

J. Rückert, F. Neubauer und C. Zietelmann\*

# **Einfluß von bituminösen Dachbelagsmaterialien auf das Korrosionsverhalten von Dachentwässerungssystemen aus Zink und verzinktem Stahl**

Bericht Nr. 91  
des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V.

Die Untersuchungen wurden von der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e. V. aus Mitteln des BMWi gefördert.

# Einfluß von bituminösen Dachbelagsmaterialien auf das Korrosionsverhalten von Dachentwässerungssystemen aus Zink und verzinktem Stahl

Influence of bituminous roof coverings on corrosion behaviour of roof draining systems made of zinc and galvanized steel

J. Rückert, F. Neubauer und C. Zietelmann\*

Bericht Nr. 91 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V.

In Freibewitterungs- und Laborversuchen wurde an einer größeren Anzahl verschiedener bituminöser Dachbelagsmaterialien festgestellt, daß sie zu Korrosionserscheinungen an Regenableitungssystemen aus Zink führen können. Das bereits im Regenwasser vorhandene Säurekorrosionsvermögen wird durch aus dem Bitumen stammende Säuren stark erhöht. Die Säurefreisetzung ist nahezu unabhängig von der Bitumenmatrix. Bei beschieferten bzw. lichtgeschützten Dachbahnen ist die Säureabgabe und damit das Korrosionsrisiko vermindert, jedoch nicht völlig ausgeschlossen. Lediglich alkalisierende, mineralische Beschichtungen, wie sie in einigen Fällen vorgefunden wurden, bieten einen ausreichenden Schutz vor Korrosionsschäden am Zink. Als weitere, wesentliche Einflußgrößen für das Auftreten von Korrosionsschäden sind das Dachflächen/Zinkflächenverhältnis und die individuellen Wasserablaufbedingungen anzusehen.

In long time weathering and laboratory tests on a number of different bituminous roof coating materials it was confirmed that they are the cause of damages on zinc roof draining systems. The acidic corrosion capacity of rain-water is very increased by the formation of acids in bituminous materials.

The formation of acids is almost independent of the different types of bituminous base materials, but can be reduced by adequate gravel or slate covering. But only alkaline mineral coverings, found in a few cases, give sufficient protection against corrosion of zinc.

Further important influence which cause corrosion damages is the relation of bituminous roof area to zinc area and the particular conditions of water draining.

## 1 Einleitung

Zink und verzinkter Stahl gelten seit langem als gut beständige Werkstoffe bei schwacher Korrosionsbelastung, wie sie u. a. durch Einwirkung der Atmosphäre gegeben ist. Die guten Gebrauchseigenschaften des Zinks beruhen auf der Fähigkeit, unter bestimmten Voraussetzungen Schutzschichten – an der Atmosphäre oxidisch-carbonatischer Natur – zu bilden, die trotz des unedlen Charakters des Zinks den Fortgang der Korrosion stark hemmen.

In den letzten Jahren wurden vermehrt Korrosionserscheinungen an Vorstoßblechen, Regenrinnen und Fallrohren aus Zink und verzinktem Stahl beobachtet, die in kurzer Zeit zur Zerstörung des Werkstoffes führen. Als Ursache hierfür wird einerseits die Ansäuerung des Regenwassers durch zunehmende Luftverschmutzung (Regenwasserkorrosion) diskutiert, auf der anderen Seite hat die Beobachtung, daß derartige Schäden häufig in Verbindung mit Dacheindeckungen auf

Bitumenbasis auftreten, zu dem Verdacht geführt, daß Bitumen ursächlich an der mangelnden Beständigkeit des Zinks beteiligt sein könnte. In diesem Zusammenhang ist die seit längerem bekannte Tatsache von Bedeutung, daß bei der Alterung des Bitumens wasserlösliche Abbauprodukte entstehen, die aufgrund ihres Säurecharakters die Schutzschichtbildung beeinträchtigen und zu einer erhöhten Korrosion führen können. Zurückgehend bis in die 30iger Jahre beschäftigten sich verschiedene Autoren mit dieser Fragestellung. In jüngerer Zeit sind von C. A. Witt und Mitarbeitern Veröffentlichungen erschienen, die eine umfassende Literaturübersicht [1] und Laboruntersuchungen [2] zur Säurebildung von Bitumen zum Inhalt haben. Wasserlösliche, auf Zink korrosiv wirkende Bestandteile aus Bitumenmaterialien können prinzipiell aus zwei Quellen stammen: Entweder aus Reaktionen, die an den originären Bitumenbestandteilen, also den Kohlenwasserstoffen während der Bewitterung ablaufen, oder aber aus Zusatzstoffen, die den Bitumina während des Herstellungs- oder Verarbeitungsvorganges zur Verbesserung der Anwendungseigenschaften zugesetzt werden. Recherchen bei Bitumenherstellern (Mineralölindustrie) und Dachbahnherstellern ergaben jedoch, daß aus Kostengründen lediglich eine Zugabe von anorganischen Füllmitteln zur Verbesserung der mechanisch-

\* Dr.-Ing. Joachim Rückert, Dipl.-Ing. Franz Neubauer, Dipl.-Ing. Christina Zietelmann, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Fachgruppe 1.3: Korrosion und Metallschutz, Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45

thermischen Eigenschaften des Bitumens erfolgt. Diese Feststellung steht im Einklang mit Angaben von C. A. Witt [2] und eigenen stichprobenartigen Überprüfungen des Untersuchungsmaterials, die keine Hinweise auf die Verwendung von Zusatz- oder Hilfsstoffen brachten. Daher kann davon ausgegangen werden, daß eventuell korrosive Reaktionsprodukte aus der eigentlichen Bitumenmatrix stammen.

## 2 Zielsetzung

Aufbauend auf vorhandenen Kenntnissen und Hinweisen aus der Literatur wurde der Gesamtkomplex der Untersuchungen in zwei Teilaufgaben gegliedert. In dem vorliegenden Teil war durch natürliche Freibewitterungs- und ergänzende Laborversuche die vermutete Relevanz der bei der Bitumenalterung entstehenden Reaktionsprodukte auf die Korrosion des Zinks zu klären. Ein zweiter, chemisch-analytischer Arbeitsteil diente parallel dazu dem Versuch, die entstehenden Stoffklassen zu identifizieren und quantitativ zu erfassen. Über eine Korrelation dieser Daten mit den Korrosionswerten sollte die Möglichkeit für eine Vorhersage der Korrosionsgefährdung durch ein bestimmtes Bitumen unter Anwendung eines Kurzzeitlaborverfahrens überprüft werden (AIF-Bericht Nr. 4002) [3]. Zur Durchführung des Vorhabens wurde eine größere Anzahl marktüblicher Dachbelagsmaterialien eingesetzt und als wesentliche Randparameter die unterschiedliche Herkunft des Bitumens und das Vorhandensein und die Art eines Oberflächenschutzes berücksichtigt.

## 3 Versuchsmaterialien

Hinsichtlich der Dachbelagsstoffe war einerseits ein möglichst weites Spektrum marktgängiger Materialien zu erfassen, andererseits mußte wegen der Vielzahl von Produkten und Herstellern eine sinnvolle Beschränkung – im vorliegenden Fall auf drei Produkte des Berliner Marktes – vorgenommen werden. Als am häufigsten eingesetzte Dachbahntypen erwiesen sich:

1. Bitumen-Schweißbahn mit Glasvlieseinlage V 60 S 4 DIN 52 131
2. Glasvlies-Bitumendachbahn V 13 DIN 52 143
3. Polyestervlies-Bitumendachbahn PV (zum Zeitpunkt der Beschaffung nicht genormt).

