

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 43 (1952)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Unterwasser-Korrosionsversuche mit verzinkten Blechen  
**Autor:** Friedli, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059200>

### **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:** 09.01.2026

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

# BULLETIN

## DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

### Unterwasser-Rostschutz

620.197.23

Für alle Unternehmungen, die Eigentümer von Anlagen sind, deren Eisenteile dauernd oder doch zeitweise unter Wasser stehen, hat der Kampf gegen den Rost grosse Bedeutung. Die Beschaffenheit des Wassers und die Strömungsverhältnisse spielen dabei eine Rolle. Die Bedingungen, unter denen diese Eisenteile stehen, sind deshalb von Fall zu Fall sehr verschieden. Alle diese Fälle haben aber das eine gemeinsam, nämlich das Streben des Anlageneigentümers nach Überzügen, die das Eisen vor Rost möglichst lange schützen. Die Erneuerung des Rostschutzes ist kostspielig und in vielen Fällen mit betriebshemmenden oder gefährlichen Eingriffen verbunden.

Der Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) hat mit Rücksicht auf die Wichtigkeit des Unterwasser-Rostschutzes im Jahre 1932 der EMPA die systematische Durchführung von Dauerversuchen übertragen. Die im Bulletin SEV seither erschienenen Berichte über diese bis heute fortgesetzten Versuche sind im anschliessenden Literaturverzeichnis enthalten. Veröffentlichungen über den Korrosionsschutz von Heisswasserspeichern, Kochplatten und Kabeln sind darin nicht aufgeführt.

Weil heute für den Unterwasser-Rostschutz durch Metallüberzüge in weiten Kreisen grosses Interesse besteht, haben wir uns entschlossen, das vorliegende Heft diesen Fragen, insbesondere der Verzinkung, zu widmen. Es wird über praktische Erfahrungen sowohl mit der Spritzverzinkung als auch mit der Vollbadverzinkung und über Prüfverfahren zur Bestimmung der Dicke von Metallüberzügen berichtet. An Stelle des Wortes Feuerverzinkung wird hier einheitlich die Bezeichnung Vollbadverzinkung verwendet.

Die Bedeutung, welche das Metallspritzen zum Zwecke des Rostschutzes in der Schweiz erreicht hat, gibt Anlass, ehrend des nun im dreiundachtzigsten Lebensjahre stehenden Schweizer Erfinders Dr. h. c. M. U. Schoop zu gedenken. Red.

#### Literatur

Blom, A.V.: Versuche mit Rostschutzanstrichen unter besonderer Berücksichtigung von Unterwasseranstrichen. Bull. SEV Bd. 25(1934), Nr. 14, S. 365...370.

Blom, A.V.: Korrosionsschutz durch Anstrich. Bull. SEV Bd. 32(1941), Nr. 15, S. 348...354.

Oertli, H.: Betriebserfahrungen über das Rosten und den Rostschutz von Druckleitungen in der Schweiz. Bull. SEV Bd. 33(1942), Nr. 16, S. 437...443.

Korrosionsschutz im dritten Kriegsjahr. Bull. SEV Bd. 33(1942), Nr. 17, S. 479.

### Unterwasser-Korrosionsversuche mit verzinkten Blechen

Von J. Friedli, Zürich

621.793 : 669.5 : 620.193.23

Es wird über Korrosionsversuche mit vollbad- und spritzverzinkten Eisenblechen berichtet, die auf 5 verschiedenen Versuchsstationen während 6 bzw. 7 Jahren der natürlichen Beanspruchung durch strömendes Flusswasser ausgesetzt waren, wobei eine erste Serie von Blechen dauernd im Wasser lagerte, während eine zweite Serie von Blechen sich abwechselungsweise 3 Wochen im Wasser und 1 Woche an der Luft befand. Es wird festgestellt, dass sowohl die Vollbadverzinkung als auch die Spritzverzinkung, sofern der Zinküberzug durchwegs eine genügende Dicke aufweist, sich gegenüber dem Wasser der 5 Versuchsstationen durch eine bemerkenswerte rostschützende Wirkung auszeichnet, die durch einen zusätzlichen Schutzanstrich auf Chlorkautschuk- oder Bitumenbasis noch wesentlich erhöht und verlängert werden kann. Abschliessend werden Objekte genannt, bei denen ein solcher Korrosionsschutz bereits mit gutem Erfolg zur praktischen Anwendung gekommen ist.

Il est rendu compte d'essais de corrosion exécutés dans 5 stations d'essais différentes avec des tôles de fer zingué par immersion dans le métal fondu et par recouvrement au pistolet. Les essais ont duré 6 et 7 ans, ils comportaient une première série d'éprouvettes immergées de façon continue dans l'eau de rivières diverses et une seconde série d'éprouvettes alternativement immergées durant 3 semaines dans l'eau courante et abandonnées durant 1 semaine à l'air. On a constaté dans les 5 stations que, pour autant que la couche de zinc soit d'épaisseur suffisante, le zinguage au bain métallique de même que le zinguage au pistolet fournissent une protection remarquable contre la rouille. Cette protection peut être améliorée encore par application de vernis au chloro-caoutchouc ou au bitume, son efficacité étant ainsi prolongée. On indique enfin, à titre d'exemples, le nom de différents ouvrages pour lesquels cette méthode de protection contre la corrosion a été employée avec succès.

#### 1. Einleitung

In den vergangenen 20 Jahren hat sich die Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt im Auftrage und in Zusammenarbeit mit dem Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke eingehend mit den Fragen des Unterwasser-Rostschutzes befasst. Zweck und Ziel der im Zusammenhang mit der Bearbeitung dieser Fragen durchgeführten umfangreichen Untersuchungen war, abzuklären, welche Anstrichsysteme sich als Unterwasser-Rostschutz eignen und einen praktisch genügenden Schutz gewährleisten,

ferner, ob und inwieweit unter Umständen auch eine Verzinkung allein oder mit einem zusätzlichen Anstrich als Schutzüberzug gegen eine Unterwasser-Korrosion in Frage kommt.

Bei der Durchführung der ersten orientierenden Versuche, zunächst nur mit verschiedenen Anstrichsystemen, zeigte es sich bald, dass Laboratoriumsversuche wie auch natürliche Dauerversuche, die sich nur über 1...2 Jahre erstreckten, nicht genügen, um die Eignung eines Anstrichsystems als Unterwasser-Rostschutz mit einer hinreichenden Sicher-

heit beurteilen zu können. Dazu sind nach den bei diesen Versuchen gemachten Erfahrungen mindestens 3jährige Dauerversuche unerlässlich und zwar solche, bei denen die Musterbleche auf entsprechenden Versuchsstationen einer natürlichen Beanspruchung ausgesetzt werden. Nachdem einige Kraftwerke in dankenswerter Weise sich bereit erklärten, ihre Dienste für die Durchführung mehrjähriger Dauerversuche zur Verfügung zu stellen, bot sich damit die Gelegenheit, auch die Verzinkung ohne und mit Anstrich in diese Versuche einzubeziehen. Vorversuche, die in andern Zusammenhang mit vollbadverzinkten und spritzverzinkten Musterblechen durchgeführt wurden, liessen hinsichtlich der rost-schützenden Wirkung von Zinküberzügen bei dauernder Wasserlagerung günstige Ergebnisse erwarten, so dass eine vergleichende Prüfung mit den verschiedenen, für einen Unterwasser-Rostschutz in Frage kommenden Anstrichsystemen sich geradezu aufdrängte, um so mehr, als die Fortschritte, die in jenen Jahren bereits bei der Spritzverzinkung zu verzeichnen waren und die Möglichkeit ihrer Anwendung bei Konstruktionen, die sich nicht vollbadverzinken lassen, ebenfalls für die Durchführung einer solchen Prüfung sprachen.

