Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 51 (1960)

Heft: 14

Artikel: Probleme beim Anstrich von Spritzverzinkungen im Unterwasserbau

Autor: Hochweber, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-917044

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: 08.08.2025

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

Probleme beim Anstrich von Spritzverzinkungen im Unterwasserbau

Von *M. Hochweber*, Zürich

669.586.6.004.6 : 626.02

Die im Unterwasserbau viefach erprobte, meist noch mit Anstrichen geschützte Spritzverzinkung [1]) *zeigte in der Praxis an einzelnen, druckbeanspruchten Objekten Blasenbildungen. An Hand von Modellversuchen wird gezeigt, dass die Bildung von Blasen auf Wasserstoffentwicklung zurückzuführen ist, die insbesonders beim Entlasten nach Druckproben einsetzt. Andersartige Schäden entstehen, wenn an rauhen Spritzzinkflächen, die kaum völlig überstreichbar sind, einzelne, nur locker aufsitzende Zinkkörner ausbrechen und grobe, ungeschützte Poren hinterlassen. Für beide Fälle werden Behebungsmassnahmen empfohlen.*

Bien qu'ayant souvent fait leurs preuves pour les constructions sous l'eau, les zingages au pistolet, généralement encore protégés par des peintures, révèlent, dans la pratique, des ampoules sur certains ouvrages soumis à des effets de pression. Des essais sur modèles ont démontré que cette formation d'ampoules est imputable à un dégagement d'hydrogène qui se produit en particulier lors de la décharge après des épreuves de pression. Des dégâts d'un autre genre surviennent aussi avec des surfaces rugueuses zinguées au pistolet, car celles-ci ne peuvent guère être complètement recouvertes de peinture, de sorte que des grains de zinc n'adhérant pas fortement lâchent en laissant des pores grossiers non-protégés. Des mesures de réfection sont recommandées dans les deux cas.

1. Einleitung

Seit einer Reihe von Jahren werden dauernd oder zeitweise unter Wasser stehende Stahlkonstruktionen wie Druckleitungen, Schützen u. a. vorzugsweise durch Spritzverzinkung und Anstrich vor dem Anrosten geschützt. Die Erfahrungen mit diesem Schutzsystem sind bis heute im allgemeinen sehr gut. Anfängliche Misserfolge waren zumeist auf ungenügende oder ungleiche Schichtstärken zurückzuführen; mit den heute üblichen Kontrollmessungen ist jedoch diese Gefahr weitgehend gebannt. Die Schichtstärke des aufgespritzten Belages — zumeist 0,20 mm im Unterwasserbau — erreicht bei gut eingespielten Arbeitsgruppen eine hohe Gleichmässigkeit (Fig. 1).

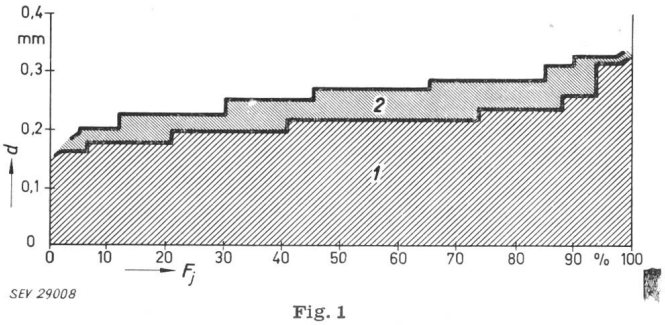

Fig. 1

Schematische Darstellung der durch die EMPA mit einem elektromagnetischen Gerät gemessenen Schichtdicken an einem etwa 5000 m² Fläche aufweisenden Objekt

Die Figur zeigt die mehreren tausend Messwerte nach ihrer Häufigkeit geordnet

Bedingungen: Mindestens 0,20 mm mittlere Schichtdicke der Spritzverzinkung, lokal zulässige geringste Stärke 0,16 mm

d Schichtdicke; F_j Häufigkeit der Messwerte

1 Spritzverzinkung; *2* Bitumenlack

Seit 1955 traten vereinzelt Blasenbildungen an überstrichenen Spritzverzinkungen auf, und es war notwendig, der Ursache dieser meist nur sporadisch und in geringem Umfang, vereinzelt aber auch in ausgedehnterem Masse auftretenden Störung nachzugehen. Eine zweite, oft beobachtete Erscheinung waren punktförmige Korrosionen am Schutzbelag, die in harmlosen Fällen zu einem weissen Punkt auf dem Deckanstrich, im Kontakt mit aggressiveren Wassern aber in wenigen Jahren zu lokaler Durchkorrosion des Belages führte.

2. Das Zink und seine Schutzwirkung

Das Metall Zink selbst ist an sich recht korrosionsanfällig und wird sowohl von Säuren als auch von Laugen unter Bildung von Wasserstoffgas angegriffen. In neutralem Milieu, also beispielsweise in neutralem Wasser, erfolgt in der Regel keine Wasserstoffentwicklung. Es kann sich wohl ebenfalls Wasserstoff bilden, doch wird dieser durch den praktisch stets vorhandenen Sauerstoff zu Wasser oxydiert und entweicht damit nicht als Gas. Bei erhöhter Temperatur (z. B. Heisswasserspeicher) ist jedoch schon oft Wasserstoffentwicklung auch in praktisch neutralem Wasser beobachtet worden. Solche Untersuchungen wurden jeweils an Zinkblech oder galvanischen bzw. Vollbadverzinkungen durchgeführt. An Spritzverzinkungen mit ihren sehr grossen spezifischen Oberflächen und der möglichen Wechselwirkung mit dem Unterlagemetall sind dem Autor entsprechende Untersuchungen nicht bekannt geworden. Im folgenden wird gezeigt, dass unter diesen Umständen Wasserstoffentwicklung auch in neutralem Wasser durchaus möglich und sogar die Regel ist.

Es sei vorweggenommen, dass die Zweckmässigkeit der Spritzverzinkung an sich durch die vorliegenden Untersuchungen in keiner Weise in Zweifel gezogen wird; die bisherigen überwiegend positiven Ergebnisse sprechen vielmehr nach wie vor für das System Spritzverzinkung mit Anstrich. Die Ausführungen sollen daher mithelfen, die unter besondern Bedingungen möglichen Schäden in ihren Ursachen zu erkennen, damit ihnen mit Erfolg vorgebeugt werden kann.

