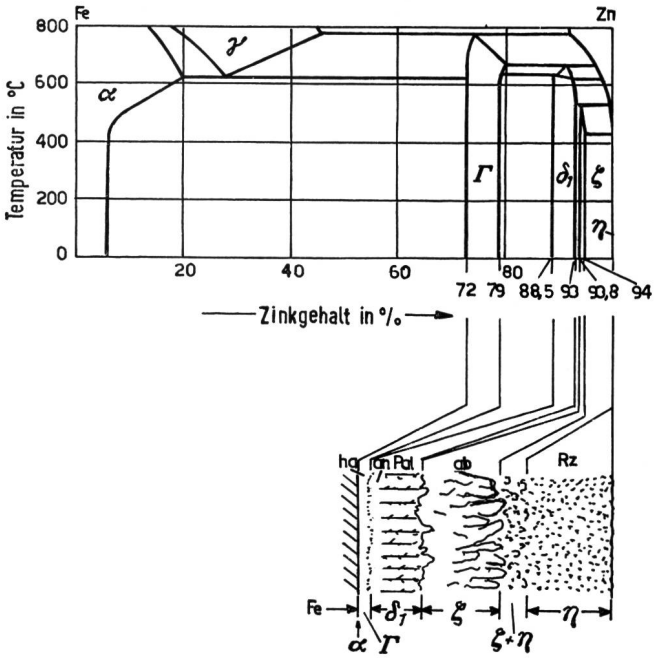

Fig. 13
Zustandsdiagramm Fe-Zn mit den einzelnen Phasen und dem Schichtaufbau dieser Phasen [5]

ζ-Phase die letzte, häufig dickste Legierungsschicht, aus der die äusseren Kristalle aufgelockert in die Reinzinkschicht hineinragen und während des Verzinkungsprozesses ins Zinkbad abschwimmen, weshalb sie als abschwimmende Schicht bezeichnet wird. *Figur 14* zeigt eine der vorausgehenden Beschreibung entsprechende Normalstruktur eines

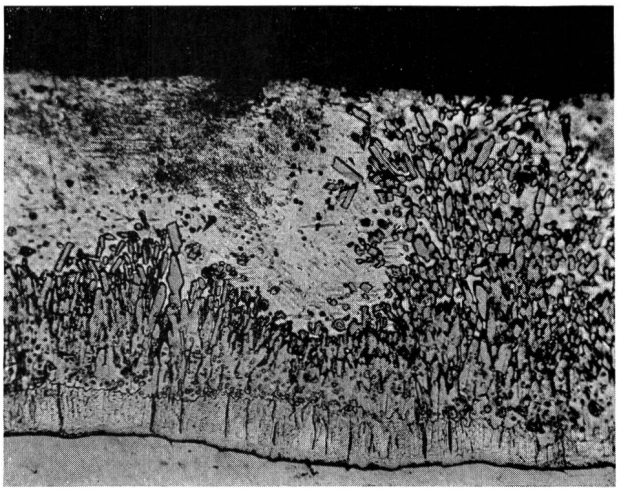

Fig. 14
Querschnitt durch eine im Nassverzinkungsverfahren unter normalen Bedingungen entstandene Verzinkungsschicht (450 °C, 8 min Tauchzeit)

im Nassverzinkungsverfahren und unter normalen Bedingungen entstandenen Überzugs. Verschiedene Faktoren beeinflussen den Aufbau der Verzinkungsschicht, weshalb ein Schliffbild irgendeines Zinküberzugs auch wesentlich anders aussehen kann. Bestimmend für die Struktur des sich bildenden Zinküberzugs sind: Art und Zustand des Grundmetalls, chemische Zusammensetzung sowie Viskosität und Oberflächenspannung der Zinkschmelze, Tauchzeit, Tauchtemperatur, Ausziehgeschwindigkeit und Abkühlverhältnisse.

Entsprechend der Menge des vom Grundmetall gelösten und zu Legierungsschichten umgewandelten Eisens spricht man von verschiedenen Angriffsarten [1, 3, 4]. Dabei kann der Angriff der Zinkschmelze auf das zu verzinkende Eisen nach verschiedenen Gesetzmässigkeiten verlaufen, je nach gewähltem Temperaturbereich. Im Bereich vom Zinkschmelzpunkt (419 °C) bis zu 490 °C und bei höher als 520 °C liegenden Temperaturen gilt ein mit der Tauchzeit parabelförmig abklingendes Angriffsgesetz. Im dazwischenliegenden Temperaturbereich, also von 490...520 °C, schreitet der Angriff geradlinig mit der Reaktionszeit fort. Das Auftreten dieser rasch fortschreitenden Angriffsart hängt mit der in diesem Temperaturgebiet verzögerten Umwandlung der δ_1-Phase in die ζ-Phase zusammen, was bewirkt, dass sich keine kompakte Legierungsschicht bilden kann, so dass die Zinkschmelze nicht über den mit wachsender Legierungsschicht grösser werdenden Diffusionsweg mit dem Eisen reagieren muss, sondern fortlaufend durch die lockere Legierungszone mit dem Grundmetall in direktem Kontakt bleibt. Dass dabei ein von der Normalstruktur völlig verschiedenes Kristallgefüge gebildet wird, zeigt die *Figur 15,* ein Querschnitt durch eine im Übergangsgebiet von der einen zur andern Angriffsart bei 490 °C während 15 Minuten Tauchzeit entstandene Verzinkungsschicht. Der Temperaturbereich des geradlinig mit der Zeit fortschreitenden Angriffs wird durch bestimmte Eisenbegleiter, wie Kohlenstoff, Silicium oder Mangan, mehr oder weniger deutlich und vorwiegend nach tieferen Temperaturen verschoben. Es ist deshalb möglich, dass, beispielsweise bei genügend hohem Silicium- oder Kohlenstoffgehalt des Eisens, sich schon bei normaler Badtemperatur von 450...470 °C solche Legierungsstrukturen bilden. Auch innerhalb des üblichen Angriffsbereichs beeinflussen Temperatur und Tauchdauer die Eigenschaften des sich bildenden Zinküberzugs, wenn auch nicht durch Gefügeveränderungen, so doch durch den mengenmässigen Aufbau der verschiedenen Schichten. Im allgemeinen erwartet man [1] beim Nassverzinkungsverfahren einen Überzug, der in seiner Dicke etwa je zur Hälfte aus Legierungsschichten und Reinzink besteht. Durch Verlängerung der Tauchzeit und Erhöhung der Badtemperatur wächst allein die Legierungsschicht, während die Stärke der Reinzinkschicht nur insofern zunimmt, als durch dicke Legierungsschichten die Verankerungsmöglichkeit verbessert und durch die abschwimmenden Legierungskristalle die Viskosität der Schmelze erhöht wird. Die Stärke der Reinzinkauflage wird also weniger durch die Energie- als vielmehr durch die mechanischen Herstellungsbedingungen beeinflusst, das heisst durch Ausziehgeschwindigkeit, Abblasen, Abstreifen oder selbsttätiges Abfliessen der anhaftenden Schmelze. Bei richtiger Einstellung aller die Schichtstärke bestimmenden Faktoren erhält man, je nach Verzinkungsverfahren und Art des Verzinkungsgutes, maximale Zinkauflagen, die nicht weiter verstärkt werden können, ohne dass sich ihre Eigenschaften dabei erheblich verschlechtern. So rechnet man [1] etwa bei nassverzinkten Eisenprofilen mit Zinkauflagen von maximal 800 g/m², entsprechend einer Schichtdicke von 110 μm, bei handgetauchten Blechen mit maximal 600 g/m² oder 85 μm. Die für die Kabelschutzeisen geforderte minimale Schichtdicke von 80 μm sollte demnach im Nassverzinkungsverfahren unter normalen Bedingungen noch ohne Qualitätseinbusse erreichbar sein.