Die nachstehenden Ausführungen handeln nur, und zwar in gedrängter Form, von den Versuchen mit den verzinkten Musterblechen. Es ist indessen vorgesehen, später gesamthaft über die Fragen des Unterwasser-Rostschutzes ausführlicher zu berichten.

## 2. Versuchsausführung

Für die Durchführung der mehrjährigen Dauerversuche standen 5 Versuchsstationen mit verschiedenen Wasserverhältnissen zur Verfügung, nämlich: Dietikon (EKZ), Limmat, mit schwach strömendem, stark verschmutztem Wasser;

Eglisau (NOK), Rhein, mit ruhendem, sauberem Wasser;

Beznau (NOK), Aare, mit stark strömendem, verhältnismässig sauberem Wasser;

Mühleberg (BKW), Aare, mit ruhendem, ziemlich stark verschmutztem Wasser;

Spiez (BKW), Kander, mit stark strömendem, erodierendem Wasser.

Die Versuche wurden mit vollbadverzinkten und spritzverzinkten Blechen von  $200 \times 300 \times 1,5$  mm Grösse durchgeführt, die allseitig verzinkt waren. Bei den vollbadverzinkten Blechen wurden für das Aufbringen des Zinküberzuges eine Badtemperatur ( $445^\circ\text{C}$ ) und eine Tauchdauer gewählt, wie sie für Objekte mit der gleichen Blechstärke praktisch in Frage kommen. Die Tauchdauer betrug für

die Bleche Nrn. 91...100	29...50 s
die Bleche Nrn. 101...110	80 s

Jedes Blech wurde vor und nach dem Verzinken gewogen und aus der dabei erhaltenen Zinkmenge das Gewicht der Zinkauflage pro  $1\text{ m}^2$  einseitige Fläche berechnet.

Die spritzverzinkten Bleche wurden von 3 verschiedenen Firmen verzinkt. Das Metallspritzwerk I metallisierte

die Bleche Nrn. 111...120	(1 $\times$ gespritzt)
die Bleche Nrn. 121...130	(2 $\times$ gespritzt)

### das Metallspritzwerk II

die Bleche Nrn. 131...140	(2 $\times$ gespritzt)
die Bleche Nrn. 141...149	(2 $\times$ gespritzt)
die Bleche Nrn. 151...159	(3 $\times$ gespritzt)

### das Metallspritzwerk III

die Bleche Nrn. 161...170	(2 $\times$ gespritzt)
die Bleche Nrn. 171...180	(4 $\times$ gespritzt)

Die Bleche Nrn. 111...159 wurden vor dem Verzinken mit Quarzsand, die Bleche Nrn. 161...180 mit Stahlsand völlig blank gestrahlt. Auch bei diesen Blechen wurde die aufgespritzte Zinkmenge gewichtsmässig ermittelt und aus den erhaltenen Werten der Zinkauftrag pro  $1\text{ m}^2$  einseitige Fläche berechnet. Anschliessend wurde bei den 1  $\times$  gespritzten Blechen Nrn. 111...120 die eine Hälfte der einen Seite einmal mit einem Unterwasseranstrich auf Chlorkautschuk-Bitumenbasis, bei den 2  $\times$  gespritzten Blechen Nrn. 141...150 die eine Seite einmal mit einem Bitumenlack gestrichen.

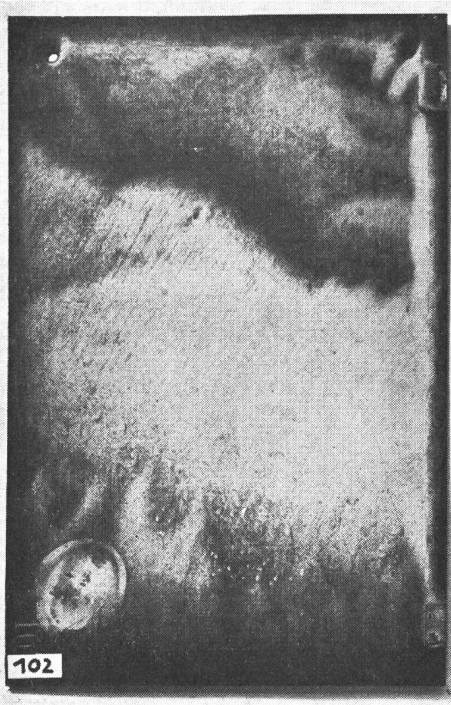
Die so vorbereiteten Bleche wurden auf den genannten 5 Versuchsstationen, auf vollbadverzinkten Eisenrahmen befestigt, während insgesamt 6 bzw. 7 Jahren der natürlichen Beanspruchung durch das fließende Wasser ausgesetzt, wobei sich alle Bleche mit ungeraden Nummern dauernd im Wasser, alle Bleche mit geraden Nummern abwechselungsweise 3 Wochen im Wasser und 1 Woche an der Luft,  $45^\circ$  gegen Süden geneigt, befanden. Bei der nach 1, 2 und 3 Jahren Versuchszeit vorgenommenen Kontrolle wurden die Bleche jeweils gut abgespritzt und visuell auf ihren Zustand untersucht. Nach 6 bzw. 7 Jahren Versuchszeit wurden sie dagegen, soweit dies noch möglich war, von den anhaftenden Belägen und Deckschichten, bestehend aus Algen, Kalkausscheidungen und Zersetzungsprodukten des Zinks befreit, hierauf getrocknet und zur Ermittlung des Zinkverlustes gewogen.

## 3. Versuchsergebnisse

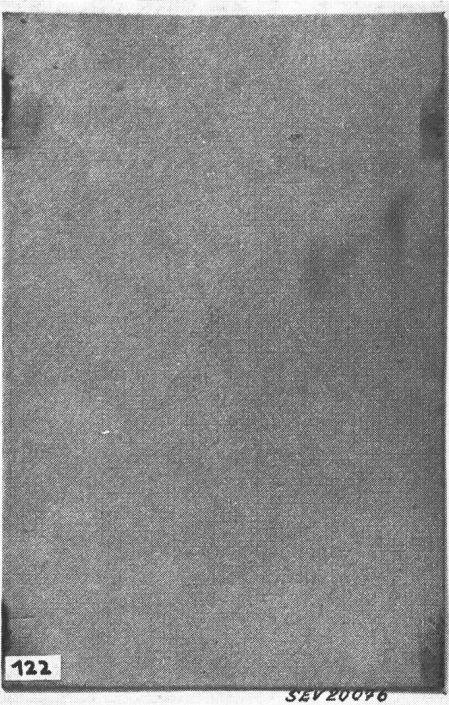
In den ersten 3 Jahren der sich über insgesamt 6 bzw. 7 Jahre erstreckenden Dauerversuche zeigten alle vollbadverzinkten und spritzverzinkten Bleche auf sämtlichen 5 Stationen noch keine Rostbildung. Die Verzinkung war durchwegs intakt, liess aber, was für im Wasser lagernde Bleche als normal anzusehen ist, einen schwachen, allgemeinen Korrosionsangriff erkennen. Bei den vollbadverzinkten Blechen hatte der Zinküberzug seinen ursprünglichen Glanz gänzlich eingebüsst und war mit einem dünnen, mehr oder weniger zusammenhängenden Belag von Zersetzungsprodukten des Zinks und Kalkausscheidungen des Wassers bedeckt. In einem ähnlichen Zustand befanden sich auch die spritzverzinkten Bleche.