Demgemäß wurden diese drei Dachbahntypen von vier Berliner Firmen in den beiden üblichen, unterschiedlichen Oberflächenausführungen bezogen:

1. beschiefert
2. talkumiert und/oder feinbesandet.

Hierbei galt die Beschieferung als guter Oberflächen- und Lichtschutz, während der Talkumierung bzw. der Feinbesandung nur eine geringe Wirksamkeit gegen UV-Einstrahlung und Witterungseinflüsse zugemessen wurde. Entsprechend werden für die weitere Terminologie die Buchstaben

- m = mit Lichtschutz  
o = ohne Lichtschutz

verwendet. Zusätzlich zu den Dachbahnen wurde das von den einzelnen Firmen als Deckmasse verwendete Bitumen B 85/25, auch als Klebmasse bezeichnet, in die Untersuchungen einbezogen.

Als korrosionsbelastete metallische Werkstoffe waren für die Untersuchungen eine Zink-Kupfer-Titan-Legierung (im weiteren Zink genannt) und sendzimirverzinkter Stahl mit einer Zinkschichtdicke von 20–25 µm eingesetzt.

## 4 Freibewitterungsversuche

### 4.1 Versuchsaufbau und Meßprogramm

Für die Freibewitterungsversuche auf dem Gelände der BAM in Berlin-Dahlem wurden Bleche der Abmessungen 50 × 50 cm aus den beiden o. g. metallischen Werkstoffen mit einer Rinne versehen, mit der infrage kommenden Dachbedeckung beschichtet und in einer Neigung von 8° gegen Süden der natürlichen Bewitterung ausgesetzt. Durch einen aufgelegten Silikonkautschukwulst war eine einzelne Versuchsplatte derart unterteilt, daß eine Hälfte des über das Bitumen abfließenden Regenwassers in die Rinne geleitet wurde, während der andere Teil des Bitumenwassers ohne vorherigen Kontakt mit Zink in 125-ml-fassende Auffanggefäße gelangen konnte (Abb. 1). Nach dem Augenschein wurde an den Rinnen Art, Form und Ausmaß des Korrosionsangriffs geprüft. Die Auffanggefäße dienten dem Zweck, zum einen gravimetrisch den zeitlichen Massenverlust von dort eingelegten Zinkblechen zu bestimmen, zum anderen – ohne Zink – pH-Werte des entsprechenden Wassers zu messen. Sie waren so ausgebildet, daß sie nur eine Anfangsmenge des über das Bitumen abfließenden Wassers bis maximal 1 mm Regenhöhe aufnehmen konnten und enthielten im Fall der Massenverlustbestimmungen sechs Zinkbleche der Größe 15 × 40 × 0,8 mm. Nach einer Einwirkungsdauer von im Mittel 36 Stunden des jeweils frisch zugelaufenen Wassers auf die Zinkbleche wurden die Gefäße entleert und standen dann für eine erneute Befüllung zur Verfügung. Mit diesen Maßnahmen sollte ein Verdünnungseffekt bei den aus dem Bitumen gelösten Bestandteilen während länger anhaltender Regenfälle vermieden werden und eine ausreichende Zeit für die Reaktion des Bitumenwassers mit dem Zink vorhanden sein. Als Vergleichsgrößen für die Bitumenversuche dienten Anordnungen, bei denen statt der Bitumenbeschichtung Glasplatten verwendet wurden bzw. bei denen die Zinkbleche und die verzinkten Stahlbleche völlig unbedeckt belassen wurden.

Hinsichtlich der Bewitterungs- und Bestrahlungsbedingungen entspricht damit die Versuchsanlage den natürlichen, auch in der Praxis vorhandenen Gegebenheiten. Das gilt jedoch nicht für die absolute Größe der Bitumenoberfläche und für das Verhältnis der miteinander in Beziehung stehenden Bitumen- und Zinkflächen. In der Praxis ist mit einer um Größenordnungen höheren Dachbelagsfläche und einem entsprechend höheren Flächenverhältnis Bitumen/Zink zu rechnen. Die Beschränkung der Bitumenoberfläche war jedoch aus

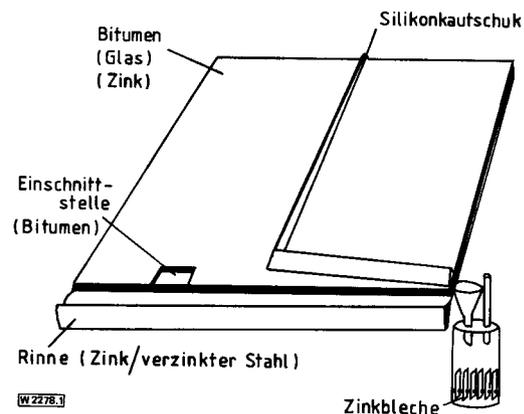


Abb. 1. Prüfstand für Freibewitterungsversuche  
Fig. 1. Test stand for outdoor weathering

Platz-, Zeit- und Kostengründen notwendig, da insgesamt 74 Versuchsstände zu betreiben und auszuwerten waren. Desweiteren ist bei den Massenverlustbestimmungen zu berücksichtigen, daß die fortschreitende zeitliche Entnahme der Zinkbleche eine sich in gleichem Maße vermindemde Gesamt-Zinkoberfläche bei gleicher einwirkenden Wassermenge zur Folge hat.

Aus den genannten Gründen – geringes Bitumen/Zink-Oberflächenverhältnis und ständige Abnahme der korrosionsbelasteten Zinkoberfläche – sind die Werte der Massenverlust-Zeit-Kurven nicht als praxisrelevant z. B. im Sinne möglicher Lebensdauerbetrachtungen anzusehen, sondern haben ihre Bedeutung als Kenngrößen im Vergleich Regenwasser/Bitumen mit Lichtschutz/Bitumen ohne Lichtschutz.

Die Gesamtdauer der Freibewitterungsversuche betrug 3 Jahre.

## 4.2 Versuchsergebnisse

### 4.2.1 Massenverlust-Zeit-Kurven

In den Abbildungen 2–6 sind die zeitlichen, flächenbezogenen Massenverluste der Zinkbleche für Regenwasser und typische Fälle der untersuchten Materialien B 85/25, V 60 S 4, V 13 und PV dargestellt. Jede Abbildung enthält das jeweilige Bitumenmaterial mit und ohne Lichtschutz; zusätzlich ist zum Vergleich der Massenverlustendwert für über eine Glasplatte abgelaufenes Regenwasser (RW) nach 3jähriger Laufzeit eingetragen.

Charakteristisch für alle Kurvenpaare und grundsätzlich auch für die anderen, nicht dargestellten Dachbelagsstoffe ist die Tatsache, daß das gleiche Bitumenmaterial ohne Lichtschutz regelmäßig zu höheren Massenverlusten als das lichtgeschützte führt. Des weiteren gilt, daß die Zinkabtragswerte

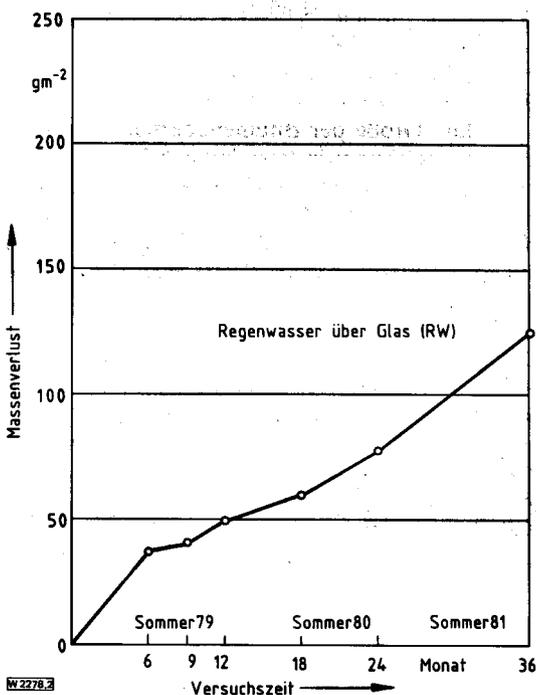


Abb. 2. Massenverlust-Zeit-Kurve von Zinkblechen bei Beanspruchung durch Regenwasser