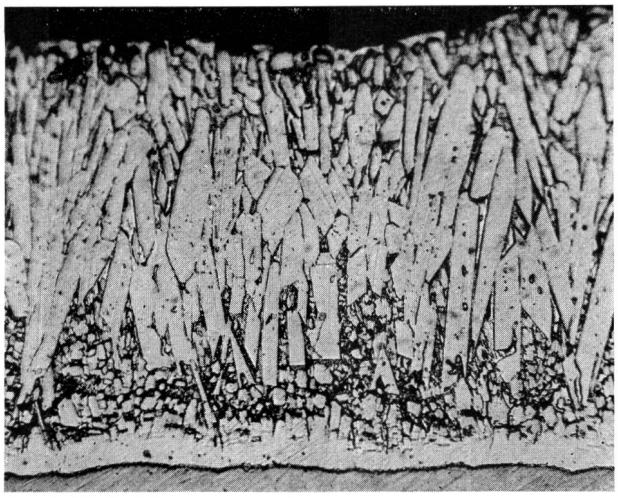

Fig. 15
Querschnitt durch einen Zinküberzug, der im Übergangsbereich von der normalen zur geradlinig mit der Zeit fortschreitenden Angriffsart entstanden ist (490 °C, 15 min)

7.1.2 Eigenschaften

Ausser der Schichtdicke interessieren von den Eigenschaften einer Verzinkung vor allem die Biege- und die Haftfestigkeit. Zur Beurteilung der Biegefähigkeit ist grundsätzlich zu bemerken, dass die Zinkschicht beim Biegen unterschiedlich stark beansprucht wird, je nachdem ob dicke oder dünne Überzugsschichten gebogen werden oder ob der Überzug auf einer dicken oder dünnen Eisenunterlage haftet. Besonders biegefähig sind deshalb Zinküberzüge nur in dünner Schicht und auf dünnen Blechen. Abgesehen

von diesen mechanischen Voraussetzungen nimmt die Biegefähigkeit eines Zinküberzuges mit wachsendem Legierungsschichtanteil rasch ab, weil das Eisen-Zink-Legierungsgefüge, und davon besonders die Palisadenzone, wesentlich spröder ist als die Reinzinkschicht. Aus diesem Grunde werden Materialien, die nach dem Verzinken starker Biegebeanspruchung ausgesetzt sind (Draht, Blech) häufig im Trockenverfahren verzinkt.

Dazu werden Zinkschmelzen mit einem Aluminiumzusatz von etwa 0,2% verwendet, wodurch die Legierungsbildung weitgehend gehemmt wird. Man erhält dabei Überzüge, die normalerweise nicht dicker als 50 μm sind, aber vorwiegend aus Reinzink bestehen. Die Haftfestigkeit solcher Schichten ist jedoch schlechter als jene nassverzinkter Überzüge mit gut ausgebildeten Legierungsschichten.

Die Haftung des Zinküberzugs wird durch die Legierungsschichten gewährleistet, jedoch nicht in dem Sinne, dass sie mit wachsendem Legierungsanteil stets zunimmt. Bei sehr dickem Legierungsgefüge kommt es nämlich zu Rissbildungen in der anliegenden und der Palisadenschicht, so dass die Haftung dann stark vermindert wird, was vor allem dadurch in Erscheinung tritt, dass solche Schichten bei Schlagbeanspruchung absplittern. Während es zum Absprengen oder Absplittern eines in der δ_1-Zone rissigen, dicken Zinküberzugs immerhin noch einer mehr oder weniger kräftigen Schlageinwirkung bedarf, tritt der Effekt des ebenfalls bekannten Abblätterns oder Abschälens sozusagen spontan auf. Dabei schält sich die Reinzinkschicht praktisch ohne mechanische Einwirkung als Haut von der auf der Eisenunterlage haftenden Legierungsschicht ab. Diese hauptsächlich bei der Blechverzinkung gefürchtete Erscheinung tritt auf, wenn Bleche sofort nach der Verzinkung noch heiss gestapelt werden [2]. Infolge der grossen Wärmekapazität eines solchen Stapels bleiben die Bleche lange heiss und kühlen nur sehr langsam ab. Man spricht in solchen Fällen deshalb auch von «gedämpften Blechen». Dass das Abschälen der Reinzinkhaut auf die unterschiedliche Wärmeausdehnung von Eisen und Zink zurückzuführen ist, wie zum Teil angenommen wird, erscheint uns allerdings fraglich.

7.2 Durchgeführte Untersuchungen

7.2.1 Schliffherstellung

Um festzustellen, ob oder wie weit die Verfahrensunterschiede der vier Verzinkereien die Struktur der Zinküberzüge beeinflussten und ob schlecht haftende Schichten in ihrem Gefügebild von Überzügen normaler Qualität zu unterscheiden sind, fertigten wir von etwa 50 Kabelkanalabschnitten Schliffproben an. Dazu sägten wir etwa 4 cm² grosse, rechteckige Blechstücke aus den Kanalabschnitten und betteten die Proben hochkant in kalthärtendes Epoxydharz ein.

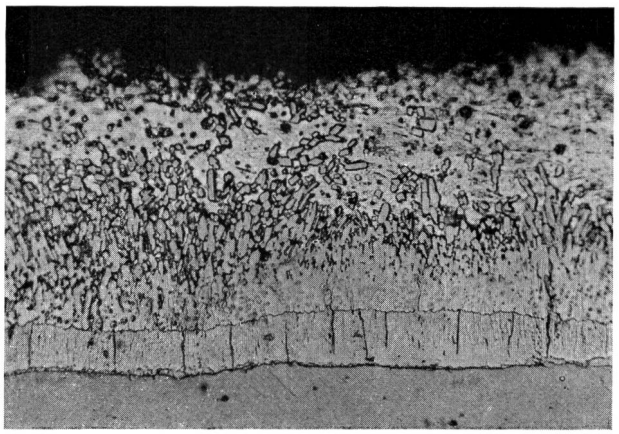

Fig. 16
Verzinkerei A, Kanaltyp Nr. 9, handgetaucht, 5...10 min, 455 °C: Gut ausgebildete Legierungsschicht von normaler Struktur. Die Legierungsschichten nehmen ½...⅔ der Gesamtschichtdicke ein

Die eingebetteten Proben wurden dann mit Schliffpapier der Körnung 3...4/0 (Buehler) geschliffen und anschliessend mit Polierpulver (Buehler Alpha Nr. 2) nass poliert. Zur Entwicklung des Kleingefüges im Zinküberzug wurden die polierten Flächen während weniger Sekunden in einer Lösung von 1 cm³ konzentrierter Salpetersäure in 100 cm³ Alkohol geätzt.

7.2.2 Beobachtungen an den Gefügebildern der Zinküberzüge

Die Figuren 16...20 zeigen Querschnitte durch Zinküberzüge, die von der Verzinkerei A hergestellt worden sind. Die im Handtauchverfahren verzinkten Kanäle des Typs Nr. 9, die in Oberflächenbeschaffenheit, Schichtdicke und Haftung der Zinkschicht durchwegs als gut klassiert werden konnten, weisen ein gut entwickeltes Legierungsgefüge der 1. Angriffsart auf. Wie aus der *Figur 16* deutlich zu erkennen ist, liegt über der kräftigen Palisadenschicht ein dichter Gürtel von ζ-Kristallen, die nach aussen in die Reinzinkschicht abschwimmen. Die Legierungsschichten nehmen etwa ⅔ der Gesamtschichtdicke ein. Bei den maschinell getauchten Kanaltypen ist die Legierungszone meist nicht mehr als auf etwa ⅓ der Gesamtschichtdicke angewachsen, wie der Querschnitt durch einen solchen normal haftenden Überzug zeigt *(Fig. 17)*. Eigenartige Querschnittsbilder sind bei den sehr häufig vorgefundenen Kabelschutzeisen (Nr. 4 und 8) mit schlecht haftender Verzinkung festzustellen. Wie die Figuren 18...20 zeigen, ist zwischen der meist dünnen feinkristallinen Legierungszone und dem Reinzinküberzug eine Schicht lockerer Kristallbruchstücke eingelagert. Während sich die Trümmerzone in einzelnen Querschnittsbildern über einer mehr oder weniger unbeschädigten, kompakten Legierungsschicht aus dem anliegenden Reinzink und Teilen der abschwimmenden Schicht gebildet zu haben

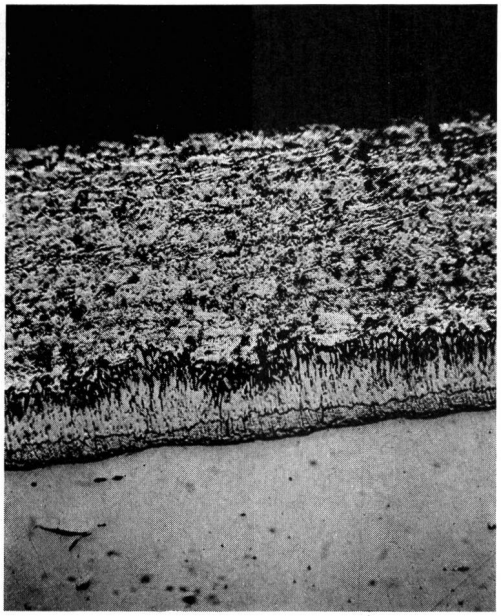

Fig. 17
Verzinkerei A, Kanaltyp Nr. 8, maschinengetaucht, 2 min, 455 °C: Die feinkristalline Legierungsschicht ist nur auf etwa ⅓ der Gesamtschichtstärke angewachsen