In den folgenden 3 bzw. 4 Jahren, während denen eine Kontrolle der Bleche nicht stattfand, änderte sich allmählich das Bild. Bei verschiedenen Blechen war nicht nur ein fortgeschrittener Zinkabtrag festzustellen, sondern die schwächer verzinkten Bleche zeigten stellenweise auch Rostbildungen. Wenn im folgenden eine Übersicht über diese auf den

einzelnen Stationen aufgetretenen Korrosionsschäden gegeben wird, so bezieht sie sich weder auf die bei einer grösseren Zahl von Blechen an den Befestigungsstellen aufgetretenen, vielfach starken Anfressungen, noch auf die an den Längsseiten der Bleche Spiez sichtbaren Rostbildungen, die (wie die Anfressungen an den Befestigungsstellen) zur Hauptsache auf den Kontakt mit dem Versuchsrahmen



a



b

zurückzuführen sind, sondern lediglich auf die dem Wasser frei ausgesetzt gewesenen Partien der Bleche. Über die Ergebnisse der durchgeführten Versuche geben im einzelnen die Tabellen I...X näheren Aufschluss. Sie enthalten Angaben über die ursprüngliche Zinkauflage und den Zinkverlust in 6 bzw. 7 Jahren, beides in Gramm pro m<sup>2</sup> einseitige Fläche, sowie über die bei den einzelnen Blechen aufgetretenen Rostbildungen.

a) *Bleche der Station Dietikon* (Tab. I und II).

Die Mehrzahl der im sehr aggressiven Limmatwasser dieser Station dauernd gelagerten Bleche war nach 7 Jahren so stark korrodiert, dass eine einigermaßen zuverlässige Bestimmung des Zinkverlustes nicht mehr möglich war. Sie wiesen nach dieser Zeit nicht nur starke Rostansätze, sondern auch bereits ziemlich starke Anfressungen im Grundwerkstoff auf. Am stärksten korrodiert waren das vollbadverzinkte Blech Nr. 91 mit seiner ursprünglich nur geringen Zinkauflage von 358 g/m<sup>2</sup>, sowie die nur schwach spritzverzinkten Bleche mit einem Zinkauftrag von etwa 400...700 g/m<sup>2</sup> und zwar auch die Bleche mit Anstrich, die unter der dauernden Einwirkung des aggressiven Wassers ebenfalls stark gelitten hatten. Die Bleche mit einem ursprünglichen Zinkauftrag von mehr als 1200 g/m<sup>2</sup> waren

Fig. 1  
Bleche der Versuchstation Dietikon  
(7 Jahre Pendelwässerung)  
a Nr. 102 (vollbadverzinkt), vereinzelte Rostpunkte  
b Nr. 122 (spritzverzinkt), keine Rostbildungen

indessen frei von Rostbildungen, wenn von einigen solchen an den Rändern abgesehen wird.

Im Gegensatz zu den dauernd im Wasser gelagerten Blechen befanden sich die pendelnd geprüften Bleche allgemein in einem bessern Zustand. Das vollbadverzinkte Blech Nr. 92 und die spritzverzinkten Bleche Nrn. 112 (mit Anstrich) und 132 (ohne Anstrich) mit einem ursprünglichen Zinkauftrag von 371, 442 bzw. 642 g/m<sup>2</sup> zeigten lediglich Spuren

Bleche der Versuchstation Dietikon

(Dauerwässerung)

Tabelle I

Blech Nr.	Ur-sprüngl. Zink-auftrag g/m <sup>2</sup>	Zinkverlust in 7 Jahren g/m <sup>2</sup>	Rostbildung
<i>Vollbadverzinkte Bleche</i>			
91	358	nicht bestimmt	Zahlreiche Rostwarzen
101	488	nicht bestimmt	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche</i>			
121	1072	nicht bestimmt	Viele Punktrostungen
131	630	nicht bestimmt	Zahlreiche Rostwarzen
151	838	nicht bestimmt	Viele Punktrostungen
161	1228	nicht bestimmt	Keine
171	1392	nicht bestimmt	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche mit Anstrich</i>			
111.	436	nicht bestimmt	Starke Rostansätze <sup>1)</sup>
141	465	nicht bestimmt	Grosse Rostfelder <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Rostansätze auf dem ungestrichenen und gestrichenen Teil der Bleche.

(Pendelwässerung)

Tabelle II

Blech Nr.	Ur-sprüngl. Zink-auftrag g/m <sup>2</sup>	Zinkverlust in 7 Jahren g/m <sup>2</sup>	Rostbildung
<i>Vollbadverzinkte Bleche</i>			
92	371	234	Stellenweise Spuren
102	519	228	Stellenweise Spuren
<i>Spritzverzinkte Bleche</i>			
122	936	156	Keine
132	642	221	Einzelne Rostpunkte
152	747	207	Keine
162	925	218	Keine
172	1687	232	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche mit Anstrich</i>			
112	442	nicht bestimmt	Einzelne Rostpunkte <sup>1)</sup>
142	388	nicht bestimmt	Keine

<sup>1)</sup> Rostpunkte nur auf dem ungestrichenen Teil des Bleches.

von Rost (einzelne Rostpunkte). Alle übrigen Bleche waren noch ohne Rostbildungen (Fig. 1). Bei den Blechen Nrn. 112 und 142 war der Anstrich weitgehend abgetragen.

b) *Bleche der Station Eglisau* (Tab. III und IV).

Unter diesen Blechen wiesen nur die beiden vollbadverzinkten Bleche Nrn. 93 (Dauerwässerung) und 94 (Pendelwässerung) mit einer ursprünglichen Zinkauflage von 331 bzw. 348 g/m<sup>2</sup> nach 7jähriger

gleichen Zeit *stärker* angegriffen als die entsprechenden Bleche der Station Eglisau. Zudem zeigten einzelne spritzverzinkte Bleche nicht nur einen stärkeren Zinkverlust, sondern auch eine durch blasenartige Erhöhungen gekennzeichnete Veränderung des Überzuges (Fig. 2, 3 und 4). Diese Blasenbildungen waren mit Ausnahme eines einzigen der pendelnd geprüften Bleche nur bei den dauernd im Wasser gelagerten Blechen ohne zusätzlichen Anstrich festzustellen. Einzelne dieser Erhöhungen

*Bleche der Versuchsstation Eglisau*

(Dauerwässerung)

Tabelle III

Blech Nr.	Ursprüngl. Zinkauflage g/m <sup>2</sup>	Zinkverlust in 7 Jahren g/m <sup>2</sup>	Rostbildung
<i>Vollbadverzinkte Bleche</i>			
93	331	189 <sup>1)</sup>	Zahlreiche Rostpunkte <sup>2)</sup>
103	519	141	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche</i>			
123	973	99	Keine
133	633	94	Keine
153	745	114	Keine
163	283	133	Keine
173	1221	123	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche mit Anstrich</i>			
113	482	nicht bestimmt	Keine
143	346	nicht bestimmt	Keine

<sup>1)</sup> Gewichtsverlust wegen den sehr starken Anfrassungen an den Befestigungsstellen etwa 15...20 % zu hoch.

<sup>2)</sup> Rostbildungen nur auf der Rückseite des Bleches (bezogen auf Strömungsrichtung).