Fig. 2. Mass loss per unit area of zinc sheets as a function of test duration (rain water)

durch Bitumen mit vorhandenem Lichtschutz in der Regel in der gleichen Größenordnung bzw. geringfügig über denen von Regenwasser liegen. Eine Ausnahme machen hierbei die Bitumina B 85/25 und die drei Dachbahnen V 13 m<sub>2</sub>, V 13 m<sub>3</sub> und V 60 S 4 m<sub>3</sub>\* (Abb. 7–9), deren Abtragswerte mit Lichtschutz unter denen des Regenwassers liegen. Die Ursache beim B 85/25 ist darin zu sehen, daß als Oberflächenschutz eine 5 cm hohe Kiesbeschichtung verwendet wurde. Durch das große Wasserrückhaltevermögen dieser Kiesschüttung wurden bei leichten Regenfällen die Auffanggefäße nicht oder nur unvollkommen befüllt, so daß die Zahl der Korrosionsereignisse am Zink geringer als in allen anderen Versuchen waren. Andere Ursachen dagegen sind bei den drei Dachbahnen anzunehmen, worauf später noch eingegangen wird. Aus dem Verlauf der Kurven entnimmt man weiterhin deutlich, besonders für Bitumina ohne Lichtschutz, daß in den Sommermonaten eine signifikant größere Korrosionsgeschwindigkeit als in den Wintermonaten auftritt. Dieser Effekt ist bei lichtgeschütztem Bitumen nicht so stark ausgeprägt, in der Regel jedoch vorhanden. Für das letzte Versuchsjahr stand nur noch eine Probe zur Verfügung, so daß hier, wie als Beispiel in den Abb. 4 und 9 skizziert, der Kurvenverlauf hypothetisch in zwei Teilbereiche aufgliedert vorzustellen ist. Der spezielle Kurvenverlauf ist in diesem Ausmaß nicht auf die im Winter verringerte Anzahl der Korrosionsereignisse und die wegen der geringeren Temperatur anzunehmende geringe Korrosionsgeschwindigkeit zurückzuführen, denn er wird bei Regenwasser (Abb. 2) nicht beobachtet. Vielmehr muß davon ausgegangen werden, daß tatsächlich die sommerlichen Witterungsbedingungen (stärkere UV-Einstrahlung) dafür verantwortlich sind.

### 4.2.2 Auswertung der freibewitterten Rinnen

Die dem abfließenden Wasser ausgesetzten Rinnen aus Zink zeigten in Abhängigkeit von der Art der Beschichtung der Regenablaufflächen ein unterschiedliches Erscheinungsbild. Bei einer völlig unbedeckten Ablauffläche aus Zink wurden nach dem Augenschein keinerlei Korrosionserscheinungen oder Ablaufspuren an den Rinnen beobachtet. Im Falle der Glasbedeckung konnten dagegen ebenso wie bei Bitumenbeschichtungen an den bevorzugten Ablaufstellen Verfärbungen und örtliche, korrosiv bedingte Oberflächenveränderungen festgestellt werden. Wegen des insgesamt sehr geringen Korrosionsangriffs war jedoch weder mit Hilfe von Dickenbestimmungen noch mit Oberflächenmeßtechniken eine Differenzierung in der notwendigen Genauigkeit möglich. Als wesentlich aussagekräftiger erwiesen sich die verzinkten Stahlbleche. Durch den Augenschein kann zwischen dem Freilegen der Legierungsphase und vollständigem Zinkabtrag bis zum Stahl (Aufreten von Rost) unterschieden werden. So wurden an den Rinnen, die ihr Wasser nach Ablauf über verzinkte Stahlbleche erhielten, keinerlei Korrosionserscheinungen festgestellt. Über eine Glasplatte abgelaufenes Wasser führte zu geringfügigem Korrosionsangriff, der nur im Einzelfall bis zur Legierungsphase reichte.

Bei bitumenbedeckten Regeneinfangflächen finden sich eindeutige Parallelen zu den Massenverlustwerten. Die nicht lichtgeschützten Dachbelagsarten führen grundsätzlich zu stärkerem Korrosionsangriff als die jeweils zugehörigen lichtgeschützten. Bei allen nicht lichtgeschützten Dachbelägen hat an den Wasserablaufstellen grundsätzlich ein vollständiger Zinkabtrag mit anschließender Rostbildung stattgefunden. Auffal-

\* Die Indizes kennzeichnen die Herstellerfirmen.

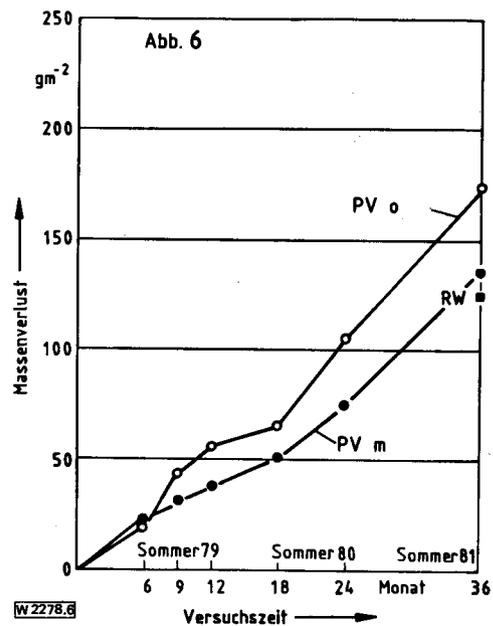
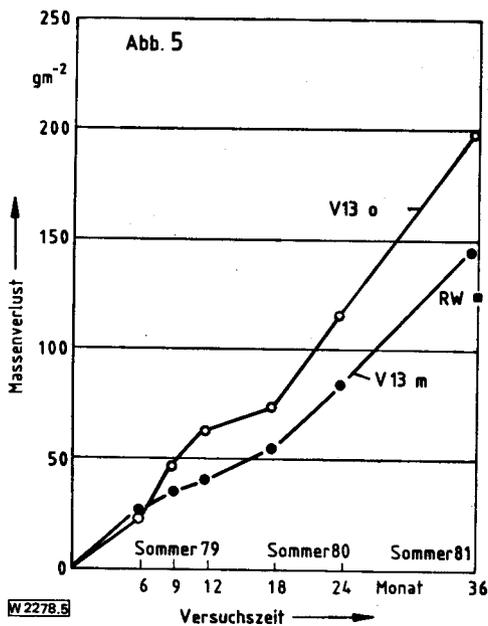
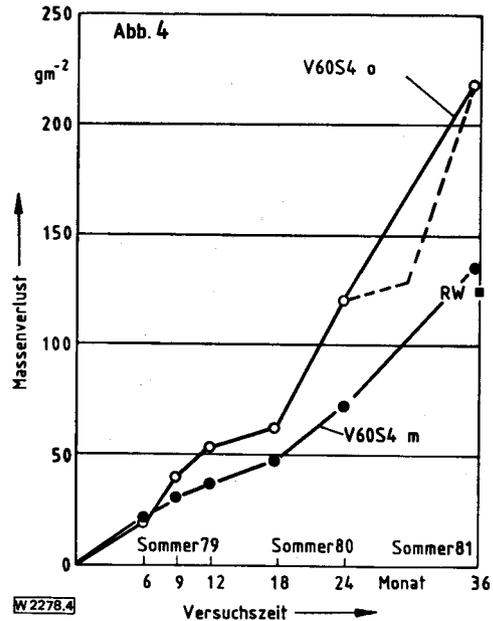
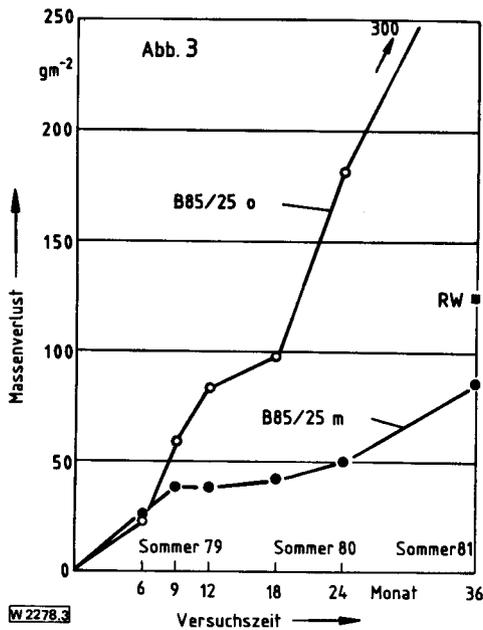