Unwillkürlich drängt sich die Frage auf, warum Zink angesichts der erwähnten Unbeständigkeit überhaupt als Schutzbelag verwendet wird. Unter normalen atmosphärischen Bedingungen und auch in nicht aggressiven Wassern bildet sich auf dem Zink eine dünne Schutzschicht von Zinkoxyden, -hydroxyden und basischen Zinkkarbonaten, die das Metall und damit auch die Unterlage vor weiterem Angriff schützen können. Sodann kann sich in geeignetem Milieu bei geringfügigen Verletzungen des Zinkbelages ein kathodisches Schutzpotential zwischen dem Eisen und dem Zink ausbilden und ferner können solche Verletzungen durch Zinkkorrosionsprodukte überwuchert und damit ebenfalls geschützt werden. Diese voluminösen Korrosionsprodukte dichten ausserdem auch Poren im Zinkbelag ab, so dass sich Spritzzinkbeläge bei leichter Korrosionseinwirkung selbst abdichten. Ferner hat eindringender Sauerstoff grössere Tendenz zur Verbindung mit Zink als mit Eisen, so dass auch aus diesem Grund — Rosten setzt Sauerstoff voraus — die Eisenunterlage

[1]) Vgl. z. B. Bull. SEV Bd. 43(1952), S. 965...990.

geschützt wird. Im weitern werden saure Agentien, die auf Eisen besonders korrosiv wirken, durch Zink und seine «natürlichen», basischen Charakter aufweisenden Korrosionsprodukte abgefangen. Alle diese Mechanismen führen zusammen zu der bekannten Schutzwirkung der Zinkbeläge bei nicht zu aggressiven Einwirkungen.

In aggressivem Milieu, beispielsweise in ausgesprochenen Industrieatmosphären, wird das Zink zu stark angegriffen und kann sich die natürliche Schutzhaut nicht ausbilden. Verzinkungen jeder Art sind unter solchen Umständen allein tatsächlich nicht am Platz. Durch Anstreichen mit möglichst undurchlässigen Anstrichstoffen kann dagegen die Verzinkung auch unter an sich «zinkaggressiven» Bedingungen, wie etwa bei zinkaggressiven Wassern, verwendet werden. Der Anstrich schützt das Zink vor dem direkten Abbau. Die durch den Anstrich dringenden Stoffe — jeder Anstrich ist bis zu einem gewissen Grad wasser- und gasdurchlässig — fängt der Zinkbelag in einer der geschilderten Weisen auf und kann so das Eisen auf lange Zeit wirksam schützen.

Zink hat ein spezifisches Gewicht von 7,14 g/ml. Das Raumgewicht der Spritzverzinkung, die uns in diesem Zusammenhang ja hauptsächlich interessiert, beträgt ca. 5 g/ml. Die Spritzverzinkung weist somit ein beträchtliches Porenvolumen auf. Die Haftung der aufgeschleuderten Metalltröpfchen erfolgt rein mechanisch, also durch blosse Adhäsion, weshalb der Aufrauhung des Eisens durch richtige Sandstrahlung entscheidende Bedeutung zukommt. Die Oberfläche des Spritzzinkbelages ist stets mehr oder weniger rauh.

3. Der Anstrich der Spritzverzinkung

Zum Anstrich der Spritzverzinkungen im Unterwasserbau werden wasserfeste, nicht verseifbare Anstrichstoffe, wie Bitumenlacke, Chlorkautschuklacke, Polyvinylchloridlacke, Zweikomponenten- und noch andere Kunstharzlacke verwendet. Im Anstrichaufbau ist deutlich eine auf Erfahrungen beruhende Entwicklung zu erkennen.

Zuerst bezweckte der Anstrich die blosse Imprägnierung der Spritzzinkschicht im Sinne der Ausfüllung innerer Poren. In vielen Fällen genügte dies jedoch nicht, weshalb man den Anstrichaufbau bis zur Deckung der Spritzzinkoberfläche verstärkte, wozu meist 3...4 normale Anstriche aufgetragen wurden. Die effektive Deckung war mit diesen Anstrichen jedoch kaum zu erzielen und nur bei 5...6 oder noch mehr Anstrichen ist in der Regel die Deckung befriedigend, weshalb man entweder stark «gefillerte», in dicken Schichten auftragbare Lacke oder sogar 2...4 mm starke Heissbitumenbeläge aufbrachte.

Die letzte Entwicklung ist die Kombination Spritzverzinkung mit Zinkstaubfarbe, zusammen ca. 0,2 mm dick und überstrichen mit 2...3 Bitumenlack- oder anderen Anstrichen, wobei die Zinkstaubfarbe eine Ausebnung der Oberfläche gewährleisten soll.

Die eingangs erwähnten punktförmigen Korrosionen des Zinks waren besonders am System Spritzverzinkung mit Bitumenlackanstrich zu beobachten. Die nähere Kontrolle an verschiedenen Objekten ergab, dass es sich dabei zumeist um ausgebrochene, nur oberflächlich haftende Zinkkörner handelte. Wenn im Zinkbelag festhaftende Zinkspitzen vom Anstrich nicht überdeckt werden (Fig. 2a), so kann dies hingenommen werden, weil ja die Schichtdicke *d* dann lokal wesentlich über dem Durchschnitt liegt und deshalb die Gefahr der Durchkorrosion klein ist. Beim Anzünden der Spritzpistole, aber auch bei unregelmässiger Gas- und Drahtzufuhr werden jedoch grobe Zinkkörner aufgeschleudert, die nur locker haften und sich mit dem Fingernagel leicht

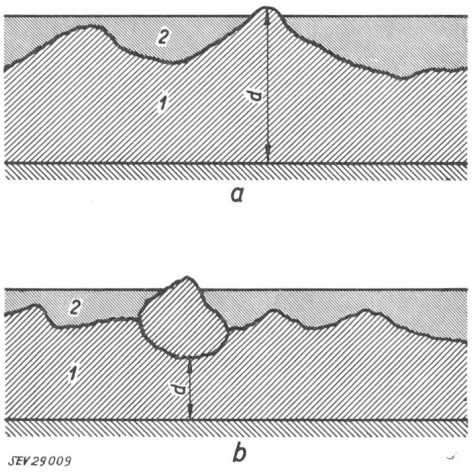

Fig. 2
Spitzen im Zinkbelag
a nicht völlig überstrichene, fest haftende Zinkspitze; Schichtdicke *d* an ungeschützter Stelle gross
b locker aufsitzendes, nicht überstrichenes Zinkkorn; hinterlässt beim Ausbrechen eine ungeschützte Stelle geringer Schichtdicke *d*
1 Spritzverzinkung; *2* Anstrich

ablösen lassen (Fig. 2b). Durch gewöhnliche Anstriche lassen sich diese Körner praktisch nicht überdecken. Bei geringer mechanischer Beanspruchung brechen sie aus dem Aufbau heraus, es hinterbleibt an der betreffenden Stelle eine tiefe Grube, so dass der Belag bei der noch verbleibenden geringen Schichtstärke *d* leicht lokal durchkorrodieren wird.