(Pendelwässerung)

Tabelle IV

Blech Nr.	Ursprüngl. Zinkauflage g/m <sup>2</sup>	Zinkverlust in 7 Jahren g/m <sup>2</sup>	Rostbildung
<i>Vollbadverzinkte Bleche</i>			
94	348	133	Einzelne Rostwarzen <sup>1)</sup>
104	498	129	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche</i>			
124	1096	60	Keine
134	651	102	Keine
154	1139	87	Keine
164	1412	70	Keine
174	1500	109	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche mit Anstrich</i>			
114	464	nicht bestimmt	Keine
144	466	nicht bestimmt	Keine

<sup>1)</sup> Rostbildungen nur auf der Rückseite des Bleches.

Versuchszeit wenige Rostbildungen auf, und zwar nur auf der Rückseite. Bei allen übrigen Blechen war die Vollbad- bzw. Spritzverzinkung noch intakt. Auch die Bleche mit Anstrichen liessen noch keine nennenswerten Veränderungen erkennen, zeigte doch der Anstrich beim einen Blech lediglich zonenweise leichte Netzzrisse.

c) *Bleche der Station Beznau* (Tab. V und VI).

Die dauernd im Wasser gelagerten und die pendelnd geprüften Bleche dieser Station wurden in der

wiesen auf ihrer Kuppe einen feinen Riss auf. Verschiedentlich war an solchen Stellen bereits der Grundwerkstoff leicht angegriffen und zeigte schwache Rostansätze. In verschiedenen äusserlich noch geschlossen erscheinenden Erhöhungen waren Zersetzungsprodukte des Zinkes zu finden. Ob diese lokalen Veränderungen im Zinküberzug auf primäre Unregelmässigkeiten im Belag oder auf biologische Vorgänge in einzelnen seiner Poren zurückzuführen sind, konnte nicht eindeutig abgeklärt werden. Da die blasenartigen Erhöhungen haupt-

*Bleche der Versuchsstation Beznau*

(Dauerwässerung)

Tabelle V

Blech Nr.	Ursprüngl. Zinkauflage g/m <sup>2</sup>	Zinkverlust in 7 Jahren g/m <sup>2</sup>	Rostbildung
<i>Vollbadverzinkte Bleche</i>			
95	336	267 <sup>1)</sup>	Keine
105	447	244	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche</i>			
125	973	214	Keine
135	642	243	Schwache Rostansätze <sup>2)</sup>
155	1023	238	Schwache Rostansätze
165	918	251	Keine
175	1525	258	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche mit Anstrich</i>			
115	473	nicht bestimmt	Schwache Rostansätze <sup>3)</sup>
145	449	nicht bestimmt	Schwache Rostansätze <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Gewichtsverlust wegen den starken Anfrassungen an den Befestigungsstellen etwa 10 % zu hoch.

<sup>2)</sup> Rostansätze nur auf der Rückseite des Bleches (bezogen auf Strömungsrichtung).

<sup>3)</sup> Rostbildungen nur im nicht gestrichenen Teil der Bleche.

(Pendelwässerung)

Tabelle VI

Blech Nr.	Ursprüngl. Zinkauflage g/m <sup>2</sup>	Zinkverlust in 7 Jahren g/m <sup>2</sup>	Rostbildung
<i>Vollbadverzinkte Bleche</i>			
96	343	251	Zahlreiche Rostwarzen
106	473	304	Vereinzelte Rostwarzen
<i>Spritzverzinkte Bleche</i>			
126	1035	—	—
136	630	303	Schwache Rostansätze
156	881	—	—
166	949	346	Keine
176	1318	322	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche mit Anstrich</i>			
116	478	—	—
146	411	—	—

Bemerkung: Die Bleche Nrn. 116, 126, 146 und 156 sind im 2. Jahr verloren gegangen.

sächlich bei Blechen mit starkem Algenansatz auftraten, ist es nicht ausgeschlossen, dass tatsächlich biologische Vorgänge, die infolge der dabei entstehenden Kohlensäure eine korrosionsbeschleunigende Wirkung ausüben können, die Entstehung dieser Blasenbildungen begünstigt haben.

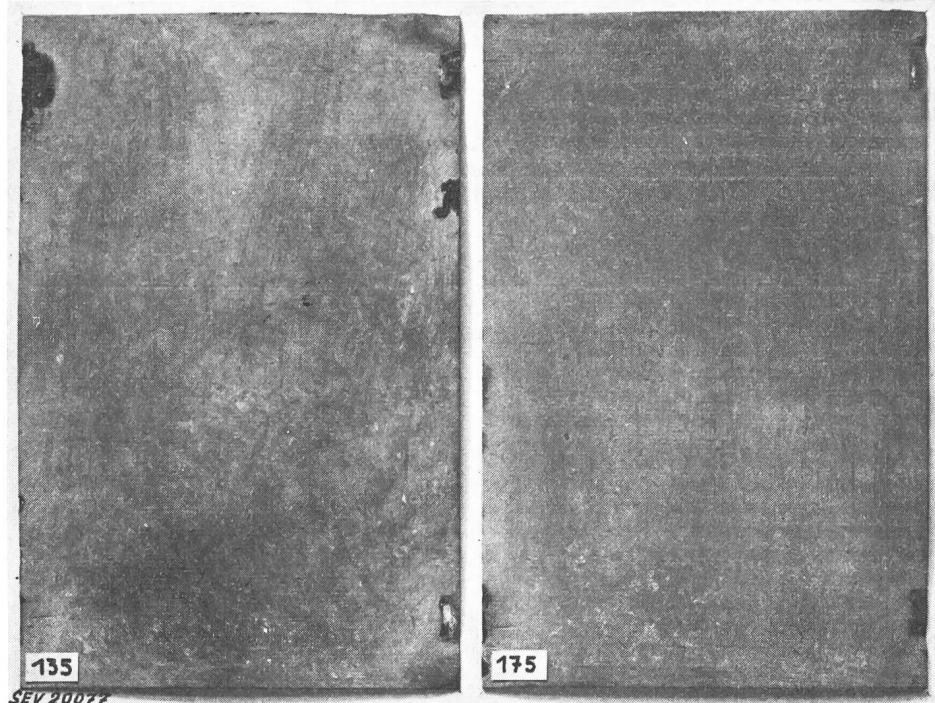
Im Gegensatz zu den Blechen der Stationen Eglisau, Dietikon und Mühleberg waren die pendelnd geprüften Bleche der Station Beznau in der gleichen Zeit *stärker korrodiert* als die dauernd im Wasser gelagerten Bleche. Dieser Unterschied trat bei den vollbadverzinkten Blechen ausgesprochener in Erscheinung als bei den spritzverzinkten Blechen und steht zweifelsohne im Zusammenhang mit ihrer ursprünglich geringeren Zinkauflage. Das Ergebnis der Versuche dieser Station ist insofern lücken-

d) *Bleche der Station Mühleberg* (Tab. VII und VIII).