Abb. 3-6. Typische Beispiele von Massenverlust-Zeit-Kurven von Zinkblechen bei verschiedenen Dachbelagsmaterialien mit und ohne Lichtschutz

Fig. 3-6. Typical examples of mass loss/time curves as a function of different roof coverings

lind geringe Korrosionserscheinungen weisen wiederum die drei Dachbahnen V13 m<sub>2</sub>, V13 m<sub>3</sub> und V60S4 m<sub>3</sub> auf. Die typischen Verhältnisse an den Ablaufstellen gibt als Beispiel Abb. 10 wieder.

#### 4.2.3 pH-Werte von Regenablaufwässern

In zeitlichen Abständen wurde der pH-Wert der verschiedenen Dachwässer ohne Kontakt mit Zink bestimmt und nach Jahreszeit getrennt ausgewertet. Die Messungen erfolgten häufig, jedoch nicht nach jedem Regenfall, so daß sie den Charakter von Stichproben haben. Dennoch sind systematische Zusammenhänge klar erkennbar. Die pH-Werte über

Glas abgelassenen Regenwassers unterliegen starken Schwankungen. Im Sommer werden insgesamt saurere Wässer als im Winter festgestellt; die rechnerischen Mittelwerte der Einzelmessungen betragen für den Sommer 4,9 bei einer Schwankungsbreite von 4,3 bis 5,4 und im Winter 5,9, mit einer Schwankungsbreite von 5,6 bis 6,3. Den rechnerischen Mittelwerten kommt eine nur qualitative Bedeutung zu, da keine Gewichtung hinsichtlich der jeweiligen, zu den Einzelmessungen gehörenden Regenmenge vorgenommen wurde. Überlegungen zur möglichen Korrosivität sollten daher von der Tatsache ausgehen, daß Minimalwerte bei Regenwasser von 4,3 beobachtet wurden. Über einen Zeitraum von 3 Monaten gesammeltes Regenwasser ergab in seiner Mischung einen pH-Wert von 4,7. Wesentlich anders sehen die Verhältnisse für

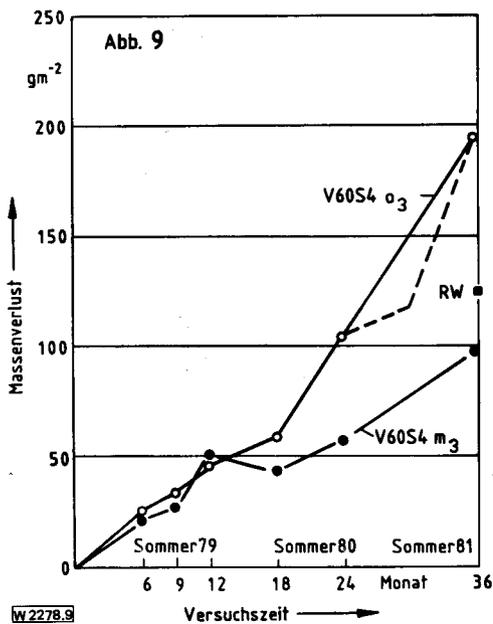
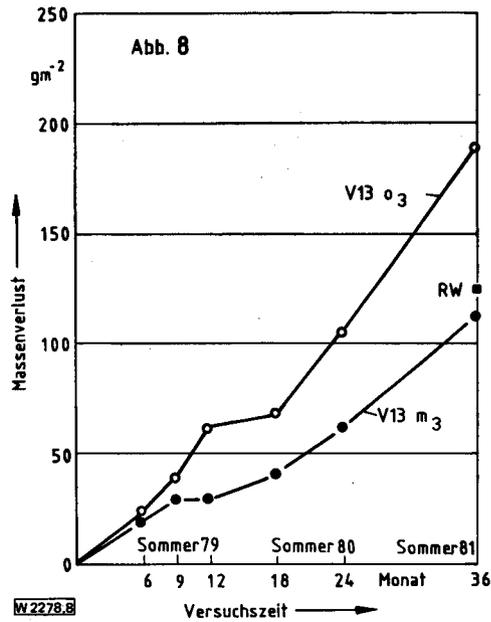
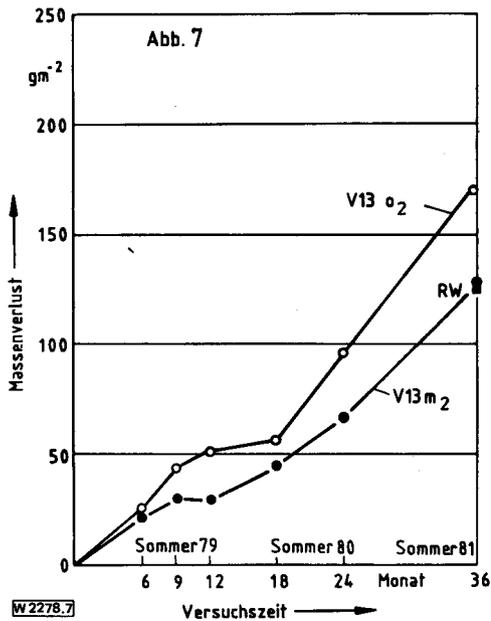


Abb. 7-9. Massverlust-Zeit-Kurven von Zinkblechen bei drei lichtgeschützten Dachbahnen mit besonders geringem Zinkabtrag  
 Fig. 7-9. Mass loss/time curves of zinc sheets with small zinc loss, contacted with three particular lightprotected roof coverings

alle Bitumenablaufwässer aus, wobei signifikante Unterschiede zwischen Sommer und Winter auftreten. Im Sommer werden grundsätzlich pH-Werte gemessen, die erheblich unter denen des Regenwassers liegen. Die Schwankungen der Einzelmessungen für ein Probematerial sind sehr gering und überschreiten nur ausnahmsweise 0,2 pH-Einheiten. In den Sommermonaten von Mai bis September wird diese Stabilität im pH-Wert des Auffangwassers nicht stark durch die vorhergehenden Witterungsbedingungen beeinträchtigt, wie Vergleichsmessungen nach sonnenscheinarmen und sonnenscheinreichen Witterungsperioden ergaben. Insoweit sind hier die durchschnittlichen pH-Werte von größerer Aussagekraft, da sie tatsächlich die permanente Eigenschaft des über ein

bestimmtes Bitumen abgelaufenen Wassers charakterisieren. Paarweiser Vergleich identischer Materialien mit und ohne Lichtschutz ergibt in der überwiegenden Zahl der Fälle einen nur um etwa 0,5 bis 0,7 Einheiten höheren pH-Wert beim Vorhandensein eines Lichtschutzes. Ausnahmen bilden die größeren pH-Wert-Erhöhungen bei B 85/25 m, die allerdings