Durch nur leichtes Abziehen der Spritzzinkfläche mit einer steifen Spachtel, einem Karborundstein oder dgl. vor dem Anstrich lassen sich diese lockern Körner gut entfernen; die so mit geringer Mühe vorbereitete Fläche kann dann in der Regel mit 3...4 gewöhnlichen Anstrichen einwandfrei abgedeckt werden.

4. Blasenbildungen im System Spritzverzinkung mit Anstrich

Mit den geschilderten Verbesserungen der Anstrichtechnik war die Gefahr der allgemeinen und der lokalen Zinkabtragung behoben. Doch ergaben sich bei verschiedenen Druckleitungen anfänglich unerklärliche Blasenbildungen, und zwar war die Blasenbildung bei hochwertigen, gut abdeckenden Anstrichsystemen merkwürdigerweise ausgeprägter als bei blossen Imprägnieranstrichen. Die Erscheinung trat hauptsächlich in den Zonen hohen Drukkes, also in den Verteilleitungen und den untern Partien von Druckleitungen und -schächten auf und nahm gegen oben hin ab. Zudem war eine deutliche Bevorzugung der Schweissnahtzonen bzw. deren un-

mittelbaren Umgebung festzustellen, obwohl auch in Rohrpartien ohne Schweissnähte Blasen zu finden waren. Allen bisher festgestellten Blasenbildungen war schliesslich gemeinsam, dass sie bereits bei oder unmittelbar nach der ersten Druckprobe entstanden und im Laufe des spätern Betriebes über Jahre praktisch konstant blieben.

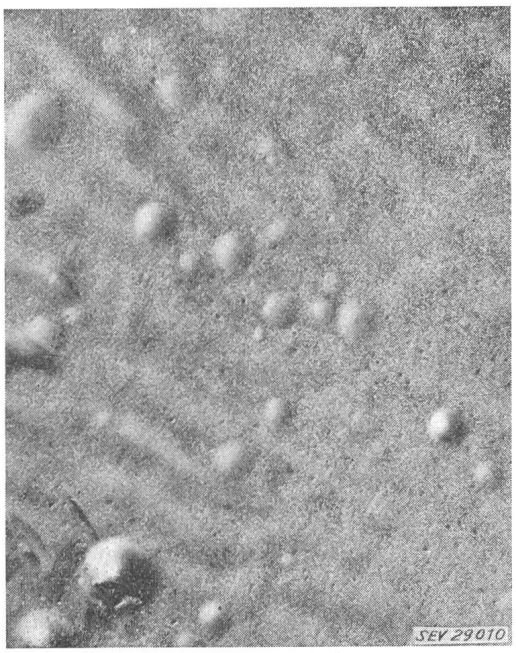

Fig. 3
Starke Blasenbildung im Belag
einer spritzverzinkten und mit Heissbitumen überzogenen Verteilleitung. Die bei der Druckprobe entstandenen Blasen haben Durchmesser bis zu ca. 20 mm; sie heben sich von der intakten, mit Bitumenlack grundierten Spritzverzinkung ab

Teilweise hoben sich die Blasen mitsamt dem Spritzzinkbelag vom Eisen ab, teilweise wurden nur der Anstrich oder bloss einzelne Schichten davon

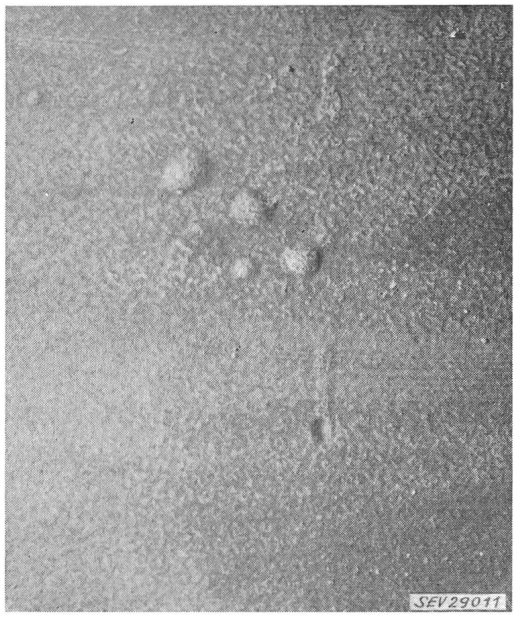

Fig. 4
Vereinzelte Blasen
in Spritzverzinkung mit Bitumenlackanstrich einer Verteilleitung nach ca. 2 Jahren Betrieb. Die Blasen heben sich mitsamt dem Zink vom Eisen ab und haben sich im Betrieb praktisch nicht verändert. Durchmesser der Blasen bis ca. 20 mm

hochgehoben. Im zweiten Falle war in der noch haftenden Anstrichschicht, und zwar im Zentrum des Blasengrundes, oft eine Pore zu erkennen. Der Blasendurchmesser variierte zwischen ca. 5...40 mm. Fig. 3 und 4 zeigen zwei aus verschiedenen Druckschächten stammende Aufnahmen von solchen Blasen.

An praktisch nicht druckbeanspruchten Objekten haben wir bis heute eine ähnliche Erscheinung erst einmal, nämlich an einem Dachwehr, beobachten können, wobei dahingestellt sei, ob es sich um den gleichen, nachstehend versuchsmässig bewiesenen Bildungsmechanismus handelt.