Mit Ausnahme des vollbadverzinkten Bleches Nr. 97 (ursprüngliche Zinkauflage 401 g/m<sup>2</sup>) und der beiden spritzverzinkten Bleche Nrn. 157 und 117 (ursprünglicher Zinkauftrag 952 bzw. 476 g/m<sup>2</sup>),

Fig. 2  
Bleche der Versuchstation Beznau  
(7 Jahre Dauerwässerung)

- a Nr. 135 (spritzverzinkt),  
schwache Rostansätze  
auf der Rückseite  
b Nr. 175 (spritzverzinkt), keine  
Rostbildungen



a

b

haft, als 4 von total 9 pendelnd geprüften Blechen schon im 2. Jahr verloren gegangen sind. So ist vor allem bedauerlich, dass aus diesem Grunde speziell für die Wasserverhältnisse dieser Station die Wirkung des zusätzlichen Anstriches auf den Zinküberzügen nicht hinreichend beurteilt werden kann.

waren alle dauernd im Wasser gelagerten und alle pendelnd geprüften Bleche nach 7 Jahren noch *ohne* Rostbildung (Fig. 5 und 6). Im allgemeinen war auch, abgesehen vom eingetretenen Zinkverlust, der Überzug noch intakt. Einzig das dauernd im

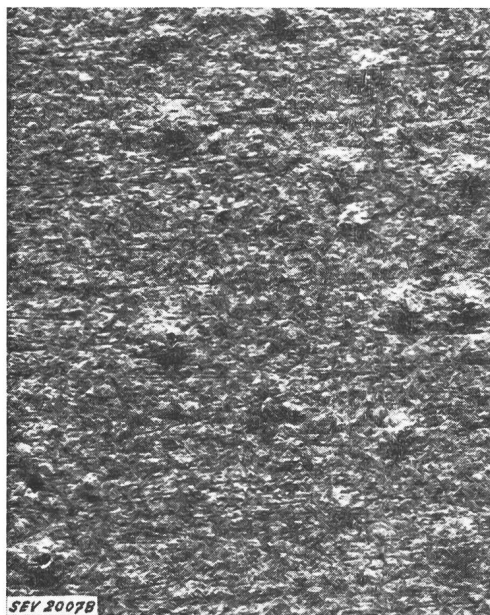


Fig. 3  
Spritzverzinktes Blech Nr. 135 der Versuchstation Beznau  
(7 Jahre Dauerwässerung)  
Blasenbildungen im Überzug (Vergrößerung: 5fach)

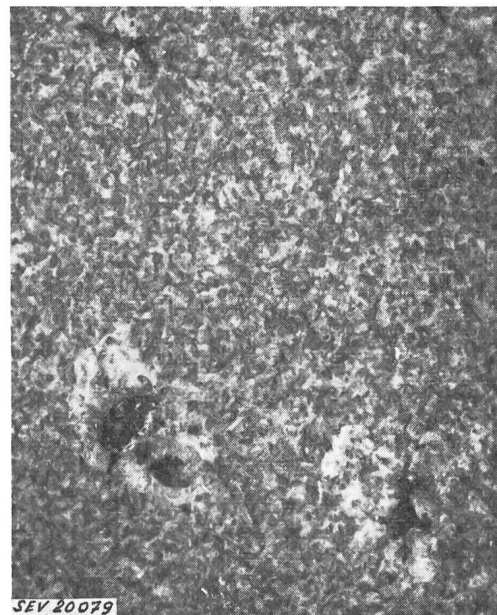


Fig. 4  
Spritzverzinktes Blech Nr. 135 der Versuchstation Beznau  
(7 Jahre Dauerwässerung)  
Geöffnete Blasen mit Rostansätzen am Grunde  
(Vergrößerung 12fach)

## Bleche der Versuchsstation Mühleberg

(Dauerwässerung)

Tabelle VII

Blech Nr.	Ursprüngl. Zinkauftrag g/m <sup>2</sup>	Zinkverlust in 7 Jahren g/m <sup>2</sup>	Rostbildung
<i>Vollbadverzinkte Bleche</i>			
97	401	218	Vereinzelte Rostwarzen
107	480	207	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche</i>			
127	1047	151	Keine
137	635	160	Keine
157	952	134	Vereinzelte Rostansätze <sup>1)</sup>
167	913	151	Keine
177	1442	142	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche mit Anstrich</i>			
117	476	nicht bestimmt	Vereinzelte Rostansätze <sup>2)</sup>
147	483	nicht bestimmt	Keine

<sup>1)</sup> Blasenbildungen im Überzug mit schwachen Unterrostungen.

<sup>2)</sup> Rostansätze nur auf der nicht gestrichenen Hälfte des Bleches.

(Pendelwässerung)

Tabelle VIII

Blech Nr.	Ursprüngl. Zinkauftrag g/m <sup>2</sup>	Zinkverlust in 7 Jahren g/m <sup>2</sup>	Rostbildung
<i>Vollbadverzinkte Bleche</i>			
98	311	136	Keine
108	451	159	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche</i>			
128	1127	74	Keine
138	632	117	Keine
158	852	98	Keine
168	737	135	Keine
178	1446	113	Keine
<i>Spritzverzinkte Bleche mit Anstrich</i>			
118	562	nicht bestimmt	Keine
148	460	nicht bestimmt	Keine

Wasser gelagerte, spritzverzinkte Blech Nr. 157 wies im Überzug ähnliche blasenartige Erhöhungen auf, wie sie bei einzelnen Blechen der Station Beznau festgestellt wurden. Unter einzelnen dieser Blasen konnte wiederum leichte Rostbildung festgestellt werden.

g/m<sup>2</sup>). Die vollbadverzinkten Bleche waren mit Rostwarzen übersät, unter denen schon ziemlich starke Anfressungen zum Vorschein kamen. Bei den spritzverzinkten Blechen wiesen hauptsächlich diejenigen Bleche Rostbildungen auf, die zu wenig gleichmässig verzinkt worden waren.

Diese Erscheinung zeigte sich vor allem bei den nur ein- oder zweimal gespritzten Blechen. In Fig. 7 sind die schwach verzinkten Partien deutlich zu erkennen, weisen sie doch unzählige Rostpunkte und Rostflecken auf. Von den Blechen mit Anstrich war das schwächer verzinkte Blech Nr. 149 merklich stärker gerostet als das mit einem rund 100 g/m<sup>2</sup> stärkeren Zinkauftrag versehene Blech Nr. 119, einerseits wegen seiner schwächeren Verzinkung, andererseits

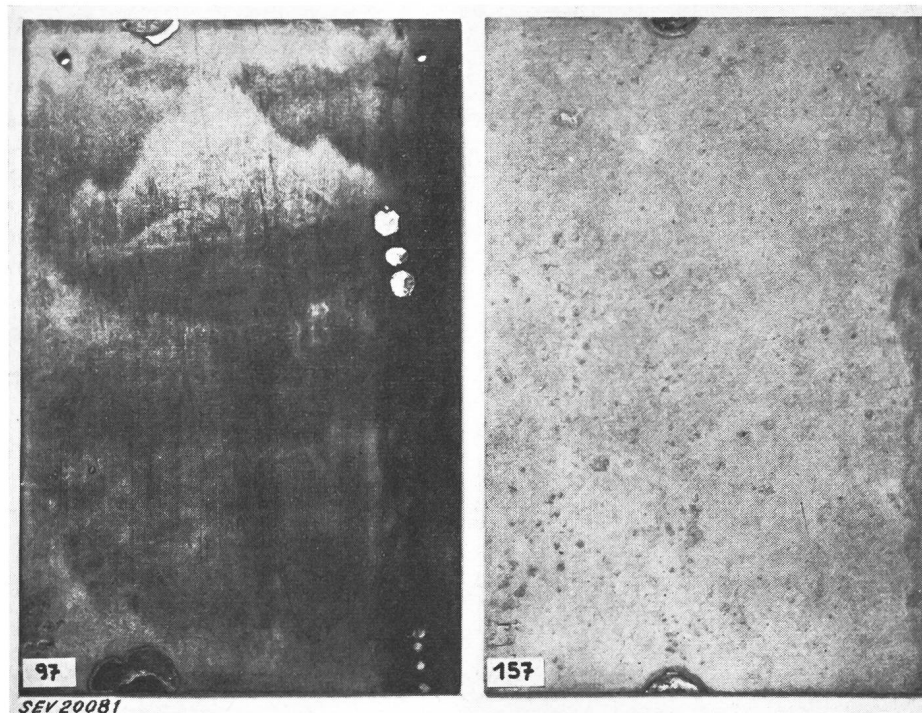


Fig. 5

Bleche der Versuchsstation  
Mühleberg  
(7 Jahre Dauerwässerung)

- a Blech Nr. 97 (vollbadverzinkt), einzelne Anfressungen  
b Blech Nr. 157 (spritzverzinkt), zahlreiche Blasenbildungen im Überzug

e) *Bleche der Station Spiez* (Tab. IX).