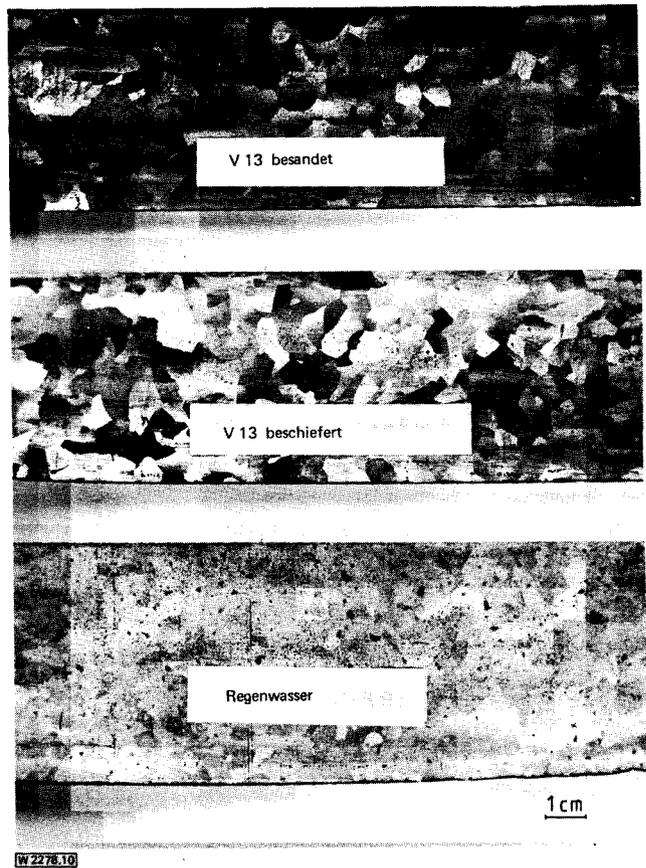


Abb. 10. Typische Beispiele der Ablaufbereiche verzinkten Stahls  
 Fig. 10. Typical examples of drain areas at galvanized steel

wegen der 5 cm hohen Kiesschüttung erheblich anderen Bewitterungsbedingungen ausgesetzt waren als die beschieferten Materialien und somit eher für die Eigenschaften von Regenwasser repräsentativ sind. Anders dagegen sind die drei Ausnahmen in der Gruppe der beschieferten Produkte zu beurteilen. Hierbei handelt es sich erneut um V13 m<sub>2</sub>, V13 m<sub>3</sub>, V60S4 m<sub>3</sub>, deren Ablaufwasser immer pH-Werte um 6 aufweisen. Mit diesen hohen pH-Werten stehen die niedrigen Massenverluste der Zinkbleche und die geringen Korrosionserscheinungen der zugehörigen verzinkten Dachrinnen im Einklang.

Im Winter werden als allgemeine Tendenz erheblich höhere pH-Werte als im Sommer festgestellt, wobei die prinzipiellen Unterschiede zwischen lichtgeschütztem und nicht lichtgeschütztem Material weitgehend verloren gehen.

Für über eine unbeschichtete Zinkfläche abgelauenes Regenwasser ergeben sich zu allen Jahreszeiten unabhängig von Ausgangszustand des Wassers pH-Werte zwischen 6 und 6,5. Ähnliche pH-Werte zwischen 5,5 und 6,5 findet man bei allen Bitumenablaufwässern nach ihrer Einwirkung auf die Probebleche der Massenverlustbestimmungen. Dieses Verhalten bedeutet Säurekorrosion des Zinks sowohl durch Regenwasser als auch durch Bitumenablaufwasser, da die Abnahme des pH-Wertes einer bestimmten zur Korrosion des Zinks verbrauchten Säuremenge äquivalent ist. Im Hinblick auf die pH-Wert-Änderung von etwa zwei Einheiten entspricht das einem nahezu vollständigen Verbrauch der ursprünglich vorhandenen Säure. Gegenüber Regenwasser führen die geringeren pH-Werte und damit höheren Säuremengen von Bitumenwässern zwangsläufig zu einem höheren zusätzlichen Anteil von Säurekorrosion an der vorhandenen „normalen“ atmosphärischen Korrosion. In Tabelle 1 sind die sommerlichen Durchschnitts-pH-Werte und ihr Minimum über die einzelnen Dachbelagsarten gemittelt angegeben, wobei die drei Dachbahnen V13 m<sub>2</sub>, V13 m<sub>3</sub>, V60S4 m<sub>3</sub> für die Durchschnittsbildung

Tabelle 1. Säurekennwerte  
Table 1. Characteristic acid values

Material	Freibewitterung (Sommer)		Säurekennzahl (Durchschnitt) ml 0,1 mol NaOH/m <sup>2</sup>
	Durchschnitts-pH-Wert (Minimum)	Durchschnitts-pH-Wert	
B 85/25 o	3,3 (3,2)	3,1	17,3
B 85/25 m	4,9 (4,8)	-	-
V 60S4 o	3,7 (3,6)	3,3	19,0
V 60S4 m	4,2 (4,0)	3,8	5,8
V 13 o	3,8 (3,7)	3,3	14,7
V 13 m	4,5 (4,2)	4,3	4,2
PV o	3,7 (3,6)	3,3	15,9
PV m	4,4 (4,2)	4,1	4,7
V 13 m <sub>2</sub>	6,3 (6,1)	6,5	0
V 13 m <sub>3</sub>	6,2 (6,0)	6,1	0
V 60S4 m <sub>3</sub>	6,2 (6,0)	5,2	0
Regenwasser/ Glas	4,9 (4,3)	-	-
Regenwasser/ Zink	6,5 (6,4)	-	-
Bitumenwasser/ Zink	5,5 (—)	-	-

nicht berücksichtigt wurden, sondern einzeln aufgeführt sind. Ferner enthält die Tabelle pH-Werte und Säurekennzahlen von Spülwässern aus Laborbewitterungsversuchen. Einzelheiten hierzu siehe [3]. Die pH-Werte der Laborspülwässer liegen trotz verschärfter Bestrahlungsbedingungen ziemlich genau um nur 0,2 bis 0,3 Einheiten unter den Minimalwerten der sommerlichen Dachwässer und zeigen in ihrer Gesamtheit die gleichen systematischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Dachbelagsarten.