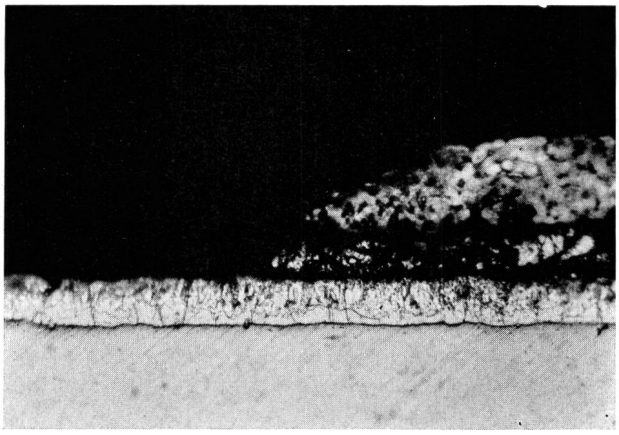

Fig. 19
Verzinkerei A, Kanaltyp Nr. 4: Querschnitt durch einen graustreifigen Überzug im Grenzgebiet zwischen grauer und metallisch glänzender Oberfläche. Im oberflächlich grau erscheinenden Bereich ist nur noch die dünne, schwach ausgebildete Legierungsschicht vorhanden

scheint *(Fig. 18 und 19)*, ist in der *Figur 20* deutlich sichtbar, dass auch versprengte und verschwemmte Bruchstücke aller Legierungsschichten in diese Zone geraten sind, was eine mechanische Beanspruchung während des Erstarrens vermuten lässt. Das Oberflächenaussehen des in der Figur 19 wiedergegebenen Querschnitts zeigt die *Figur 21*. Die dunkelgrauen Streifen entsprechen im Querschnitt den Stellen, wo keine Reinzinkschicht mehr vorhanden ist. Der

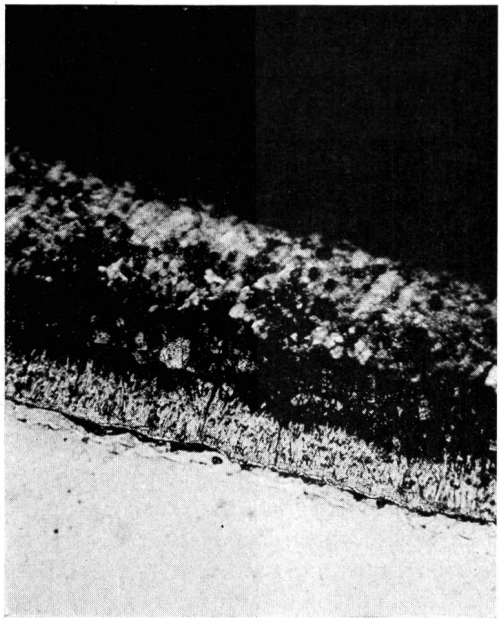

Fig. 18
Verzinkerei A, Kanaltyp Nr. 8: Querschnitt durch schlecht haftenden Zinküberzug. Zwischen Legierungs- und Reinzinkschicht ist eine Zone gestörter Struktur vorhanden

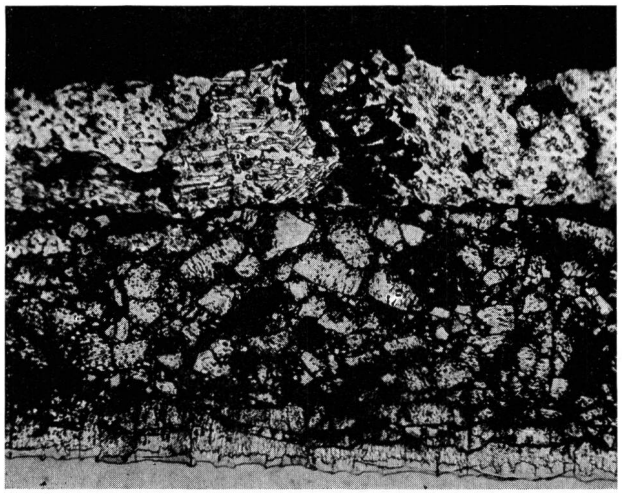

Fig. 20
Verzinkerei A: Querschnitt durch den innenseitigen Zinküberzug der Kanalprobe von Fig. 19. Die Kristallbruchzone enthält auch versprengte und verschwemmte Teile der Legierungsschicht

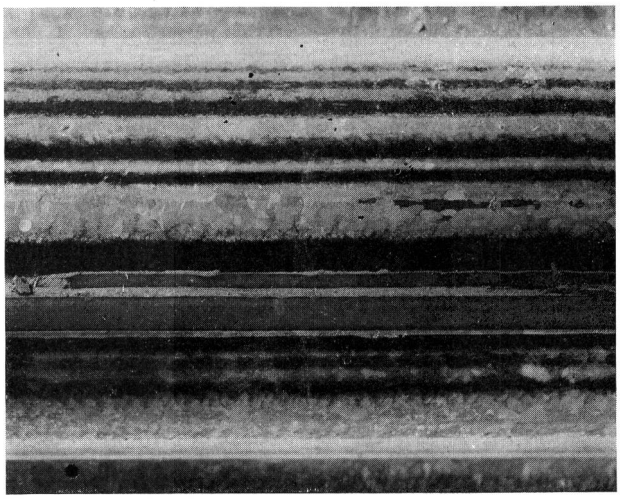

Fig. 21
Verzinkerei A: Oberflächenaussehen der in Figur 19 im Querschnitt abgebildeten Probe.

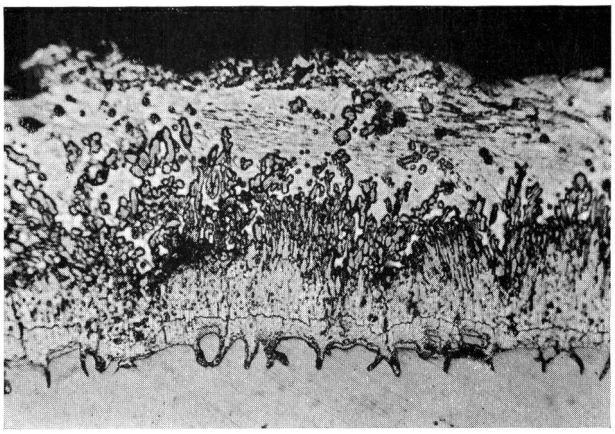

Fig. 23
Verzinkerei B, Kanaltyp Nr. 4: Über der stark zerklüfteten Eisenoberfläche hat sich ein gut entwickeltes Legierungsgefüge normaler Struktur aufgebaut.

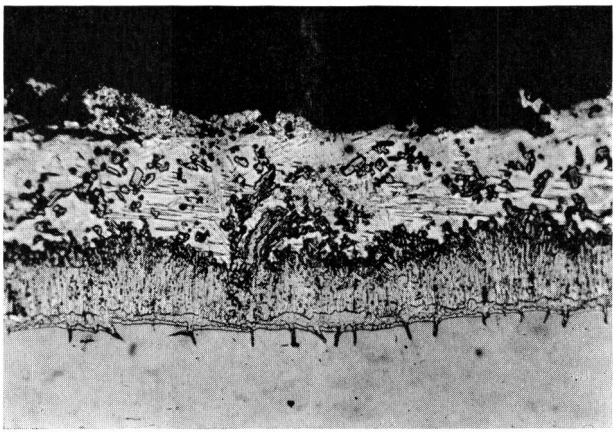

Fig. 22
Verzinkerei B, Kanaltyp Nr. 4: Die Reinzinkschicht des normal aufgebauten Zinküberzugs ist mit einer weitgehend abgewitterten, etwas dunkler erscheinenden Zone überzogen.

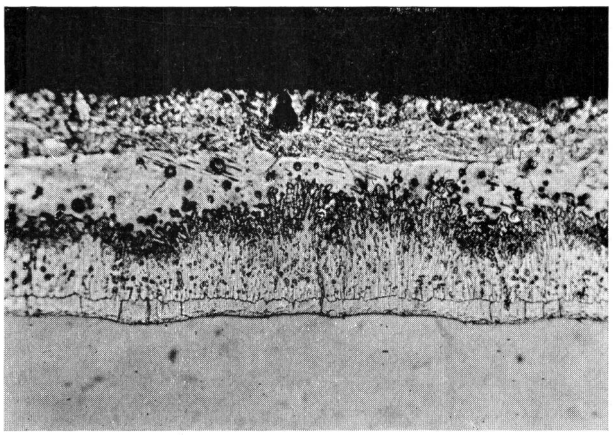

Fig. 24
Verzinkerei B, Kanaltyp Nr. 8: Besonders deutlich erkennt man bei diesem Querschnitt, dass die Zinküberzüge der Firma B über der Reinzinkschicht eine dunkler erscheinende, lunkerige Zone aufweisen

Querschnitt Figur 20 stammt von der Innenseite der gleichen Kanalprobe, wo auf dem abgeflachten Bodenteil überschüssiges Zink zusammengeflossen und erstarrt ist.