Die Mehrzahl der im stark strömenden und erodierenden Wasser der Kander geprüften Bleche waren nach 6 Jahren bereits so stark korrodiert, dass sie aus dem Versuch genommen werden mussten. Es betraf dies vor allem die vollbadverzinkten Bleche (ursprüngliche Zinkauflage 313 bzw. 417 g/m<sup>2</sup>) und die spritzverzinkten Bleche ohne und mit Anstrich (ursprünglicher Zinkauftrag 411...1030

aber auch, weil der Anstrich auf diesem Blech rascher abgetragen wurde, als auf dem Blech Nr. 119. Bei den zusätzlich gestrichenen Blechen der übrigen Stationen war ein Unterschied im Verhalten der beiden Anstriche praktisch nicht festzustellen.

f) *Zinkverluste der Versuchsbleche.*

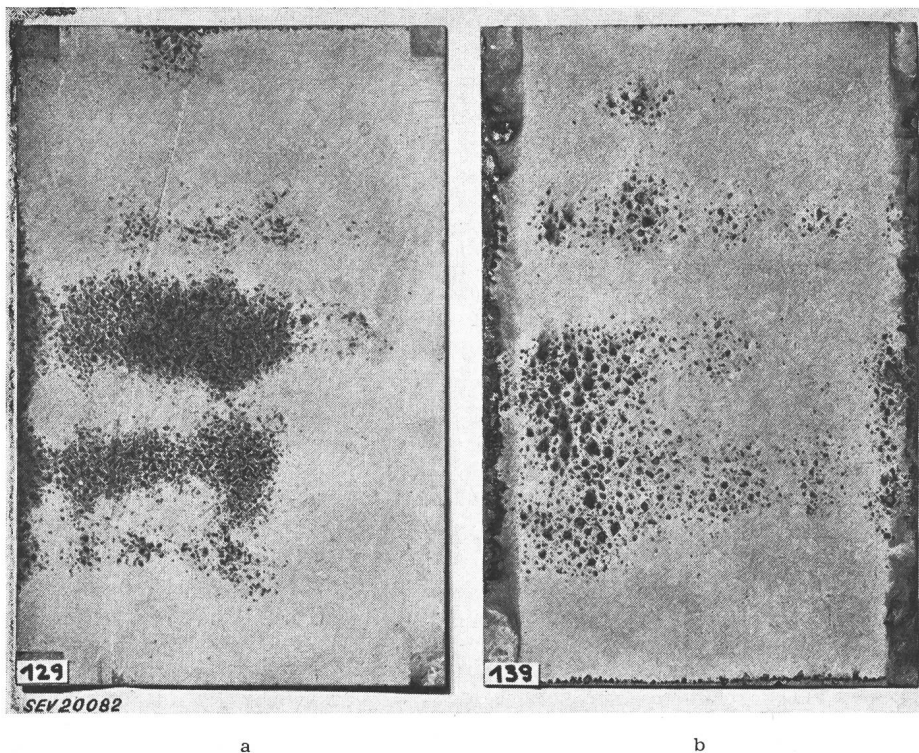
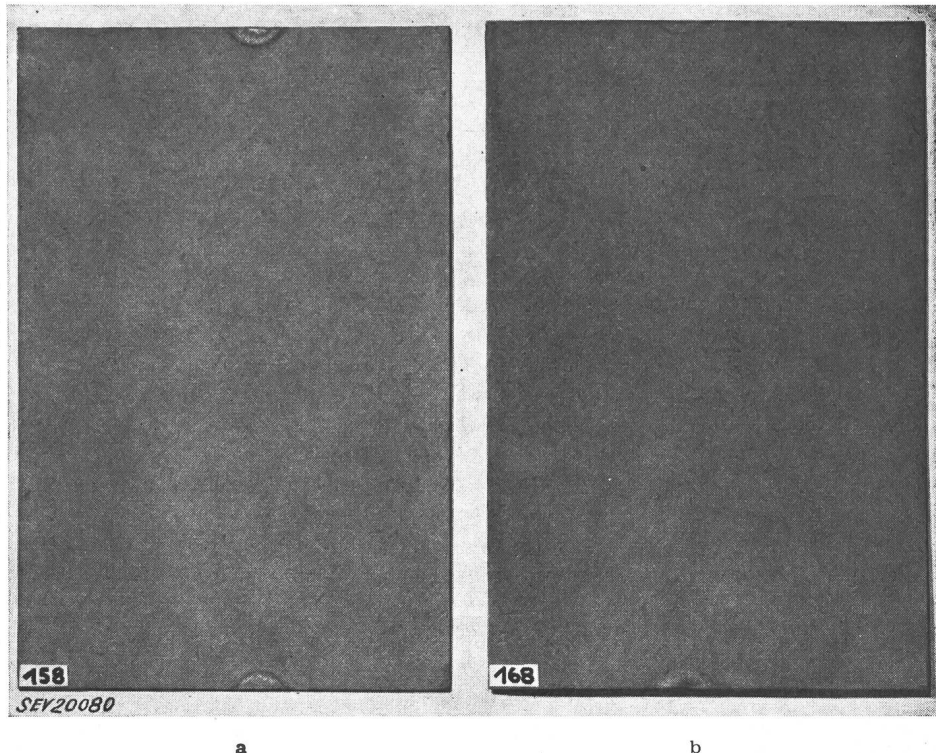
Aus den in der Tabelle X einander gegenübergestellten Zinkverlusten der Versuchsbleche (Ge-

naugigkeit der Werte  $\pm 5\%$ ) geht hervor, dass die rostschtzende Wirkung eines Zinküberzuges bei dauernder Beanspruchung durch Wasser wie bei wechselnder Beanspruchung durch Wasser und atmosphärische Einflüsse in erster Linie von der Dicke des Überzuges abhängig ist. Aber auch die Beanspruchungsbedingungen, so besonders die chemische Zusammensetzung und biologische Beschaffenheit des Wassers, wie auch seine Strömungsverhältnisse sind von Einfluss auf das Verhalten der Verzinkung.