Die Säuremengenbestimmungen an den Laborwässern mit Hilfe von Leitfähigkeitstitrations ergaben regelmäßig zwei Äquivalenzpunkte, die den Anteilen von stark und schwach dissoziierter Säure zuzuordnen sind. Tabelle 1 enthält die jeweiligen Mengen starker Säure ausgedrückt als Verbrauch von 0,1-molarer Natronlauge/m<sup>2</sup> bewitterter Bitumenoberfläche. Erwartungsgemäß besteht eine Übereinstimmung zwischen pH-Wert und Säuremenge in der Art, daß größere Säuremengen zu niedrigeren pH-Werten führen, wobei sich die drei Wässer mit den hohen pH-Werten durch das Fehlen jeglicher starker Säure auszeichnen. Die Beobachtung, daß beim Fehlen starker Säuren die schwachen Säuren einen pH-Wert um 6 bewirken, führt in Verbindung mit der Tatsache, daß alle über Zinkblech abgelauenen Regen- und Freibewitterungsbitumenwässer pH-Werte in dieser Größenordnung aufweisen, zu dem Schluß, daß die starken Säuren ein Maß für die Korrosivität eines Bitumenablaufwassers darstellen. Die Darstellung der Massenverlustendwerte der Probebleche nach dreijähriger Freibewitterung in Abhängigkeit von den in den Laborversuchen gefundenen Mengen starker Säuren ergeben im Rahmen gewisser Streubreiten die zu fordernde lineare Beziehung

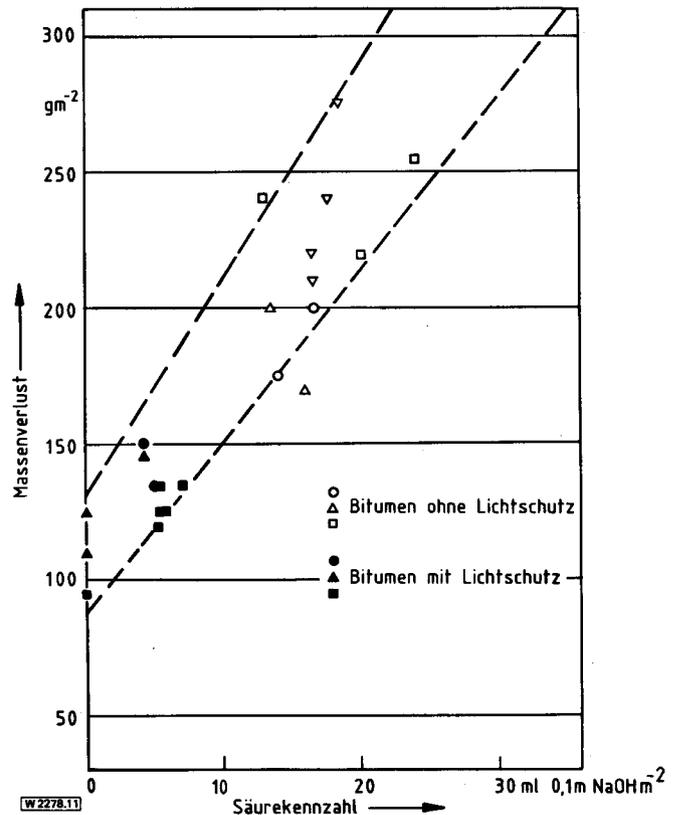


Abb. 11. Massenverlustendwerte von Zinkblechen in Abhängigkeit vom Gehalt an starken Säuren in Bitumenwässern

Fig. 11. Mass loss values after three years in dependence on strong acids in bituminous water

(Abb. 11). Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Säuremengenbestimmung liegt in der Beantwortung der Frage, ob Art, Herkunft, Herstellungsverfahren des Ausgangsbitumens oder Zusätze bei der Weiterverarbeitung zu Dachbahnen einen wesentlichen Einfluß auf das Korrosionsverhalten im späteren, praktischen Einsatz haben. Die pro Flächeneinheit unter den speziellen, aber immer gleichartigen Laborwitterungsbedingungen gebildeten Säuremengen [3] schwanken bei den 5 untersuchten B 85/25 o und den daraus hergestellten Dachbahnen ohne Lichtschutz – gleichgültig welchen Typs – mit  $\pm 30\%$  um einen als Standard anzusehenden Wert. Derartige geringe, bitumenspezifische Unterschiede der Säurebildung sind für die Praxis völlig ohne Belang. Differenzierter ist die Beurteilung der Verhältnisse bei den beschieferten Dachbahnen vorzunehmen. Hier ist die Bildung starker Säuren durchschnittlich zwar um den Faktor 3 gegenüber den Materialien ohne Lichtschutz herabgesetzt, aber auch eine solche Verminderung der oberflächenbezogenen Säurebildung kann nicht als entscheidend angesehen werden, wenn man – ohne Berücksichtigung der Vielzahl anderer korrosionsbegünstigender Randbedingungen an einem Dach – zum Beispiel nur bedenkt, daß sie durch eine um den gleichen Faktor größere Dachfläche kompensiert werden kann. Eine wirksame Verhinderung von Säurekorrosion ist nur dann mit der notwendigen Sicherheit gegeben, wenn die Abgabe starker Säuren vollständig unterdrückt wird. Dieser Fall mit den entsprechend günstigen Ergebnissen der Freibewitterungsversuche ist nur für die drei mehrfach genannten Dachbahnen gegeben.

## 5 Laborversuche

### 5.1 Allgemeines

Um die Ergebnisse der Freibewitterung abzurunden, wurden sowohl mit Regenwasser als auch mit Spülwasser laborbestrahlter Bitumenproben zusätzliche Korrosionsversuche unternommen. Zur Gewinnung von Laborspülwässern wurden in ihrer Größe immer gleiche Bitumenoberflächen einer künstlichen UV-Bestrahlung ausgesetzt, die einer 14tägigen sommerlichen Schönwetterperiode entspricht und anschließend mit einer bestimmten Wassermenge ausgelaugt (Einzelheiten siehe [3]).

Aus Langzeitlaborbewitterungsversuchen ist abzuleiten, daß in der Praxis nicht nach endlichen Zeiten mit einem Rückgang der Säurebildung zu rechnen ist.

### 5.2 Regenwasser

Nachdem die Freibewitterungsversuche Hinweise auf mögliche Säurekorrosion durch Regenwasser ergeben hatten, sollte ein annähernder Eindruck von Ausmaß und Erscheinungsform der Regenwasserkorrosion gewonnen werden. Um die beobachteten starken Schwankungen im pH-Wert auszugleichen und zu gemittelten Verhältnissen zu kommen, wurde über einen Zeitraum von drei Monaten Regenwasser aufgefangen und gemischt. Das als Mischwasser erhaltene Volumen von 5,5 l wies einen pH-Wert von 4,7 auf. Mit diesem Wasser wurden Korrosionsversuche derart durchgeführt, daß mit einer Frequenz von  $3 \text{ min}^{-1}$  auf ein 5 cm langes,  $8^\circ$  geneigtes Zinkblech ständig, mit Ausnahme der Wochenenden, getropft wurde. Durch die Unterbrechung war ein gewolltes zwischenzeitliches Abtrocknen des Bleches möglich.

Kurze Zeit nach Beginn der Versuche waren mit dem bloßen Auge Korrosionserscheinungen festzustellen, wobei sich ungleichmäßige, voluminöse, weiße Korrosionsprodukte an der Auftropfstelle und an der Fließspur bildeten. Das abfließende Wasser hatte einen pH-Wert von 5,5 bis 6,5, woraus ersichtlich ist, daß in den Kontaktzeiten der größere Teil der vorhandenen Säure Korrosion des Zinks bewirkt hat. Nach Verbrauch der Gesamtwassermenge nach etwa 2 Monaten wurden die Korrosionsprodukte entfernt und die angegriffenen Oberflächen mit einem Oberflächenmeßgerät untersucht. Anders als bei Säurekorrosion erwartet, ist der Angriff nicht gleichmäßig, sondern zeigt eine stark örtliche Komponente mit maximalen Angriffstiefen von  $250 \mu\text{m}$ . Somit ist denkbar, daß Regenwasser mit seinem Säuregehalt Korrosionsschäden an Zink hervorrufen kann. Daß in der Praxis dafür spezielle Randbedingungen, die vergleichbar mit denen des Laborversuches sind, vorliegen müssen (größere Regenwassermenge mit geringen Abflußgeschwindigkeiten und geringe Zinkflächen), zeigen die Ergebnisse der Freibewitterungsversuche an den unbedeckten, freiberegneten Zinkblechen. Das hierbei der Zinkfläche proportionale Säureangebot des Regenwassers reicht nicht aus für Korrosionsgeschwindigkeiten im Sinne zu befürchtender Schäden.