Die von der Verzinkerei B aufgebrachten Zinküberzüge weisen durchwegs Normalstruktur der 1. Angriffsart auf, wie die *Figuren 22...24* zeigen. Das bekannte Dreischichtengefüge ist deutlich zu erkennen, und die Legierungsschichten bilden etwa die Hälfte bis zwei Drittel der gesamten Überzugsstärke. Eine Abnormalität ist hingegen in der Reinzinkschicht zu beobachten. Diese besteht nämlich aus zwei Zonen, was besonders deutlich aus der Figur 24 ersichtlich ist. Das hell erscheinende Reinzink ist von einer dunkleren äusseren Schicht überdeckt, die viele Lunker enthält und teilweise bereits weitgehend abgewittert ist (Fig. 22 und 23). Diese Erscheinung ist wahrscheinlich dem Umstand zuzuschreiben, dass während des Ausziehens des Verzinkungsgutes aus dem Bad bei der angewandten Arbeitsmethode der Zinkspiegel nicht dauernd schlackenfrei gehalten werden kann (vergl. 6.2) und dadurch Zinkoxydfetzen in der äussersten Reinzinkzone abgelagert werden.

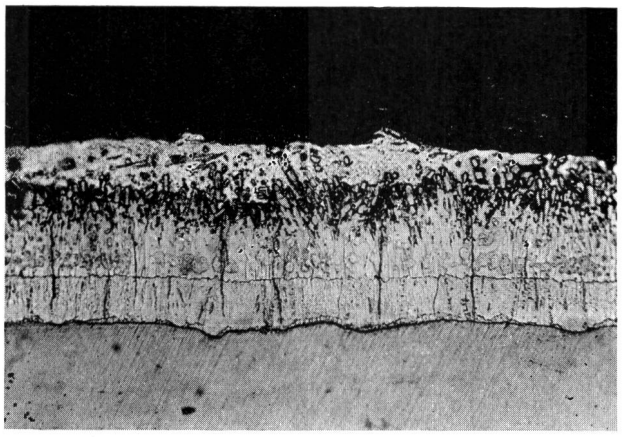

Fig. 25
Verzinkerei C, Kanaltyp Nr. 8: Die kompakten Legierungsschichten nehmen mehr als ⅔ der Gesamtüberzugsstärke ein

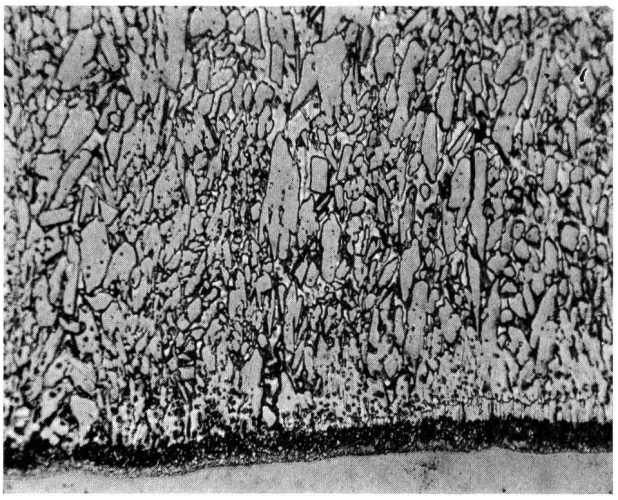

Fig. 27
Verzinkerei C, Kanaltyp Nr. 4: Die sehr dicke Verzinkung besteht aus einem Kristallgefüge der geradlinig mit der Zeit fortschreitenden Angriffsart

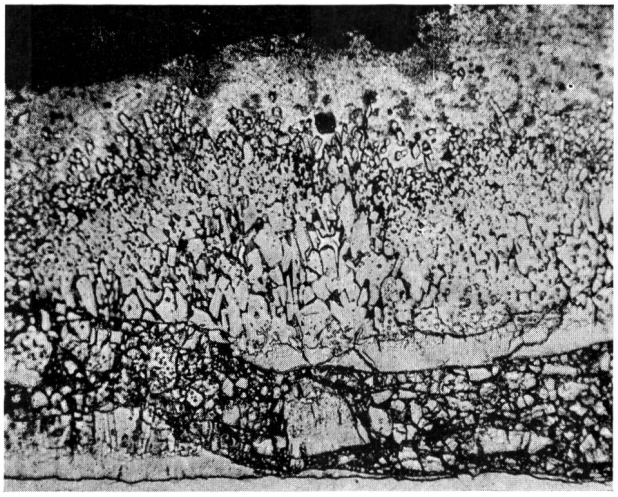

Fig. 26
Verzinkerei C, Kanaltyp Nr. 8: Bei Überzügen mit sehr stark angewachsener Palisadenschicht weist diese häufig ein Netzwerk von Rissen auf, oder diese ist, wie auf diesem Bild, stellenweise von einer breiten Bruchzone durchzogen

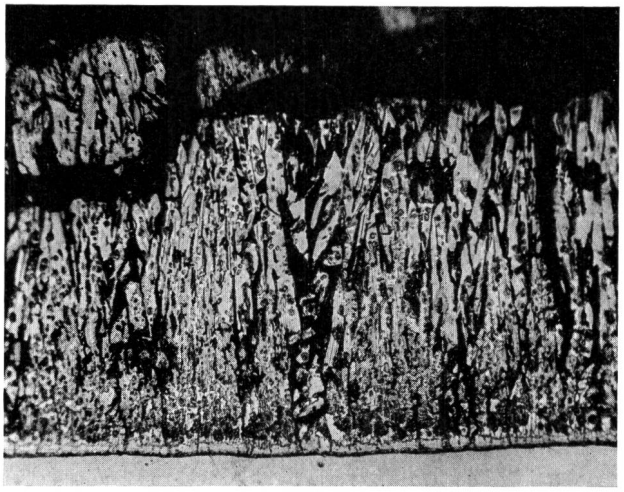

Fig. 28
Verzinkerei C, Kanaltyp Nr. 8: Querschnitt durch einen grauen, porigen, über 300 μm starken Überzug, der absplittert. Die ursprünglich die Legierungskristalle umgebende Zinkschmelze ist unter Bildung von ζ-Kristallen vollständig aufgebraucht worden

Beim Verzinkungsverfahren der Firma C bauen sich Überzüge mit sehr stark ausgebildeten Legierungsschichten auf, die in der Regel mindestens zwei Drittel der Gesamtschichtdicke ausmachen, wie dies *Figur 25* zeigt. Verhältnismässig häufig findet man sehr dicke Überzüge mit Strukturen in der Art von *Figur 26*. Bei dem in *Figur 27* abgebildeten Querschnitt durch einen mehr als 300 μm dicken Überzug handelt es sich um ein Kristallgefüge der geradlinig mit der Zeit fortschreitenden Angriffsart. Die δ_1-Schicht besteht aus feinsten Kristallbruchstücken, und darüber hat sich ein lockeres, mit Zinkschmelze ausgefülltes Gefüge teilweise sehr grosser ζ-Kristalle gebildet. Ein Extremfall wird durch *Figur 28* illustriert. Hier ist infolge sehr langsamer Abkühlung nach dem Verzinken die Umwandlung von δ_1-Kristallen mit Reinzink zu ζ-Kristallen so lange fortgeschritten, bis das umgebende Zink vollständig aufgebraucht war. Äusser-

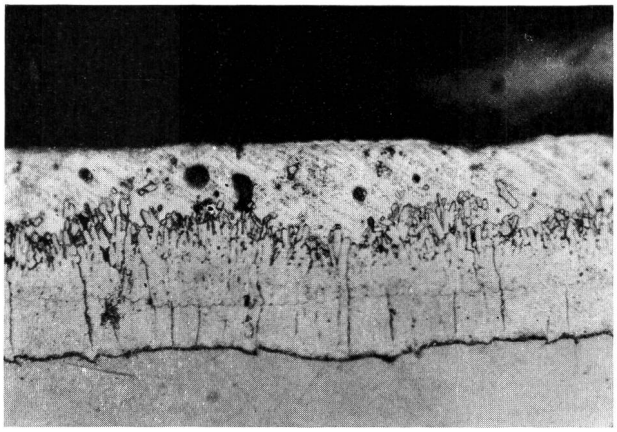

Fig. 29
Verzinkerei D, 1969, Kanaltyp Nr. 4: Normaler Schichtaufbau eines im neuen Zinkbad entstandenen Überzugs

lich betrachtet entstand dabei der in Figur 10 abgebildete graue, porige Überzug, der erstaunlicherweise noch so gut haftete, dass er nicht von selbst, sondern erst auf Schlageinwirkung absplitterte.