Blasen, die beim Spritzverzinken infolge feuchten, öligen oder sonstwie unsauberen Grundes entstehen, werden im Rahmen dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

5. Verhalten von Spritzverzinkungen gegenüber verschiedenen Wassern

Vor allem war zu untersuchen, wie sich die Spritzverzinkungen an sich gegenüber verschiedenen Wassern verhalten, wobei keine genaue quantitative Messung der Vorgänge im Vordergrund stand, sondern grundsätzlich abzuklären war, welche blasenbildenden Reaktionen bei praktisch vorkommenden Bedingungen überhaupt möglich sind. An Modellversuchen unter Druckbeanspruchung sollten ferner Blasen erzeugt und durch Variation der Versuchsbedingungen die blasenbegünstigenden Faktoren erkannt werden.

a) Versuche unter Atmosphärendruck

In der Versuchsanordnung gemäss Fig. 5 wurden spritzverzinkte, an den Rändern und rückseitig völlig überstrichene Blechtafeln von etwa 50×50×2 mm bei Raumtemperatur in verschiedene Wasser eingesetzt. Über der nach oben gerichteten, freien Spritzzinkfläche von 40 × 40 mm leitete ein Trichter allfällige Gase in ein graduiertes Auffanggefäss. Die Versuche wurden mit Zürcher Leitungswasser (Härte ≈ 18° d. H.) und, als Beispiel eines extrem weichen

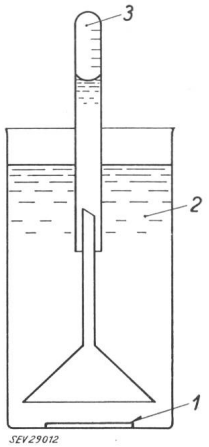

Fig. 5
Versuchsanordnung zur Prüfung des Verhaltens von Spritzverzinkungen unter Wasser und in Portlandzement-Aufschlämmungen
1 Probe; *2* Immersions-Flüssigkeit; *3* aufgefangenes Gas

Wassers, mit vollentsalztem Wasser durchgeführt. Da Druckproben an Druckleitungen häufig mit alkalisch reagierendem Wasser (Rigolenwasser oder Wasser aus frisch betonierten Stollen) vorgenommen werden, wurden die Versuche auch auf Aufschlämmungen von 0,5, 2 und 10 g Portlandzement pro Liter Wasser ausgedehnt.

Die Versuche zeigten, dass in *allen Fällen eine deutliche Entwicklung von Wasserstoffgas festzustellen war,* die nach einigen Stunden Immersion einsetzte und zumeist nach einigen Tagen abklang. In Fig. 6 ist das Verhalten einer frisch aufgespritzten

Verzinkung dargestellt. Beide Wasser und ihre Aufschlämmungen mit 0,5 und 2 g Portlandzement pro Liter Wasser bewirkten anfänglich eine bemerkenswerte Wasserstoff-Entwicklung, betrug sie doch am ersten Tag bereits etwa 2...3 l/m², entsprechend einem Zinkverlust von etwa 6...9 g/m². Nach 4...6 Tagen hörte die Gasentwicklung auf, nur die Beläge

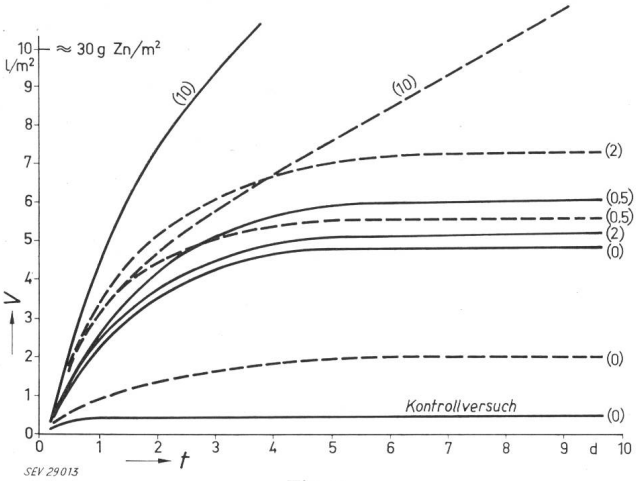

Fig. 6
Gesamte Wasserstoffentwicklung bei einer frisch aufgespritzten Verzinkung

Die Kurven zeigen die gesamte Wasserstoffentwicklung an einer etwa 24 h alten, immergierten Spritzverzinkung bei atmosphärischem Druck. Beim Kontrollversuch wurde eine Glasplatte an Stelle der Proben eingesetzt

——— Leitungswasser — — — entsalztes Wasser

V totale Wasserstoffentwicklung pro m² Spritzbelag; *t* Zeit
In Klammern ist der Portlandzementgehalt pro l Wasser in g angegeben

in der konzentrierteren Aufschlämmung von 10 g Portlandzement pro Liter entwickelten noch weiter Wasserstoff.

Grundsätzlich gleich verhielt sich eine Versuchsserie mit alten, mehr als 2 Jahre im Raum gelagerten Spritzverzinkungen (Fig. 7). Es dauerte einige Stunden länger, bis die Gasentwicklung einsetzte; ver-

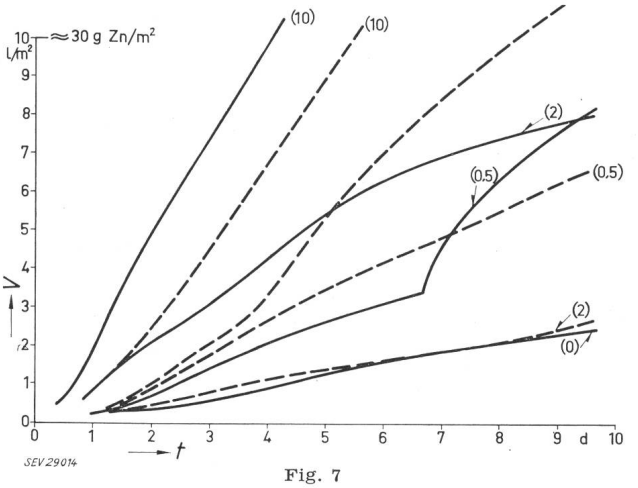

Fig. 7
Wie Fig. 6, aber bei einer alten Verzinkung

Wasserstoff bildet sich bei atmosphärischem Druck auch bei Immersion einer alten, mehr als 2 Jahre im Raum gelagerten Spritzverzinkung

——— Leitungswasser — — — entsalztes Wasser

V totale Wasserstoffentwicklung pro m² Spritzbelag; *t* Zeit
In Klammern ist der Portlandzementgehalt pro l Wasser in g angegeben

mutlich rührte diese Verzögerung von der beim Lagern gebildeten natürlichen Schutzschicht des Zinks her. Hernach aber ging die Reaktion um so stärker vor sich. Die Reproduzierbarkeit der Kurven war, wie schon ein Vergleich der gegenseitigen Lage der einzelnen Kurven in den wiedergegebenen Diagrammen vermuten lässt, schlecht. Es handelte sich eben um Beläge, wie sie praktisch vorkommen, deren Unregelmässigkeiten notwendig eine lokal verschiedene Intensität der Angriffsstärken und damit eine unterschiedliche Gasentwicklung bewirkten. Da in diesem Zusammenhang nur die Abklärung der grundsätzlichen Verhältnisse interessierte, wurden Versuche mit praxisgerechten Belägen vorgezogen und gewisse Schwankungen bewusst in Kauf genommen. Die einwandfreie quantitative Erfassung des Verhaltens von Verzinkungen unter den geschilderten Umständen ist einer weiteren Arbeit vorbehalten.