### 5.3 Bitumenwasser

Bei den in der Praxis vorstellbaren und auch auftretenden Korrosionsschäden sind für grundsätzliche Überlegungen zwei hypothetische Grenzfälle hinsichtlich der Medieneinwirkung zu unterscheiden.

1. Eine Zinkoberfläche wird durch (fließendes) Wasser mit niedrigem und während des Kontaktes mit dem Zink sich nicht veränderndem pH-Wert belastet. Dieser Ansatz geht von einem Überschuß des Mediums in einem solchen Maße aus, daß eine Verarmung an aggressiven Inhaltsstoffen (H-Ionen) während des Korrosionsvorganges nicht auftritt. Es gilt bevorzugt für senkrecht positionierte Zinkteile. In diesem Fall ist der langfristige Korrosionsabtrag des Zinks unabhängig von der korrosionsbelasteten Fläche und wird nur bestimmt durch die bei gegebenem pH-Wert konstante Korrosionsgeschwindigkeit in Verbindung mit der Dauer der Korrosionseinwirkung.
2. Eine Zinkoberfläche wird durch ein begrenztes Volumen säurehaltigen Wassers längerzeitig bis zum vollständigen Säureverbrauch belastet. Der Zinkabtrag hängt dann eindeutig von der Größe der Zinkfläche und der im einwirkenden Wasservolumen zur Verfügung stehenden Säuremenge ab. Dieser Fall hat für annähernd waagerechte Zinkflächen Bedeutung.

Für beide Korrosionsmöglichkeiten finden sich Beispiele in der Praxis, wobei naturgemäß bei langsam fließendem Wasser und damit teilweisem Säureverbrauch eine Überlagerung auftritt und eine Gewichtung der einzelnen Anteile nicht möglich ist. Fall 1 ist dann realisiert, wenn z. B. große Dachflächen mit bitumengestrichenen Traufblechen und Rinnen vorliegen. Ein derartiger Bitumenanstrich wird aus Korrosionsschutzgründen bereits häufig eingesetzt. Hierbei konzentriert sich die Gesamtmenge abfließenden Regenwassers mit gegebenem pH-Wert ohne vorherigen Kontakt mit anderen Zinkteilen auf möglicherweise nur wenige Fallrohre. In der Anfangszeit eines Regenfalles ist daher zumindest für die oberen Bereiche der Fallrohre mit einer ständigen Beanspruchung durch gleichmäßig saures Wasser zu rechnen. Demzufolge werden starke

Schäden an den Einläufen der Fallrohre beobachtet. Fehlt der Bitumenanstrich von Rinnen und Traufblechen, verlagern sich die Schäden zu bevorzugten Ablaufbereichen an den Traufblechen, die durch geometrische Besonderheiten des Daches und insbesondere durch Bitumentropfnasen vorgegeben und stabilisiert sind. Natürlich ist korrigierend zu berücksichtigen, daß nach länger anhaltenden Regenfällen das Säurereservoir einer bestimmten Bitumenoberfläche zunächst erschöpft ist bzw. daß bei sehr intensiven Regenfällen von vornherein eine starke Verdünnung der Bitumensäure auftritt.

Korrosionserscheinungen nach Art des Falles 2 werden hervorgerufen, wenn geringe Feuchtigkeitsmengen durch Betauung oder kurzzeitigen, leichten Regen keinen eindeutigen Fließzustand des Wassers herstellen. Es kommt zu langsamen Abtropfvorgängen von den Dachkanten und zur Lachenbildung im tiefsten Bereich der Rinnen. Die Kontaktzeiten zwischen Zink und saurem Wasser sind ausreichend für eine vollständige Reaktion der vorhandenen Säure, so daß häufig die tiefsten Stellen der Rinnen Ort von Perforationen sind.

Bei den Freibewitterungsversuchen entsprechen die Massenverlustbestimmungen an den Zinkblechen mit stagnierendem Auffangwasser annähernd dem Korrosionsfall des vollständigen Säureverbrauchs; das Korrosionsgeschehen an den Ablaufstellen der Rinnenbleche dagegen ist vergleichbar mit dem Fall des fließenden Wassers, das während des Korrosionsvorganges seinen Säuregehalt nicht wesentlich ändert. Den beiden skizzierten Korrosionsmöglichkeiten sollte in den folgenden Laborversuchen nachgegangen werden.

### 5.3.1 Elektrochemische Messungen

In der Literatur ist verschiedentlich über Säurebildung an Bitumen durch UV-Einstrahlung berichtet worden. Es wurden wäßrige Auszüge von Bitumenoberflächen hergestellt und niedrige pH-Werte bis etwa 3 gemessen. Daraus ist regelmäßig, aber teilweise unkritisch eine starke Aggressivität gegen Zink abgeleitet worden. Ein derartiger Schluß ist jedoch ohne direkte Nachprüfung am Zink zweifelhaft. Bei einem System Metall/Säure ist nicht notwendigerweise eine einfache Beziehung zwischen pH-Wert und Auflösungsgeschwindigkeit gegeben. Vielmehr sind genügend Ausnahmen bekannt, bei denen spezifische Eigenschaften der Säurelösung in Verbindung mit spezifischen Eigenschaften des Metalls die Säurekorrosion infolge Passivierung, Deckschichtbildung oder Inhibition stark hemmen bzw. vollständig unterdrücken. Hinsichtlich der sauren Bitumenwässer mit ihren Gehalten an komplexen organischen Bestandteilen war es daher nicht abwegig, die Möglichkeit einer Inhibition der Säurekorrosion in Betracht zu ziehen und zu versuchen, Korrosionsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom pH-Wert und vom Bitumenmaterial zu bestimmen.

Wegen der geringen, jeweils zur Verfügung stehenden Menge an Bitumenwasser und der für eine Messung der pH-Wert-abhängigen Korrosionsgeschwindigkeit notwendigen Konstanz des pH-Wertes während der Messung konnten keine Dauerversuche am Zink mit Massenverlustproben vorgenommen werden. Stattdessen wurde eine elektrochemische Bestimmung des Polarisationswiderstandes durchgeführt, der unter bestimmten Voraussetzungen ein Maß für die Korrosionsgeschwindigkeit darstellt. Der Polarisationswiderstand wurde zum Zeitpunkt des ersten Kontaktes Zink/Bitumenwasser gemessen und sein Verlauf über 24 h während des langsam steigenden pH-Wertes verfolgt. Diese Versuche erfolgten sowohl an Laborwässern als auch an solchen aus der Freibewitterung. Da die Ergebnisse mit allen anderen bisherigen

übereinstimmen und gleichartige Zusammenhänge aufzeigen, wird hier auf eine Einzeldarstellung verzichtet. Wesentlich ist, daß die Polarisationswiderstände proportional den pH-Werten sind. Hinweise auf eine geringfügige Inhibition der Säurekorrosion bei Bitumenwässern wurden zwar gefunden, innerhalb der verschiedenen Bitumensorten traten jedoch keine merkbaren Unterschiede auf, so daß tatsächlich für alle Bitumenwässer eine gleichartige und ausschließlich vom pH-Wert abhängige Korrosionsgeschwindigkeit vorzuliegen scheint.