Beim Material der Verzinkerei D kommt die unter 6.4 beschriebene Veränderung der Fabrikationsbedingungen auch in den resultierenden Überzugsstrukturen zum Ausdruck. Die noch im alten Zinkbad bei geringerer Produktionskapazität im Handtauchverfahren aufgebrachten Zinküberzüge sind alle aus gut ausgebildeten Legierungsschichten der ersten Angriffsart aufgebaut. Bei den Kanälen, die nach Wiederaufnahme des Betriebes im neuen Bad verzinkt wurden, sind dagegen Überzüge sehr unterschiedlicher Qualität entstanden, wie dies aus den in den Figuren 29...31 abgebildeten Querschnitten hervorgeht. Neben der Normalstruktur *(Fig. 29)* findet man oft Gefüge der in *Figur 30* abgebildeten Art. Solche Strukturen bilden sich im Übergangsgebiet von der ersten zur zweiten Angriffsart, also bei Badtemperaturen von 480...490 °C. Wie die *Figur 31* zeigt, weisen die neuerdings auch in diesem Betrieb anfallenden grau gestreiften Überzüge (Fig. 7) über einer schlecht ausgebildeten Legierungsschicht eine Zone von Kristallbruchstücken auf.

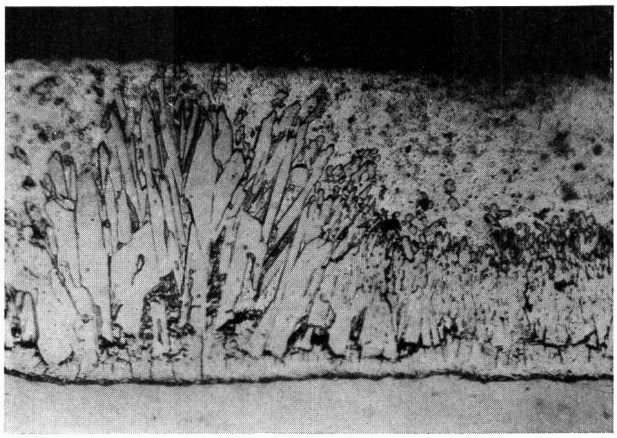

Fig. 30
Verzinkerei D, 1969, Kanaltyp Nr. 8: Überzugsstruktur, wie sie im Übergangsbereich von der 1. zur 2. Angriffsart gebildet wird

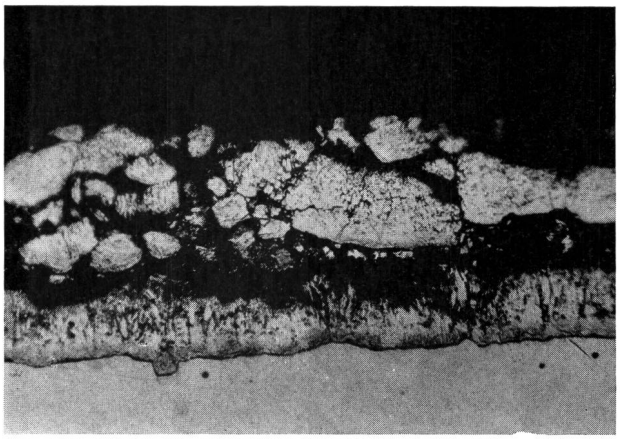

Fig. 31
Verzinkerei D, 1969, Kanaltyp Nr. 9: Querschnitt durch einen grau gestreiften, schlecht haftenden Überzug

7.2.3 Verzinkungsversuche

Schwerwiegendster Fehler und wichtigster Grund für die vorliegende Untersuchung bildet die Erscheinung des spontanen Abblätterns der Reinzinkschicht. Die Ergebnisse der Lagerkontrollen und der Erhebungen über die Arbeitsverfahren der vier Verzinkereien stehen im Widerspruch zu der in der Literatur [2] vertretenen Fehlerursache. Wie bereits unter 7.1.2 erwähnt, wird das Abschälen der Zinkschicht dem zu heissen Stapeln und dadurch zu langsamen Abkühlen zugeschrieben. Unsere Untersuchungen zeigen jedoch, dass ausgerechnet bei jener Verzinkungsmethode, bei der am deutlichsten für eine rasche Abkühlung des Verzinkungsgutes gesorgt wird, am häufigsten abblätternde Zinkschichten anfallen. In der Absicht, diesen Widerspruch zu klären, führten wir einige Verzinkungsversuche im Laboratorium durch. In einer Schmelze aus 98,5%igem Hüttenzink verzinkten wir bei kontrollierter Badtemperatur und unterschiedlichen Tauchzeiten etwa 4 cm² grosse Eisenblechproben und verzögerten teilweise die Abkühlung, indem wir die dem Zinkbad entnommenen Proben während einer Stunde in einem Ofen bei 300 °C lagerten, bevor wir sie an der Luft erkalten liessen. In zwei Versuchsserien verzinkten wir bei 460...470 °C und Tauchzeiten von 1, 2, 5 und 15 min einerseits kohlenstoffarme und siliciumfreie Eisen-

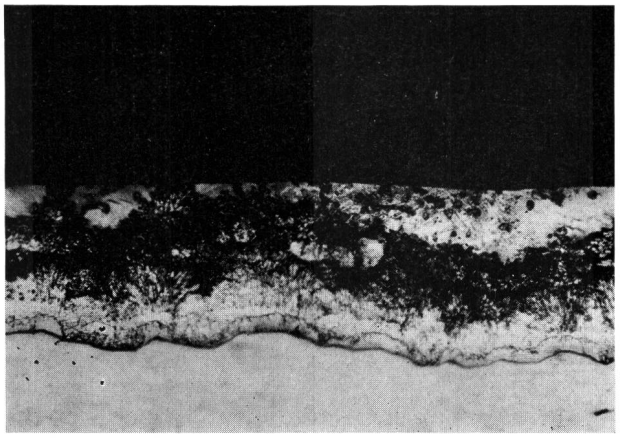

Fig. 32
Verzinkungsversuch: Stahl 33, Tauchtemperatur 460...470 °C, nach dem Verzinken bei 300 °C während 1 Stunde gelagert, Tauchzeit 1 min