Die Zinkverluste der Versuchsbleche der Station Eglisau und Mühleberg lassen erkennen, dass für die dort herrschenden Verhältnisse bei dauernder Wasserlagerung der Zinkverlust im allgemeinen etwa 20...40 % grösser ist als bei pendelnder

chen (Dauer- und Pendelwässerung) der Zinkverlust in der gleichen Zeit grösser als bei den spritzverzinkten Blechen. Eine Ausnahme machen wiederum die pendelnd geprüften Bleche der Station Beznau, von denen die spritzverzinkten Proben in

Fig. 6  
Spritzverzinkte Bleche Nrn. 158 (a)  
und 168 (b) der Versuchsstation  
Mühleberg  
(7 Jahre Pendelwässerung)  
Keine Rostbildungen



der gleichen Zeit teilweise stärker korrodierten als die vollbadverzinkten. Auch für diese Erscheinung ist vorläufig noch keine eindeutige Erklärung möglich.

Eine Kontrolle der Versuchsbleche der Station Mühleberg nach 6 und 7 Jahren hat ergeben, dass in der Zwischenzeit nur verhältnismässig wenig Zink in Lösung gegangen oder abgetragen worden war, obschon für die Kontrolle der Bleche nach 6

Fig. 7  
Spritzverzinkte Bleche Nrn. 129 (a)  
und 139 (b) der Versuchsstation  
Spiez  
(6 Jahre Dauerwässerung)  
Rostbildungen an ungenügend verzinkten Stellen

Beanspruchung der Bleche. Bei den Blechen der Station Beznau ist es umgekehrt, wahrscheinlich infolge von Störungen bei der Ausbildung der auf der Verzinkung allmählich entstehenden Deckschichten. Ebenso ist allgemein bei den vollbadverzinkten Ble-

chen Jahren die im Laufe der Zeit an ihrer Oberfläche entstandenen Beläge von Kalk und Zersetzungsprodukten des Zinks durch sorgfältiges Bürsten entfernt wurden. So betrug der mittlere Zinkverlust bei den dauernd im Wasser gelagerten und den pendelnd

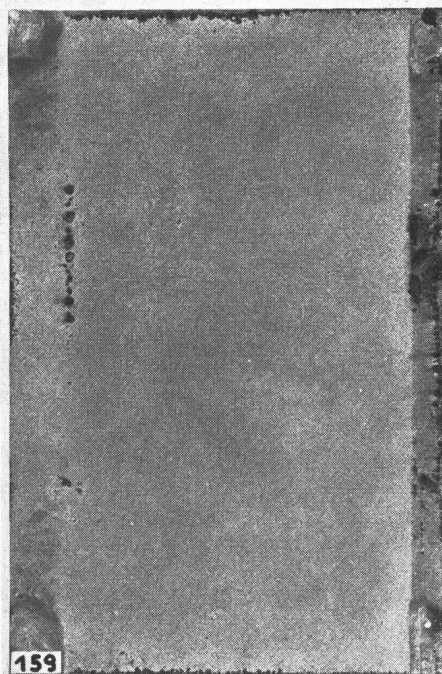
Bleche der Versuchsstation Spiez  
(Dauerwässerung)

Tabelle IX

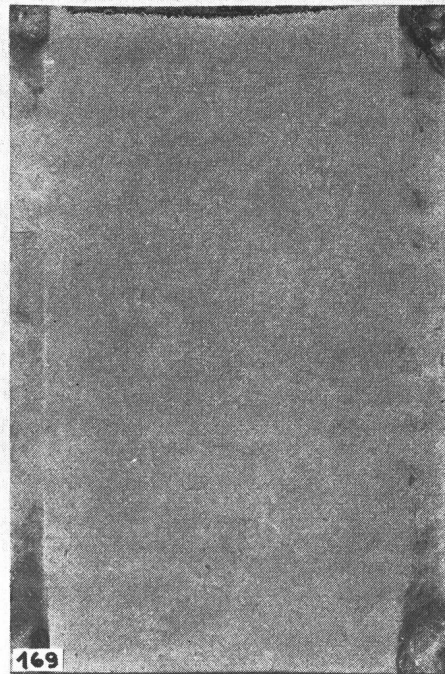
Blech Nr.	Ur-sprüngl. Zink-auftrag g/m <sup>2</sup>	Zinkverlust in 6 Jahren g/m <sup>2</sup>	Zustand der Bleche
<b>Vollbadverzinkte Bleche</b>			
99	313	nicht bestimmt	Zink weitgehend abgetragen. Zahlreiche Anfrassungen mit Rostwarzen, besonders auf der Rückseite.
109	417	nicht bestimmt	do.
<b>Spritzverzinkte Bleche</b>			
129	1030	379	Zonenweise ziemlich ausgedehnte Durchrostungen
139	743	350	do.
159	897	381	Zinküberzug intakt, keine Rostbildungen.
169	1437	412	do.
179	1466	401	do.
<b>Spritzverzinkte Bleche mit Anstrich</b>			
119	528	nicht bestimmt	Anstrich stark abgeseuert. Rostansätze an mechanisch verletzten Stellen, nicht gestrichene Hälfte stark rostig.
149	411	nicht bestimmt	Anstrich praktisch völlig weggescheuert, stark angerostet.

geprüften Blechen nur etwa 10...25 g/m<sup>2</sup>. Diese Zinkverluste sind insofern von Interesse, als sie doch Anhaltspunkte für die Dauerhaftigkeit einer Verzinkung als Unterwasser-Rostschutz geben. Allerdings gelten diese Ergebnisse nur für die Station Mühleberg und einzig dann, wenn nicht, wie dies bei einzelnen Blechen der Fall war, lokale Korrosionen zu einem frühzeitigen Angriff des Grundwerkstoffes führen. Im übrigen geht aus den Zinkverlusten bei den Blechen der Stationen Beznau, Dietikon und Spiez mit ihrem aggressiven und teils stark strömenden Wasser hervor, dass bei diesen die Zinkverluste in der gleichen Zeit das Doppelte bis Vierfache betragen können.

Fig. 8  
Spritzverzinkte Bleche Nrn. 159 (a) und 169 (b) der Versuchsstation Spiez  
(6 Jahre Dauerwässerung)  
Rostbildungen nur am Rand



a



b

#### g) Anstriche als zusätzlicher Schutz.

Auf sämtlichen Stationen hat sich der einmalige Anstrich auf nur schwach spritzverzinkten Blechen als ein wertvoller zusätzlicher Korrosionsschutz erwiesen. Sowohl der verwendete Unterwasseranstrich auf Chlorkautschuk-Bitumenbasis als auch der Bitu-

Zinkverluste der Versuchsbleche in 7 Jahren in g/m<sup>2</sup> pro einseitige Fläche

Tabelle X

Bleche Nrn.	Die- tikon	Eglisau		Beznau		Mühleberg		Spiez <sup>1)</sup>
		P	D	P	D	P	D	
a) Vollbadverzinkte Bleche								
91... 99	234	189	133	267	251	218	136	—
101...109	228	141	129	244	304	207	159	—
Mittel:	231	165	131	256	277	213	147	—
b) Spritzverzinkte Bleche								
121...129	156	99	60	214	—	151	74	379
131...139	221	94	102	243	303	160	117	350
151...159	207	114	87	238	—	134	98	381
161...169	218	133	70	251	346	151	135	412
171...179	232	123	109	258	322	142	113	401
Mittel:	207	113	86	241	324	148	107	385

D = Dauerwässerung    P = Pendelwässerung.  
1) Versuchsdauer: 6 Jahre.

D = Dauerwässerung P = Pendelwässerung.