Nach 10 Tagen Immersion wurden die Prüflinge (Tafeln mit alter Spritzverzinkung) kurz abgespült, 5 Tage bei Raumtemperatur an der Luft liegen gelassen und die Immersion dann in neuen, aber gleich zusammengesetzten Agentien wiederholt. Die Gasentwicklung verlief ähnlich den Kurven von Fig. 6, wobei sie nach 4...8 Tagen mit total 5...7 l/m² (Aufschlämmung mit 10 g Portlandzement pro l) bzw. 1...3 l/m² (alle andern Agentien) zum Stillstand kam.

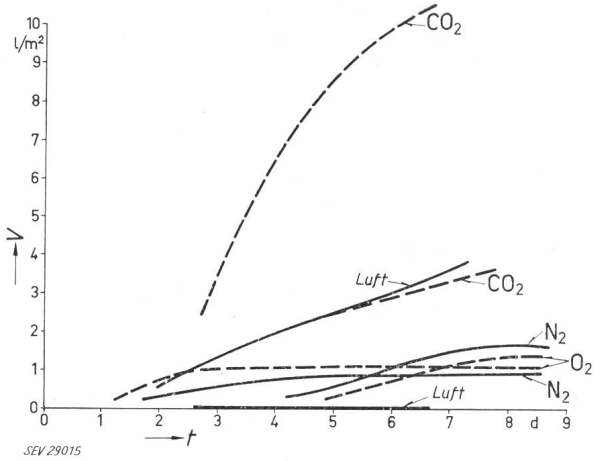

Fig. 8
Einwirkung verschiedener Gase auf die Spritzverzinkung in Leitungswasser mit Portlandzement-Aufschlämmung

Auch in der von verschiedenen Gasen durchperlten Aufschlämmung von 0,5 g Portlandzement pro l Wasser bildet sich Wasserstoff. Der bei einer von CO_2 durchperlten Probe rapide Anstieg der Wasserstoffbildung war mit lokal starken Angriffen auf das Zink verbunden

V totale Wasserstoffentwicklung pro m² Spritzbelag; *t* Zeit
O_2 Sauerstoff; N_2 Stickstoff; CO_2 Kohlendioxyd

Eine weitere Versuchsserie sollte den Einfluss der verschiedenen im Wasser enthaltenen Gase zeigen. Ein Einleitungsrohr wurde bis knapp zum Trichterrand in die Immersionsflüssigkeit (Aufschlämmung von 0,5 g Portlandzement pro l) eingesenkt und dauernd entweder Stickstoff, Sauerstoff, Kohlendioxyd oder Luft durchperlen gelassen. Die Wasseroberfläche wurde mit einer Polyäthylenfolie bedeckt und ferner eine gleiche Folie über den Gefässrand gespannt, so dass der Raum unmittelbar über dem vorher ausgekochten Wasser wenigstens vorwiegend mit dem betreffenden Gas gefüllt war. Fig. 8 zeigt trotz der

schlechten Übereinstimmung der doppelt durchgeführten Versuche, dass sich Wasserstoff auch bei recht unterschiedlichem Gashaushalt des Wassers bilden kann. Der starke Anstieg der Wasserstoff-

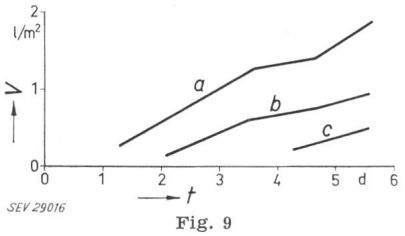

Fig. 9

Verhalten verschiedener Zinkflächen in verschiedenen Wassern
Immersion eines frisch geschliffenen Zinkblechs, einer Spritzverzinkung, eines Zinkstaubanstrichs und der Kombination Spritzverzinkung und Zinkstaubanstrich in der Aufschlämmung von 10 g Portlandzement in 1 l Wasser bzw. in Leitungswasser. Spritzzink entwickelte in Leitungswasser (*b*) wie in der PC-Aufschlämmung (*a*) Wasserstoff. Die Gasentwicklung der Kombination Spritzverzinkung und Zinkstaubanstrich (*c*) in der Aufschlämmung war auf eine Pore im Anstrich zurückzuführen. Alle übrigen Proben zeigten während der ganzen Versuchsdauer von 5 Monaten keine Gasentwicklung
V totale Wasserstoffentwicklung pro m² Spritzbelag; *t* Zeit

einen Anstrich mit einer Zinkstaubfarbe sowie die Kombination Spritzverzinkung mit Zinkstaubfarbe als Deckanstrich, immergiert in Leitungswasser und seiner Aufschlämmung mit 10 g Portlandzement pro Liter. Es war einzig die Spritzverzinkung, welche unter den gewählten Versuchsbedingungen Wasserstoff entwickelte. Die aus Fig. 9 ersichtliche Gasentwicklung an der Kombination Spritzverzinkung mit Zinkstaubfarbe musste, wie eine nähere Kontrolle zeigte, auf eine grobe Pore im Zinkstaubanstrich zurückgeführt werden, deretwegen die Spritzverzinkung stark angegriffen wurde. Der Spritzzinkbelag ist somit offenbar besonders anfällig gegenüber Angriffen mit Wasserstoffentwicklung, woran die grosse spezifische Oberfläche und die durch die Porigkeit des Belages geförderte Wechselwirkung mit der Eisenunterlage wohl massgeblich beteiligt sein dürften.

b) Modellversuche unter Druckbeanspruchung

Vorversuche bei ähnlicher Versuchsanordnung wie vorstehend beschrieben, jedoch im Autoklaven