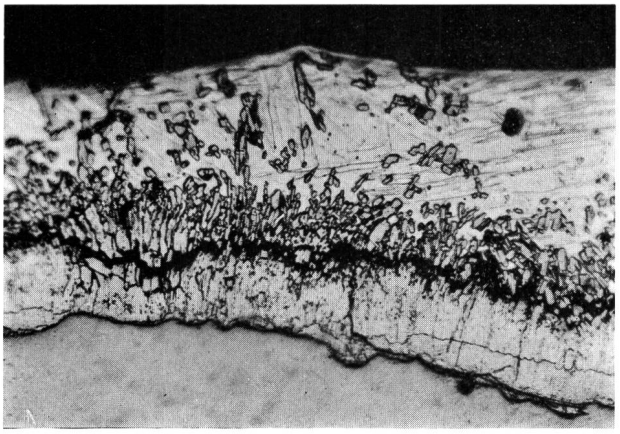

Fig. 34
Verzinkungsversuch wie Figur 32: Tauchzeit 5 min

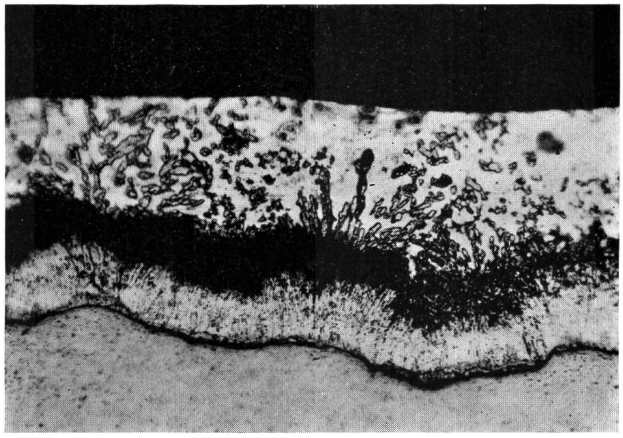

Fig. 33
Verzinkungsversuch wie Figur 32: Tauchzeit 2 min

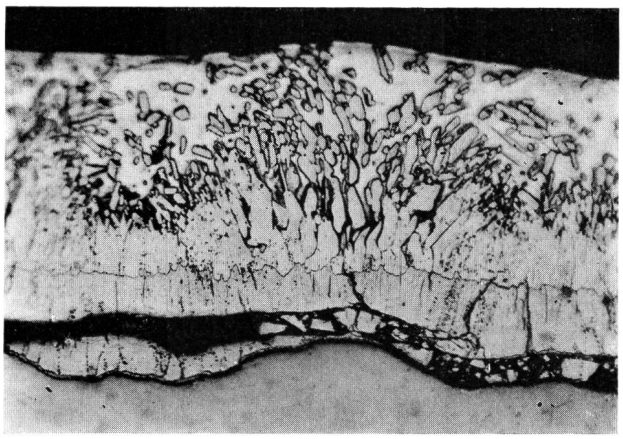

Fig. 35
Verzinkungsversuch wie Figur 32: Tauchzeit 15 min

bleche (0,08% C, < 0,02% Si) und anderseits silicierten Stahl 33 mit 0,12% Si und 0,15% C. Das Ergebnis dieser Versuche fiel überraschend, aber eindeutig aus. Bei beiden Versuchsserien schälte sich die Reinzinkschicht zwar ab, jedoch wider Erwarten nur bei den mit kurzen Tauchzeiten (1 und 2 min) verzinkten Proben. Bei den Proben, die 5 und 15 min in der Zinkschmelze lagen, blieb die Verzinkung äusserlich intakt, und erst bei starker Biegebeanspruchung war eine gewisse Neigung zum Abspringen des Überzugs festzustellen. Die *Figuren 32...35* zeigen Querschnitte durch die Verzinkungsproben der einen Versuchsreihe. Das unterschiedliche Verhalten der in kurzen Tauchzeiten entstanden Überzüge gegenüber den bei längerer Reaktionszeit gebildeten zeigt sich auch in den unterschiedlich gestörten Strukturen. Bei kurzer Tauchzeit (Fig. 32:1 min und Fig. 33:2 min) bildet sich zwischen der Reinzinkschicht und der äussersten Legierungsschicht bei 1 min eine breite, bei 2 min Tauchzeit eine etwas schmälere Zone feinster Kristallbruchstücke, die offensichtlich wie ein Pulver jeden Zusammenhalt verloren haben, so dass die über dieser Zone liegende Schicht nicht mehr verankert ist und spontan abblättert. Bei längerer Tauchzeit, und damit kräftiger ausgebildeter Legierungsschicht, bildet sich immer noch eine gewisse Trennzone, die aber nur noch in Form von Rissen auftritt und tiefer in den Legierungsschichten verläuft (Fig. 34:5 min). Bei sehr langen Reaktionszeiten (Fig. 35:15 min), wo anliegende und Palisadenschicht stark angewachsen sind, verlagert sich die Bruchzone in diese tiefsten Legierungsschichten. Solche Überzüge mit Rissen in der anliegenden Schicht blättern nicht ab, sondern neigen le-

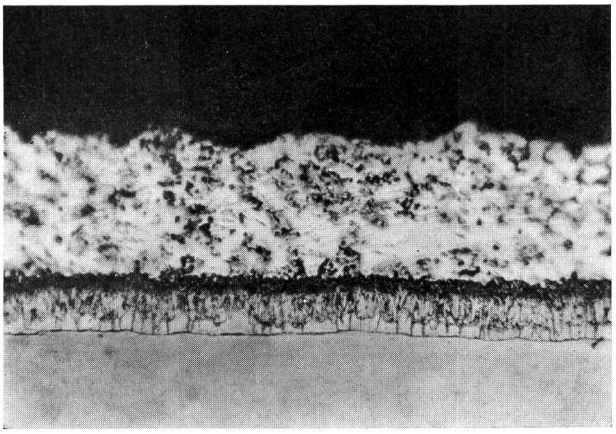

Fig. 36
Verzinkungsversuch: Kanaltyp Nr. 2, Verzinkerei B, Stahl 33 siliciert. Tauchzeit 1 min, nicht abgeblasen

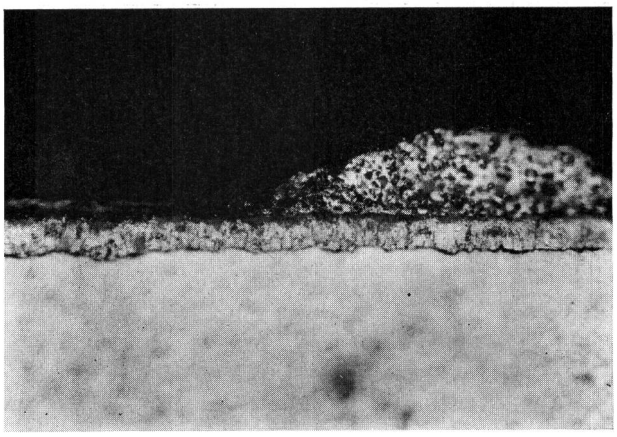

Fig. 37
Verzinkungsversuch wie Figur 36: Tauchzeit 1 min, abgeblasen mit 6 Atü

diglich zum Absplittern bei Schlag- oder Biegebeanspruchung. Das Versuchsergebnis deckt sich genau mit den Beobachtungen bei der Untersuchung der Verzinkungsverfahren der verschiedenen Betriebe. Abblätternde Zinkschichten sind praktisch nur dort aufgetreten, wo mit kurzen Tauchzeiten von 2 min und weniger gearbeitet wird. Bei Verzinkungsschichten, die in langer Tauchzeit entstanden sind (Firma C: 9 min), haben wir häufig Risse und Bruchzonen in den δ_1-Schichten beobachten können, wie dies etwa die Figur 26 zeigt, ohne dass in solchen Fällen eine Neigung zum Abblättern hätte festgestellt werden müssen. Für die Praxis lässt sich daraus schliessen, dass Überzüge mit dünnen, schwach ausgebildeten Legierungsschichten, wie sie zur Erzielung hoher Biegefähigkeit angestrebt werden, sehr anfällig auf die Erscheinung des Abblätterns reagieren. Zinküberzüge mit kräftig entwickelten Legierungsschichten hingegen zeigen überhaupt keine Tendenz zum Abblättern, selbst wenn sie verhältnismässig langen Abkühlzeiten ausgesetzt worden sind.

Eine weitere Fehlerquelle ist, wie bereits aus unseren Beobachtungen bei den Verzinkungsverfahren der Firmen A und D zu schliessen ist, in der Abblasvorrichtung zu sehen. Selbst bei richtiger Einstellung von Blasdruck und Durchziehgeschwindigkeit bleibt weniger Zinkschmelze auf der Legierungsschicht haften, als wenn das Verzinkungsgut, ohne abzublasen, langsam aus dem Bad gezogen wird. Bei zu hohem Druck und grosser Ausziehgeschwindigkeit ist es sogar möglich, dass dort, wo der Luftstrahl direkt auf die Oberfläche trifft, die Schmelze vollständig weggeblasen wird und nur die aufgewachsene Legierungszone auf dem Eisen haften bleibt. So erklären wir uns jedenfalls die festgestellte Streifenbildung bei einem grossen Teil der von den Verzinkereien A und D stammenden Kabelschutzeisen.

Ein Versuch, bei dem Kabelkanäle mit und ohne anschliessendes Abblasen und bei verschiedenen Tauchzeiten verzinkt wurden, bestätigt diese Erfahrung. Dabei zeigt es sich, dass auch in dieser Beziehung kurze Tauchzeiten sich nachteilig auswirken. Bei 1 min Tauchzeit und langsamem Ausziehen hat sich der in der *Figur 36* abgebildete Überzug entwickelt. Bei gleicher Reaktionsdauer, aber nach anschliessendem Abblasen mit 6 Atü Blasdruck, wurde die Zinkschmelze stellenweise vollständig weggeblasen, wie dies *Figur 37* erkennen lässt. Bei längeren Tauchzeiten dagegen wird durch das Anwachsen der Legierungsschicht nicht nur die Gesamtzinkauflage erhöht, wie dies der in 5 min Reaktionszeit entstandene, nicht abgeblasene Überzug der *Figur 38* zeigt, sondern die Reinzinkschicht lässt

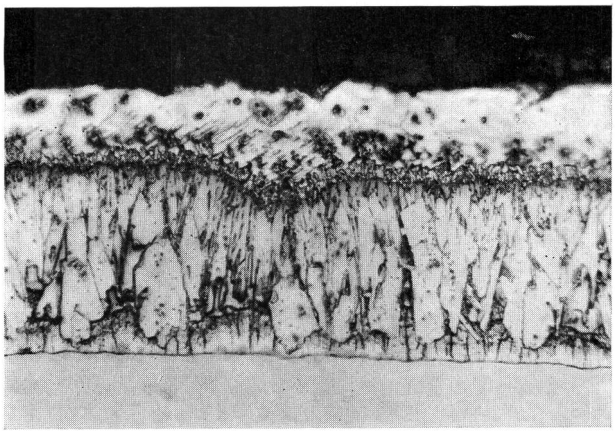

Fig. 38
Verzinkungsversuch wie Figur 36: Tauchzeit 5 min, nicht abgeblasen

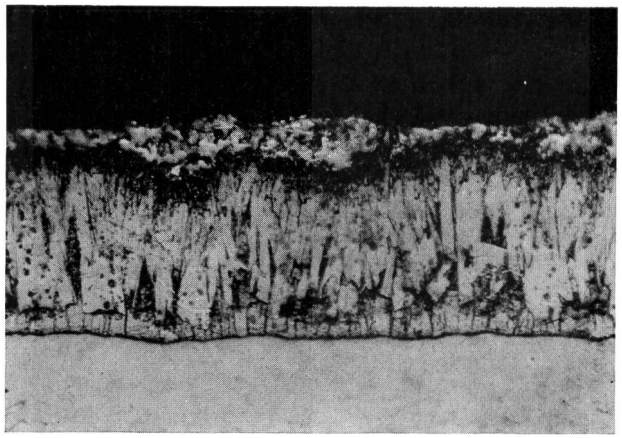

Fig. 39
Verzinkungsversuch wie Figur 36: Tauchzeit 5 min, mit 9 Atü abgeblasen

sich dank der besseren Verankerung selbst bei sehr hohem Blasdruck (9 Atü) nicht mehr völlig wegblasen, wie die *Figur 39* bestätigt.