<sup>1)</sup> Versuchsdauer: 6 Jahre.

menlack zeigten eine bemerkenswert gute Beständigkeit gegenüber der dauernden Beanspruchung durch Wasser und der pendelnden Beanspruchung durch Wasser und atmosphärische Einflüsse, so vor allem auf den Stationen Eglisau und Mühleberg. Aber auch bei den Blechen der Stationen Dietikon und Spiez mit ihren wesentlich ungünstigeren Wasserverhältnissen trat die korrosionshemmende Wirkung dieser beiden Anstriche noch deutlich in Erscheinung.

#### 4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Aus den mehrjährigen natürlichen Dauerversuchen geht hervor, dass sowohl die Vollbadverzin-

kung als auch die Spritzverzinkung sich gegenüber dem Wasser der 5 Versuchsstationen durch eine bemerkenswerte Korrosionsbeständigkeit auszeichnet. Ihre rostschützende Wirkung ist indessen wesentlich von der Dicke und der Gleichmässigkeit des Zinkauftrages abhängig. Eine Zinkauflage von nur

etwa 300...700 g/m<sup>2</sup> reicht als Unterwasser-Rostschutz nicht aus, da bei ungünstigen Wasserverhältnissen ein solcher Überzug den Grundwerkstoff nur wenige Jahre vor einem Korrosionsangriff gänzlich zu schützen vermag. Eine Verlängerung seiner rost-schützenden Wirkung ist einzig zu erwarten in einem Wasser, das in der Lage ist, *natürliche Schutzschichten* zu bilden, welche die allmähliche Auflösung bzw. den fortschreitenden Abtrag des Zinks verlangsamen, ja unter besonders günstigen Verhältnissen praktisch zum Stillstand bringen können.

Eine Verlängerung der Lebensdauer von Zinküberzügen ist indessen möglich, wenn sie ihrerseits durch einen *zusätzlichen Anstrich* vor einem Angriff geschützt werden. Um dies zu erreichen, müssen solche Anstriche eine *genügende Dicke* aufweisen und hinreichend *wasserfest* sein. Für diesen zusätzlichen Schutz kommen in erster Linie Anstrichsysteme auf Chlorkautschuk- und Bitumenbasis in Frage.

Auf Grund der durchgeführten Korrosionsversuche muss heute bei Objekten, die spritzverzinkt werden, für einen dauerhaften Unterwasser-Rostschutz ein Zinkauftrag von mindestens 1000 g/m<sup>2</sup> oder 0,2 mm Stärke verlangt werden, mit einer zulässigen Untertoleranz von höchstens 20 % und zwar lediglich an vereinzelten, kleinen Stellen. Dieser Überzug ist zusätzlich mit einem zwei- oder dreimaligen Anstrich einer bewährten Unterwasserfarbe zu schützen. Für vollbadverzinkte Objekte lassen sich gegenwärtig noch keine Vorschriften für die Schichtdicke aufstellen, da diese von verschiedenen im Verfahren selber begründeten, nicht ohne weiteres beeinflussbaren Faktoren abhängig ist. Es darf indessen gesagt werden, dass nach unseren Erfahrungen beispielsweise vollbadverzinkte Profileisen normalerweise Zinkauflagen von ähnlicher Grössenordnung, wie sie für die Spritzverzinkung gefordert werden müssen, aufweisen.

Da es heute möglich ist, sowohl Zinküberzüge als auch Anstriche hinsichtlich ihrer Stärke und Gleichmässigkeit *zerstörungsfrei* zu prüfen, ist auch eine diesbezügliche Kontrolle der Rostschutzarbeiten im Hinblick auf die Gewähr ihrer einwandfreien Ausführung entschieden angezeigt. Bei verschiedenen Bauwerken, wie Druckleitungen, Druckschachtpanzerungen, Wehrschützen, Turbineneinläufen u. dgl. ist in den letzten Jahren als Korrosionsschutz eine Spritzverzinkung mit zwei oder drei zusätzlichen Anstrichen mit gutem Erfolg zur Anwendung gekommen. Einen solchen Korrosionsschutz haben u. a. erhalten die Druckleitung II des KW Kandergrund (BKW), die Druckleitung Islas (EW St. Moritz), die Druckschachtpanzerung des KW Handeck II (KWO), die Stauweherschützen der Kraftwerke Laufenburg, Rapperswil-Auenstein, Wildegg-Brugg, Wettingen (EWZ), Wassen (CKW), Calancasca, Dietikon (EKW), Zürich-Letten (EWZ), die Turbineneinläufe (Spiralgehäuse) des Kraftwerkes Wettingen (EWZ). Gegenwärtig in Ausführung begriffen sind: die Druckschachtpanzerung des KW Verbano (Maggia-Kraftwerke), die Stauweherschützen des KW Augst (EW Basel) und die Schützen des Wehres Felsenau (EW Bern). Bei allen diesen Objekten ist die Verzinkung bezüglich Schichtdicke und Gleichmässigkeit des Überzuges von der EMPA kontrolliert worden. Unter dem Vorbehalt, dass wir von den betreffenden Werken die Einwilligung dazu erhalten, soll später auch über diese Messungen berichtet werden.

Zusammenfassend darf gesagt werden, dass ein Korrosionsschutz, wie ihn die genannten Bauwerke nunmehr aufweisen, selbstverständlich dessen fachgemässe und einwandfreie Ausführung vorausgesetzt, zum Besten gehört, was heute als Unterwasser-Rostschutz empfohlen werden kann.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. J. Friedli, Sektionschef der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Leonhardstr. 27, Zürich.

## Erfahrungen mit Spritzverzinkung als Unterwasserrostschutz

Von H. Oertli, Bern

621.793.7 : 669.5 : 620.197.23

*Vor dem Aufkommen der zerstörungsfreien Zinkschicht-Dickenmessung erhielten die spritzverzinkten Unterwasserobjekte in der Regel einen zu schwachen Zinkauftrag; der Rostschutz war deswegen nicht dauerhaft. In den beschriebenen Beispielen wird die Bedeutung einer guten Haftfestigkeit, einer genügenden Zinkschichtdicke und zusätzlicher Anstriche gezeigt. Am Schluss des Artikels werden einige weitere Objekte beschrieben, bei deren Rostschutz die geschilderten Erfahrungen verwertet wurden.*

*Avant l'entrée en usage de la méthode de mesure de l'épaisseur de la couche de zinc sans destruction de matière, les objets zingués au pistolet et destinés à séjourner dans l'eau recevaient généralement une couche de zinc trop mince, de sorte que la protection contre la rouille n'était pas durable. A l'aide d'exemples, l'auteur montre l'importance d'une bonne adhérence, d'une épaisseur de zinc convenable et de l'application de peintures supplémentaires. Il décrit également quelques autres objets protégés contre la rouille en mettant à profit les expériences faites.*

### 1. Einleitung

Wenn der Verfasser von ungünstigen Erfahrungen über die Spritzverzinkung als Unterwasserrostschutz hört, so fragt er immer zuerst: Wie gross war die Zinkschichtdicke? Er kann sicher sein, die Antwort zu bekommen: Wir kennen die auf dem Eisen haftende Zinkmenge nicht. Im besten Falle ist die Menge des verspritzten Zinkdrahtes bekannt.

In Fällen, wo sich die Spritzverzinkung als Unterwasserrostschutz nicht bewährte, fehlte ein

geeigneter wasserfester Anstrich über der Verzinkung.

Die folgenden Beispiele sollen die praktische Bedeutung der Zinkschichtdicke und den Wert zusätzlicher Anstriche zeigen.

### 2. Wehr Port bei Nidau

Über diese Anlage liegt der von der Baudirektion des Kantons Bern im Jahre 1945 veröffentlichte