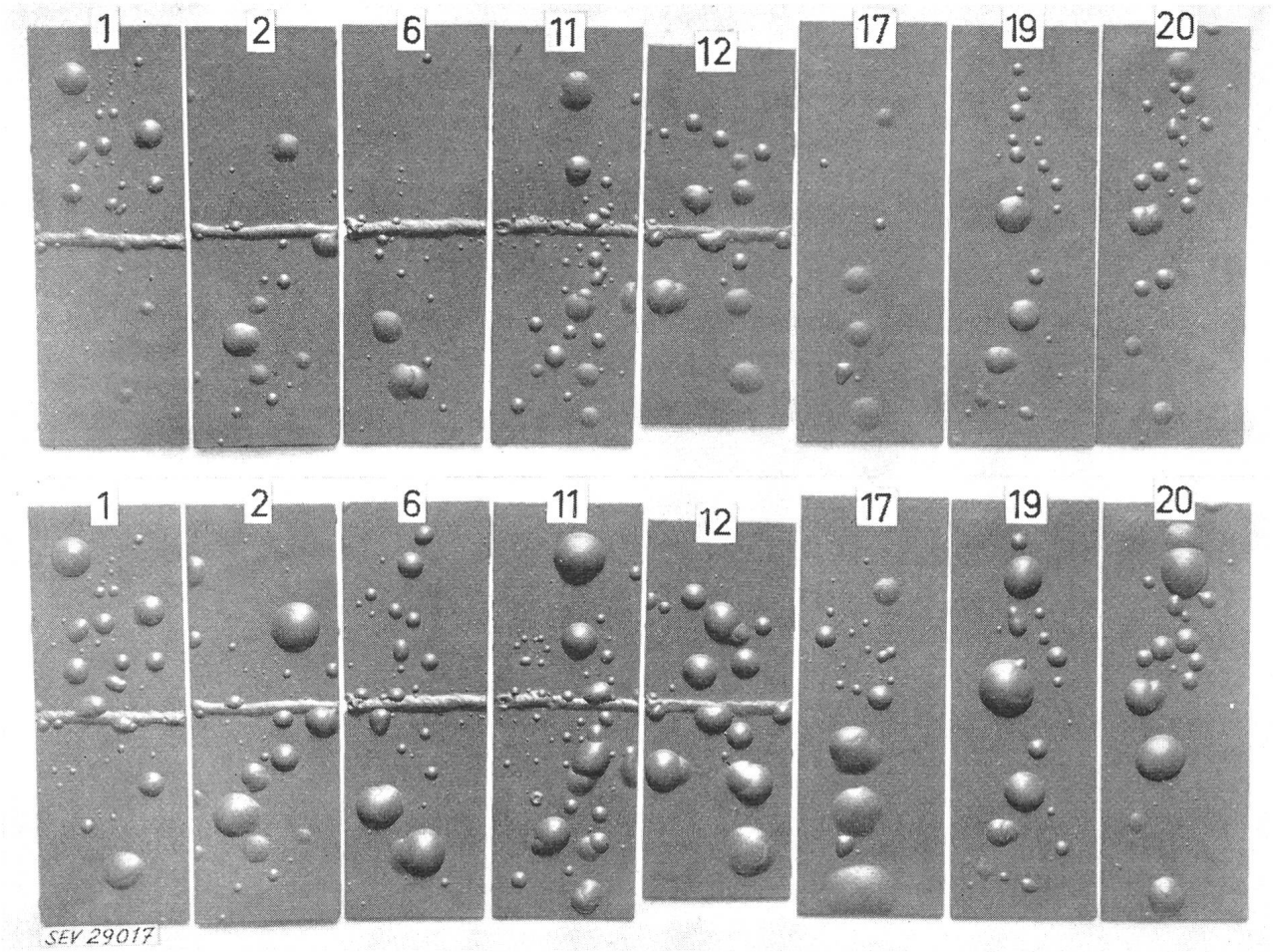

Fig. 10

Blasenbildung im Modellversuch an einer mit Polymerisatlacken überstrichenen Spritzverzinkung
nach 24 h Druckbeanspruchung von 100 kg/cm² unter Wasser und Entlastung innerhalb 15 min
Proben *1*, *2* und *6* mit kalkbasischen, *11* und *12* mit sauren Elektroden zusammengeschweisst
obere Reihe ½ h nach Entlastung, *untere Reihe* 18 h nach Entlastung

entwicklung bei einer der mit Kohlensäure durchperlten Proben war mit einem starken lokalen, lochfrassartigen Angriff auf den Zinkbelag verbunden.

Eine letzte Versuchsserie umfasste schliesslich vergleichsweise noch frisch geschliffenes Zinkblech, bei einem Druck von 100 kg/cm² ausgeführt, liessen während 24 h Druckbeanspruchung keine Gasentwicklung erkennen. Einige Minuten nach der Entlastung setzte die Wasserstoffentwicklung unvermittelt ein und verlief stürmischer als bei den von An-

fang an unter Atmosphärendruck gehaltenen Vergleichsproben.

Die folgenden Versuche bezweckten nun, die Blasen im Laboratorium zu erzeugen. Auf einer spritzverzinkten Blechtafel wurden 6 Punkte mit einer Spur Soda verschmutzt und anschliessend die Tafel mit Bitumenlack gestrichen und mit einem 3...4 mm dicken, mittels elektrischen Funkens scharf auf völlige Porenfreiheit geprüften Heissbitumenbelag überzogen. In 4 cm Abstand von den Sodapunkten wurde der Belag durch Einschnitte verletzt und die Prüftafel über Nacht im Autoklaven in Wasser unter einen Druck von 100 kg/cm² gesetzt. Nach der anschliessenden, rasch erfolgten Entlastung war an allen Sodapunkten eine Blase von 10...30 mm Durchmesser entstanden, was zeigt, dass sich das Druckwasser von den Verletzungen aus ohne weiteres zumindest mehrere Zentimeter weit innerhalb des Zinkbelages ausbreiten kann.

Die nächsten Versuchsserien wurden mit 4fachen Deckanstrichen auf der Basis von Vinylpolymerisatharzen durchgeführt. Eine erste Serie erfuhr nach 24 h Druckbeanspruchung von 100 kg/cm² unter Wasser eine nur 15 min dauernde Entlastung auf Atmosphärendruck. Bis die Proben jeweils ausgebaut waren, hatten sich bereits Blasen gebildet, die sich bei der Lagerung im Raum zusehends verstärkten (Fig. 10). Die in der gleichen Figur enthaltenen Beispiele mit Schweissnähten, hergestellt mit sauren und basischen Elektroden, wurden durch die schon erwähnte Beobachtung der Häufung von Blasen an Schweissnahtzonen angeregt. Die Versuchsergebnisse lassen bis anhin jedoch keine Orientierung in bezug auf die Schweissnähte erkennen. Hingegen waren an geschweissten und sandgestrahlten Proben, die in Phenolphtaleïn enthaltende Gelatinelösung eingelegt wurden, deutlich anodische und kathodische Bezirke durch Rötung des Phenolphtaleïns zu erkennen, die in ausgeprägten Fällen etwa den in Fig. 11 skizzierten Charakter aufwiesen. Auch diese Verhältnisse und ihre Einflüsse auf die Wasserstoffentwicklung bedürfen noch näherer Untersuchung.