7.2.4 Auswirkung des dem Kabelkanaleisen zulegierten Silicium auf die Struktur des Zinküberzugs

Die Kontrolle der durchschnittlich erzielten Zinkauflagen vor und nach Verwendung von siliciertem Eisen ergab, wie bereits unter 4.1 erwähnt, keinen eindeutigen Hinweis dafür, dass der Si-Zusatz stärkere Zinkauflagen bewirkt. Der Einfluss von Silicium, wie auch jener anderer Eisenbegleiter, auf die Verzinkung wurde verschiedentlich untersucht und beschrieben [1, 4]. Solchen Veröffentlichungen kann entnommen werden, dass von einem Siliciumgehalt von 0,15%, wie er für unsere Kabelschutzeisen verlangt wird, tatsächlich noch keine wesentlich erhöhte Zinkschichtdicke zu erwarten ist. Erst bei Si-Gehalten von etwa 0,5% tritt eine starke Erhöhung des Eisenangriffs auf, der bei 1,5% Si ein Maximum erreicht und von 3% Si an wieder wirkungslos wird. Enthält das Eisen aber neben Silicium auch Kohlenstoff, so genügen geringere Gehalte, um eine sichtbare Wirkung zu erzielen. Dabei komplizieren sich die Vorgänge noch dadurch, dass der Kohlenstoff in unterschiedlichem Masse wirkt, je nachdem, ob er etwa als Perlit oder Zementit im Eisen gebunden vorliegt.

Schliffaufnahmen zeigen, dass wir mit unserer Forderung von 0,15% Silicium gerade in jenen Grenzbereich geraten sind, in dem die Verzinkungsstruktur manchmal beeinflusst wird, manchmal aber auch nicht. Dabei ist offensichtlich der zufällige Gehaltsanteil an Kohlenstoff ausschlaggebend. Die Verzinkungsfirmen erhalten die Rohkanäle von zwei verschiedenen Walzwerken angeliefert, die beide von der Eisenqualität Stahl 33 mit 0,15% Si ausgehen. Aus zahlreichen Silicium- und Kohlenstoffbestimmungen geht hervor, dass das eine Walzwerk Roheisen mit Si-Gehalten von 0,10...0,15% und Kohlenstoffanteilen von 0,1...0,18% verarbeitet, während das andere Eisen mit 0,19...0,29% Silicium, aber Kohlenstoffgehalten von weniger als 0,1% verwendet. Es ist wohl darauf zurückzuführen, dass bereits die ersten Verzinkungsversuche mit silicierten Eisen unterschiedliche Ergebnisse zeitigten (vergl. Tabelle II). Die beiden Querschnitte Figur 40 und 41 stammen von Kanalabschnitten der genannten Versuche. Während die Normalstruktur der ersten Angriffsart in *Figur 40* auf Eisen mit 0,08% C und 0,19% Si entstand, bildete sich auf dem Eisen der zweiten

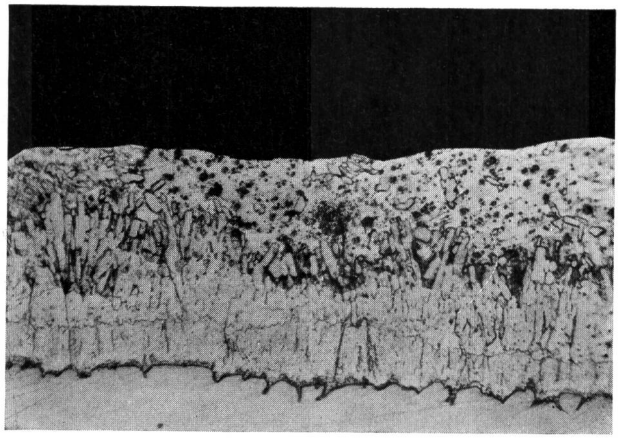

Fig. 40
Verzinkungsversuch: Kanaltyp Nr 4, Verzinkerei A, Stahl 33 siliciert (von Roll 0,08% C + 0,19% Si). Normale Struktur der ersten Angriffsart

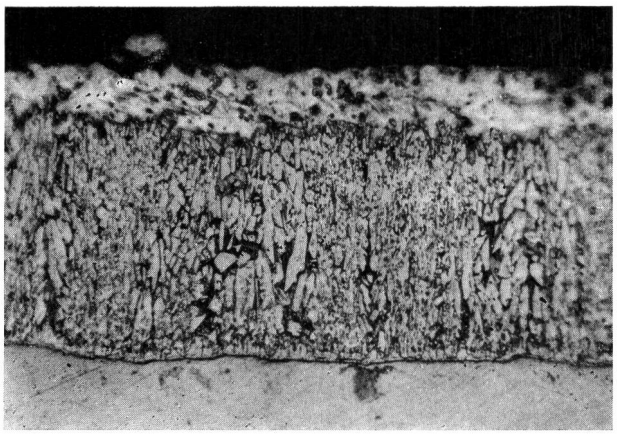

Fig. 41
Verzinkungsversuch wie Figur 40: Forming-Eisen (0,18% C + 0,12% Si). Struktur der zweiten Angriffsart

Lieferfirma eine Legierungsstruktur, wie sie dem Übergangsgebiet von der ersten zur zweiten Angriffsart entspricht *(Fig. 41)*. Die Analyse ergab für dieses Eisen Gehalte von 0,18% C und 0,12% Si. Die durchschnittliche Gesamtschichtdicke, gemessen an je 50 Kabelkanälen, betrug im ersten Fall 72 μm, im zweiten, bei dem sich die Eisenbegleiter Si und C strukturverändernd auswirkten, durchschnittlich 98 μm. Wie aus den Schliffaufnahmen einiger Verzinkungsschichten auf Eisen bekannter Silicium- und Kohlenstoffgehalte ersichtlich ist, hängt die Wirkung dieser Begleitelemente noch sehr stark von den Verzinkungsbedingungen ab. Beispielsweise ist auf einem Eisen mit 0,10% C und 0,22% Si das in der Verzinkerei B aufgebrachte Überzugsgefüge (Fig. 23) durch die Begleitelemente nicht beeinflusst worden, wogegen der Querschnitt *Figur 42* einen starken Begleitmetalleinfluss erkennen lässt, obwohl hier auf ein Eisen praktisch gleicher Zusammensetzung (0,20% Si, 0,12% C) verzinkt wurde. Diese Schicht wurde jedoch im Zinkbad der Firma C bei längerer Tauchzeit aufgebracht. Ähnlich verhält es sich mit den in Figur 19 und *Figur 43* abgebildeten Zinkschichten. Beide sind auf Eisen gleicher Qualität entstanden (Fig. 19: 0,07% C, 0,29% Si; Fig. 43: 0,06% C, 0,29% Si). Während die Legierungsstruktur der von der Verzinkerei A aufgebrachten Schicht (Fig. 19) die Begleitmetalleinwirkung nur undeutlich zeigt, tritt beim Überzug der Firma D (Fig. 43) die Struktur des geradlinig mit der Zeit fortschreitenden Angriffs ausgesprochen stark in Erscheinung. Allem Anschein nach ist diese Schicht bei höheren Badtemperaturen entstanden.

Der Umstand, dass der Si-Zusatz von 0,15% nur beim Material der Verzinkerei C zu einer durchschnittlich deutlich verstärkten Zinkaufnahme führte (vergl. Tabelle I), weist darauf hin, dass sich eine schwache Silicierung bei normaler Badtemperatur erst allgemein schichtverstärkend auswirkt, wenn eine genügend lange Reaktionsdauer eingehalten wird.

8. Schlussfolgerungen

Fasst man sämtliche Teilergebnisse dieser Untersuchung zusammen, so kommt man zum Schluss, dass die an den Kabelschutzeisen festgestellten fehlerhaften Zinküberzüge allein auf ungünstige Fabrikationsbedingungen zurückzuführen sind. Die Analysenergebnisse von Proben der Zinkschichten und der Zinkbadschmelzen haben jedenfalls keinerlei Anhaltspunkte für fehlerverursachende Fremdmetalleinflüsse geliefert.

Obwohl von allen Firmen gleiche Rohmaterialien verwendet und die Kanaleisen auch in ähnlicher Weise zur Verzinkung vorbereitet werden, sind erhebliche Unterschiede in der Verzinkungsqualität zutage getreten. Dabei stellte sich heraus, dass in erster Linie bei den mit kurzen Tauchzeiten und Abblasvorrichtungen arbeitenden Verfahren häufig fehlerhaft verzinktes Material anfällt. So sind abblätternde Zinkschichten nur dort aufgetreten, wo mit kurzen Tauchzeiten verzinkt und die anhaftende Zinkschmelze beim Ausziehen mit Pressluft abgeblasen wird. Besonders häufig entstanden derart schlecht haftende Zinkschichten bei der Firma A zur Zeit, als diese den Abblasdruck auf 5 Atü erhöht hatte und die Kanäle von Hand in einem Wassertrog abgeschreckt wurden. Das Abblättern kann also nicht allein einem zu langsamen Abkühlen zuge-

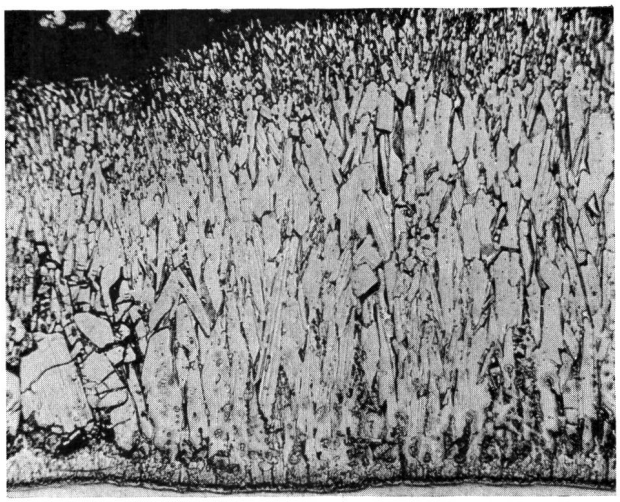

Fig. 42
Verzinkerei C Kanaltyp Nr. 9: St. 33 mit 0,12% C + 0,20% Si, Tauchzeit 9 min, 460 °C. Deutliche Begleitmetalleinwirkung

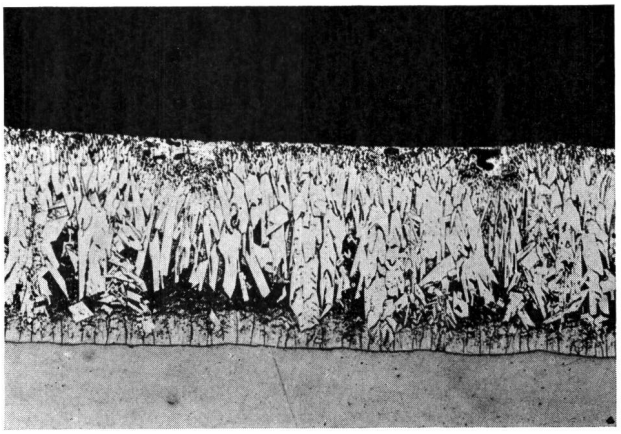

Fig. 43
Verzinkerei D, Kanaltyp Nr. 9: St. 33 mit 0,06% C + 0,29% Si, Tauchzeit 2 min, etwa 480 °C. Struktur der zweiten Angriffsart deutet auf starke Begleitmetalleinwirkung

schrieben werden, wie dies allgemein angenommen wird [1, 2]. Aus unseren Untersuchungsergebnissen geht hervor, dass Zinküberzüge mit schwach entwickelten Legierungsschichten selbst bei verhältnismässig rascher Abkühlung zum Abschälen der Reinzinkschicht neigen, wogegen auf gut entwickelten Legierungsschichten der Reinzinküberzug auch bei langer Heisslagerung nicht abblättert. Ob eine Schlagbeanspruchung des erst teilweise erstarrten Zinküberzugs, wie sie bei der unter 6.1 beschriebenen Kehrmanipulation vorkommt, die Bruchzonenbildung zwischen abschwimmender und Reinzinkschicht fördert, ist nicht erwiesen, muss aber mindestens als Teilursache des Abblätterns in Betracht gezogen werden. Um künftig abblätternde Zinkschichten, zu geringe Zinkauflagen und Streifenbildung zu vermeiden, müssen die Verfahren der Firmen A und D in geeigneter Weise verbessert werden (Erhöhung der Tauchzeit, Reduktion des Abblasdruckes).

Weniger gravierend ist der bei der Verzinkerei C festgestellte Fehler: übermässig dicke Überzüge. Wegen des zu heissen Stapelns verspröden sie stark und splittern in Extremfällen ab. In diesem Betrieb sollte unbedingt für eine raschere Kühlung gesorgt werden.

Der Siliciumzusatz von 0,15% zum Stahl 33 hat sich als unzweckmässig erwiesen. Es zeigte sich nämlich, dass bei den mit kurzen Tauchzeiten arbeitenden Verzinkungsverfahren der geringe Begleitmetallzusatz sich nicht schichtverstärkend auszuwirken vermochte. Hingegen führte der Si-Zusatz dort, wo dank längeren Tauchzeiten ohnehin genügend starke Zinküberzüge anfallen, zur vermehrten Bildung übermässig dicker und spröder Schichten. Wir sind deshalb der Meinung, dass auf die Silicierung wieder verzichtet werden kann.

Wie aus der Beschreibung der verschiedenen Verzinkungsverfahren hervorgeht, können scheinbar unbedeutende Änderungen an den Einrichtungen und im Arbeitsablauf die Qualität der Verzinkung wesentlich beeinflussen. Es muss also auch in Zukunft mit fehlerhaft verzinktem Material gerechnet werden, wenn nicht für eine angemessene Überwachung der Verzinkungsverfahren und eine wirksame Qualitätskontrolle der Kabelkanallieferungen gesorgt wird.

Bibliographie

[1] *Bablik H.* Das Feuerverzinken, Springer Wien 1941.

[2] *Teindl J.* und *Blahoz O.* Ursachen des Abblätterns von Zink vom Stahlblech nach dessen Feuerverzinkung. Hutnicke listy (Hüttenmännische Blätter), 21 (1966). Nr. 3, S. 179...181.

[3] *Horstmann D.* Der Einfluss von Aluminium im Eisen und im Zinkbad auf den Zinkangriff. Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen, Nr. 620. Westdeutscher Verlag, 1958.

[4] *Horstmann D.* Allgemeine Gesetzmässigkeiten des Einflusses von Eisenbegleitern auf die Vorgänge beim Feuerverzinken. Westdeutscher Verlag, 1964.

[5] *Stricker F.* Untersuchung von Verfahren zum Messen der Schichtdicke von Zinküberzügen. Stahl und Eisen, 82 (1962), Nr. 25, S. 1781.

Massstäbe der Photo-Reproduktionen

Fig. 2, 4–6, 9, 10 und 12 = 1:1,2; Fig. 21 = 1:1,5; Fig. 1 und 8 = 1:1,8; Fig. 3, 7 und 11 = 1:9; Fig. 43 = 100:1; Fig. 14–20 und 22–42 = 280:1

Examen du zingage au feu des caniveaux de câbles[1]

1. Introduction

Les caniveaux de câbles goudronnés ont été remplacés, dès 1966, par des caniveaux zingués au feu. On devait malheureusement constater rapidement que le zingage des nouveaux caniveaux n'était souvent pas de qualité suffisante et donnait lieu à des réclamations lors des contrôles de réception de la marchandise livrée par les fournisseurs. La division des recherches et des essais de la direction générale des PTT fut chargée d'examiner dans quelle mesure ces défauts apparaissaient et quelles en étaient les causes. Des contrôles du matériel stocké furent faits dans quatre directions d'arrondissement des téléphones distinctes, qui sont approvisionnées chacune par un seul fournisseur, différent dans chaque cas.

[1] Traduction résumée de l'article des pages 107...132.

2. Discussion des défauts rencontrés lors des contrôles en magasin

En dehors de l'écaillement (fig. 1 et 2) et de l'épaisseur insuffisante de la couche de zinc (largement en dessous de la valeur minimum de 80 μm exigée), qui étaient les défauts les plus souvent rencontrés, nous avons pu observer quelques autres défauts de fabrication, sans importance capitale du reste. Des amoncellements de zinc par exemple, illustrés par les figures 3...6, sont certainement désagréables, mais peuvent s'expliquer sans qu'il soit nécessaire de procéder à des recherches. Il en est de même pour l'inclusion de scories ou d'impuretés ou la formation d'incrustations. Il est par contre intéressant d'examiner de plus près les stries qui se forment sur le matériel d'un seul fournisseur (Fig. 7 et 8) parce qu'il s'agit probablement d'un défaut systématique.