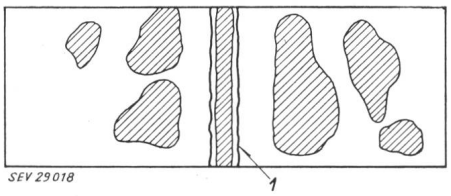

Fig. 11
Schematische Skizze eines geschweissten und sandgestrahlten 2-mm-Bleches,
das in eine Phenolphtaleïn enthaltende Gelatinegallerte eingesetzt wurde. Die schraffierten Zonen sind kathodische, Phenolphtaleïn rötende Bezirke
1 Schweissraupe

Bei typischer Ausbildung sind die Blasen bei diesen Versuchen teils mitsamt dem Zink vom Eisenuntergrund abgehoben, teils auch nur die Folge eines Auftreibens des Anstrichs von der Zinkoberfläche (Fig. 12). Verschiedene Blasen wurden unter Wasser aufgestochen, der Gasinhalt aufgefangen und durch seine Brennbarkeit als Wasserstoff identifiziert.

Blasen traten auch auf, wenn blosse, nicht überstrichene Spritzverzinkungen unter den gleichen Bedingungen abgepresst und kurzfristig entlastet wurden. Allerdings war die Blasenbildung nicht entfernt mit derjenigen an überstrichenen Proben zu vergleichen. Die Blasen traten nur sehr vereinzelt und nur wenig überhöht in Erscheinung, so dass sie nur in streifendem Licht erkannt werden konnten. Vermutlich wurden die Poren in der Spritzverzinkung lokal abgedichtet, so dass der darunter gebildete Wasserstoff nicht mehr frei entweichen konnte und Blasen warf. Dieser Befund steht mit den praktischen Beobachtungen im Einklang, waren doch auch dort sehr vereinzelt Blasen in nicht überstrichenen Spritzverzinkungen aufgetreten.

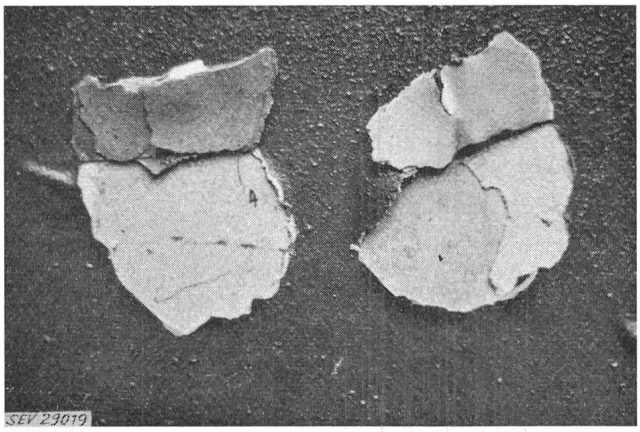

Fig. 12
Aufgestochene Blasen des Prüflings Nr. 17 in Fig. 10
Die Blasen heben sich teils vom Zink und teils mitsamt dem Zink vom Eisen ab

Allgemein war die Blasenbildung in alkalischen, Portlandzement als Aufschlämmung enthaltenden Wassern deutlich grösser als in praktisch neutralen Wassern.

Bei geringerer Druckbeanspruchung, aber bei ebenfalls kurzfristiger Entlastung nahmen die Blasenbildungen ab; unterhalb etwa 60 kg/cm² ergaben sich bei der gewählten Versuchsanordnung in praktisch neutralen Wassern keine Blasen mehr. Die Blasenbildung unterblieb auch bei hohen Drücken, wenn die Entlastung langsam erfolgte. Proben mit Vinylpolymerisatlackanstrichen, wie sie Fig. 10 zeigt, blieben gänzlich ohne Blasen, wenn die Entlastung von 130 kg/cm² auf Atmosphärendruck langsam, nämlich innerhalb 36 h stattfand. Es genügt in diesem Falle offenbar die Diffusionsgeschwindigkeit des Wasserstoffes durch den Anstrich, um den Druck fortgesetzt auszugleichen. Bei kurzfristiger Entlastung kommt es hingegen zu hochgespannten Gasansammlungen, die Blasen werfen, wobei sich diese von der Grenzfläche mit der geringsten Haftung aus abheben. Diese Abhebung kann sowohl zwischen Eisen und Zink, als auch zwischen Zink und Anstrich oder auch zwischen zwei Anstrichschichten erfolgen.

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Spritzverzinkungen neigen bei Beanspruchung unter Wasser zu einer Entwicklung von Wasserstoffgas, die in der Regel nach einigen Tagen auf-

hört. In den weitaus meisten Fällen kommt dieser Erscheinung keine praktische Bedeutung zu. Unter besondern Umständen, so vor allem bei hoher Druckbeanspruchung und anschliessender, kurzfristiger Entlastung, wie dies etwa bei Druckproben in Druckleitungen der Fall ist, kann die bei der Entlastung einsetzende Wasserstoffentwicklung zu Blasen führen. Besonders anfällig dafür sind Schweissnahtzonen. Je hochwertiger und gasundurchlässiger ein Anstrich ist, desto eher tritt Blasenbildung ein; wegen der allgemeinen Schutzwirkung sind jedoch gerade möglichst dichte Anstriche erwünscht. Günstig sind Grundierungen, die möglichst tief in die Poren eindringen und so die innere Zinkoberfläche verkleinern.

Da die bis heute in der Praxis beobachteten Blasen fast ausschliesslich im Verlauf oder doch kurz nach der Druckprobe auftraten, seien nachfolgend die aus unsern Untersuchungen ableitbaren, vorbeugenden Massnahmen kurz zusammengestellt:

1. Zur Druckprobe am fertig behandelten Rohr sollte kein alkalisch reagierendes Wasser verwendet werden, also kein Rigolen- oder Stollenwasser, das Zementstaub mit sich führt oder lösliche Anteile des Betons enthält. Die Prüfung des Wassers auf Alkalinität kann in einfacher Weise mit Indikatorpapier erfolgen.

2. Die Entlastung nach der Druckprobe darf bei fertig behandelten Rohren nicht kurzfristig erfolgen, sondern es soll der Druck über eine längere Zeitspanne — bei unsern Versuchen während 36 h — allmählich absinken.

3. Am zweckmässigsten wäre wohl, die Druckprobe überhaupt vor dem Aufbringen des Korrosionsschutzbelages vorzunehmen.

Im übrigen wird das wegen lokaler Angriffe nötige völlige Überdecken der Spritzzinkoberfläche durch Anstriche sehr erleichtert, wenn die nahezu stets vorhandenen, lockeren Zinkkörner vor dem Anstrich durch leichtes Abziehen entfernt werden.

Adresse des Autors:

Dr. *M. Hochweber*, Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Postfach Zürich 23.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Journées de la Lumière, Paris 1960

061.3(44) : 628.97

1. Allgemeines

Alljährlich wird in unserem westlichen Nachbarland während einiger Tage den Fragen des Lichtes und der künstlichen Beleuchtung besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Organisatorin der stets interessanten und in gediegenem Rahmen veranstalteten Anlässe ist die «Association Française de l'Eclairage» (AFE), ein Zusammenschluss von rund 1200 Wissenschaftern und Fachleuten der künstlichen Beleuchtung.

Aus Anlass des nun 30jährigen Bestehens der AFE ist dieses Jahr als Tagungsort Paris bestimmt worden. Die vom 30. Mai bis 2. Juni durchgeführte Tagung war von rund 480 Personen besucht. Die behandelten Gebiete der künstlichen Lichtquellen und der Beleuchtung stellten wiederum eine logische Fortsetzung oder Ergänzung der in den letzten Jahren zur Diskussion gestellten Themen dar. Dem regelmässigen Besucher fällt dabei auf, dass im Programm alljährlich mehrere Stunden der Strassenbeleuchtung reserviert werden. Es ist dies vor allem auf die Erkenntnis zurückzuführen, dass eine gute öffentliche Beleuchtung nachweisbar in entscheidendem Masse dazu beiträgt, die Sicherheit auf den Verkehrswegen bei Nacht zu erhöhen, bzw. die Unfallzahl zu vermindern. Anderseits sind auch die technischen Mittel der öffentlichen Beleuchtung (Lichtquellen, Armaturen, Kandelaber, Vorschaltgeräte usw.) wie auch deren Anwendung einer besonders raschen Entwicklung unterworfen, was wiederum laufend Anlass zu einer Anpassung der Ansichten und damit schliesslich auch zur Revision bestehender Leitsätze führt.

Über die nachfolgend erwähnten Themen hinaus umfasste das Programm verschiedene Spezialgebiete der Lichttechnik, wie die Elektrolumineszenz, die Beleuchtung von Bahnhöfen oder neue Leuchten für Augenärzte. Von den durchgeführten technischen Besichtigungen sind besonders zu erwähnen: der Flughafen von Orly, die Opéra sowie der beeindruckende «Centre d'Eclairagisme» der Compagnie des Lampes (Mazda).

2. Öffentliche Beleuchtung

Referate: «Historique de l'éclairage public à Paris et dernières réalisations.» (*H. Boissin*)

«Urbanisme et éclairage à l'étranger.» (*L. Gaymard*)

Die Beleuchtung der Strassen von Paris und anderer grösserer Städte entsprang ursprünglich dem Bedürfnis nach persönlicher Sicherheit. Tatsächlich bildet heute mehr denn je eine gute öffentliche Beleuchtung — vor allem in Städten — ein wirksames Mittel zur Bekämpfung der Kriminalität. Im Jahre 1944 war Paris noch verdunkelt. Von 1944 bis 1948 wurde die Strassenbeleuchtung wieder auf den Vorkriegsstand gebracht. Innert 10 Jahren, d. h. von 1949 bis 1958 erfuhr der Anschlusswert eine Verdoppelung und dies trotz der immer mehr verwendeten Gasentladungslampen. Der jährliche Kredit für die Erneuerung der Beleuchtung entspricht ungefähr $^1/_{30}$ des totalen Anlagewertes. Die bestbeleuchteten Boulevards und Avenues von Paris weisen eine Beleuchtungsstärke von ≈ 30 lx im Mittel auf (Fahrbahn); weniger bedeutende Strassen mit mittlerem bis starkem Verkehr eine solche von 5...10 lx, was ungefähr den Werten der neuen schweizerischen Leitsätze entspricht. Viele, weniger bedeutende Verkehrswege sind dagegen noch mit einer älteren und entsprechend schwächeren Beleuchtung ausgerüstet. Es ist auffallend, dass bei der raschen Verkehrsabwicklung in ganz Paris ausnahmslos mit dem sog. «Positionslicht» gefahren wird, dies zur Verhinderung gegenseitiger Blendung. Nach Ansicht der Fachleute wird das heute zur Anwendung gelangende Beleuchtungsniveau weiter ansteigen. 100 und mehr Lux werden bald ins Auge gefasst werden. Der Grund liegt in der weitern Zunahme des rascher werdenden Verkehrs, sowie in der weitern Entwicklung der Lichtquellen. Es wird dabei besonders betont, dass Lampen mit schlechter Farbwiedergabe unerwünscht sind. In Paris werden deshalb je nach dem architektonischen Wert der eine Strasse oder einen Platz umsäumenden Gebäude reines Glühlampenlicht, Hochdruckquecksilberdampf-Leuchtstofflampen allein oder mit Glühlampen gemischt sowie Fluoreszenzlampen verwendet. Auf gewissen Plätzen sind bewusst alte Kandelaber und Leuchten mit Glühlampen hoher Leistung belassen worden (z. B. vor dem Hôtel de Ville). Häufig sind beidseits der Strasse, je nach Fahrbahnbreite, 9...12 m hohe Kandelaber mit HgL-Lampen von 400...700 W zu finden. Die Trottoirs werden dagegen mit solchen Lampen von 250 W Leistung, oft mit Glühlampen gemischt beleuchtet. Die Fluoreszenzröhren-Leuchten weisen meistens eine Bestückung von 3...5×65-W-Lampen auf.

Die Beleuchtung der neuen Autoroute du Sud, die Verbindung zum Flughafen von Orly, dürfte beim erstmaligen Durchfahren wohl jeden Autolenker beeindrucken. Die im mittleren Grünstreifen aufgestellten, 12 m hohen Doppelkandelaber, tragen Armaturen für je eine Quecksilberhochdruck-Leuchtstofflampe von 400 W (Lichtpunktabstände 40 m bei Betonbelag, 35 m bei Bitumenbelag; 37 lm/m² bzw. 42 lm/m²).

Nach Ansicht der Referenten wird man in zehn Jahren über die heute verwendeten Armaturen und deren Bestückung lächeln, so wie heute die um 1950 verwendeten Leuchten