### 5.3.2 Labordauerversuche

Zur weiteren Ergänzung der bisher erhaltenen Erkenntnisse wurden mit einer Dachbahn V13 o Massenverlust-Dauerversuche durchgeführt, bei denen bewußt ein zwischenzeitlicher Säureverbrauch angestrebt wurde. Hierzu wurde dieselbe Probe der Dachbahn (Größe 230 cm<sup>2</sup>) 48 h in ständig sich wiederholendem Rhythmus UV-bestrahlt und nach jeder Einzelbestrahlung mit 50 ml Wasser ausgelaugt. Mit der wäßrigen Lösung wurden Zinkbleche 48 Stunden beaufschlagt, anschließend getrocknet, ohne Entfernung der eventuell vorhandenen Korrosionsprodukte gewogen und erneut der Einwirkung von frischem Bitumenwasser ausgesetzt. Die Massenverluste von 4 Versuchsreihen dieser Art mit unterschiedlicher Größe der Zinkprobenbleche von 60 cm<sup>2</sup>, 20 cm<sup>2</sup>, 10 cm<sup>2</sup> und 0,5 cm<sup>2</sup> sind in Abb. 12 dargestellt, wobei als ein Korrosionszyklus die 48stündige Beanspruchung durch Bitumenwasser mit der zugehörigen Unterbrechung für die Wägung gilt. Zum Ende der Versuchsreihen wurden die Proben abgebeizt, um eine Aussage zur gebildeten Deckschichtmasse zu bekommen. Weiterhin wurde vor und nach jedem Korrosionszyklus der pH-Wert des Bitumenwassers bestimmt. Die Ausgangs-pH-Werte lagen immer bei 2,6 bis 2,8 und erreichten in Abhängigkeit von der Größe der Zinkproben Endwerte von etwa 6 bei

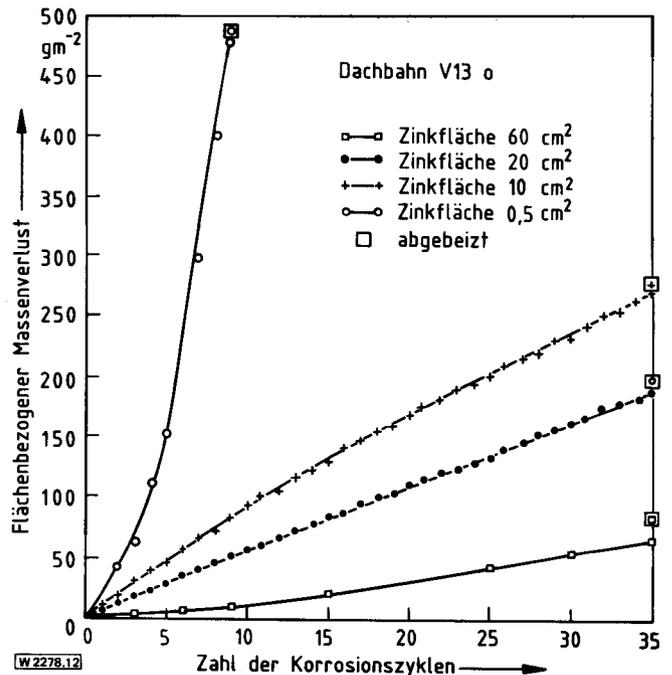


Abb. 12. Flächenbezogener Massenverlust verschieden großer Zinkflächen in Abhängigkeit von der Zahl der Korrosionszyklen

Fig. 12. Mass loss per unit area of zinc sheets with different areas as a function of the number of corrosion periods

60 und 20 cm<sup>2</sup> Fläche, 4,5 bei 10 cm<sup>2</sup> und nur 3,2 bis 3,4 bei 0,5 cm<sup>2</sup>. Dementsprechend findet man hinsichtlich des Zinkabtrags umgekehrte Proportionalität zu den Flächenverhältnissen der Zinkproben mit 20 und 60 cm<sup>2</sup>. Bei 10 und 0,5 cm<sup>2</sup> ist die Flächenabhängigkeit des Zinkabtrags weiterhin deutlich erkennbar; die direkte Beziehung geht jedoch verloren, da ein quantitativer Säureverbrauch innerhalb von 48 h nicht mehr stattfindet. Ähnlich verhalten sich die flächenbezogenen Deckschichtmassen, die bei 60 cm<sup>2</sup> am höchsten sind. Hier treten nach kürzeren Zeiten höhere pH-Werte auf, die die Bildung festhaftender Korrosionsprodukte im Verlauf der nach dem Säureverbrauch weiter stattfindenden Sauerstoffkorrosion zulassen. Im Gegensatz dazu werden bei 0,5 cm<sup>2</sup> Zinkfläche und End-pH-Werten wenig, über 3 keine meßbaren Korrosionsproduktmengen festgestellt. Die Absolutwerte der flächenbezogenen Massenverluste, besonders der kleinen Probe, geben einen anschaulichen Eindruck von den in der Praxis möglichen Korrosionsschäden am Zink, wenn man – auch unter Berücksichtigung nicht so extremer Einwirkungszeiten und -bedingungen – bedenkt, daß das in den Versuchen vorliegende Säureangebot nur einer Bitumenoberfläche von 230 cm<sup>2</sup> entstammt, Bitumendächer dagegen Größen von mehreren tausend Quadratmetern haben können.

#### 5.4 Untersuchung der Beschieferung

Nachdem die grundsätzliche Rolle der durch Bewitterungs- und Alterungsvorgänge entstehenden Bitumensäuren für die Korrosion des Zinks geklärt war, fiel als Detailfrage die spezifische Bedeutung einer Beschieferung für die Säurebildung und -freisetzung an. Klammert man die dickbekiesten B 85/25-Proben aus, waren insbesondere die drei beschieferten Dachbahnen V 13 m<sub>2</sub>, V 13 m<sub>3</sub> und V 60 S 4 m<sub>3</sub> von Interesse, die sich bei allen Untersuchungen als Ausnahmen erwiesen. Aus den Werten der Freisetzung starker Säuren bei Laborbewitterung (s. Tabelle 1) war zu entnehmen, daß durch eine Beschieferung allgemein nur ein gradueller Schutz gegen Witterungseinflüsse und eine mäßige Hemmung der Reaktionsvorgänge erwartet werden kann. Das günstige Verhalten der drei Dachbahnen, gekennzeichnet durch das völlige Fehlen starker Säure im Spülwasser, mußte auf andere Ursachen zurückzuführen sein. Es lag dabei nahe, der Frage einer alkalisierenden, d. h. säurebindenden Wirkung der Oberflächenbeschichtung nachzugehen. Derartige Überlegungen im Zusammenhang mit Bitumenkorrosion am Zink sind nicht neu und wurden u. a. von G. Schikorr [4] geäußert, jedoch offenbar in der Praxis nicht beachtet!

In drei Versuchsreihen wurden 400cm<sup>2</sup>-Abschnitte von sieben beschieferten Dachbahnen und einer besandeten Dachbahn mit je 1 l Salzsäure unterschiedlicher Konzentration (10<sup>-4</sup>, 5 × 10<sup>-4</sup>, 10 × 10<sup>-4</sup> molar) versetzt und in ruhender Lösung die zeitliche Änderung des pH-Wertes in diskreten Messungen verfolgt. Die durch die Salzsäurekonzentrationen vorgegebenen Anfangs-pH-Werte von 4, 3,3 und 3 lagen dabei in der Größenordnung derer von Bitumenwässern. Hierbei zeigte sich, daß nur die drei Dachbahnen V 13 m<sub>2</sub>, V 13 m<sub>3</sub> und V 60 S 4 m<sub>3</sub> im Verlauf von wenigen Stunden zu pH-Werten um 8 führten. Da das augenscheinlich besondere Merkmal der schnell neutralisierenden Dachbahnen die Beschichtung mit einer feinkörnigen Beschieferung war – im Gegensatz zu allen anderen Bahnen mit Grobbeschieferung – wurden weitere Versuche zur Reaktionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Korngröße durchgeführt. Hierzu wurde von den Bahnen V 13 m<sub>1</sub>, V 13 m<sub>4</sub> die Beschieferung von 400 cm<sup>2</sup> Oberfläche

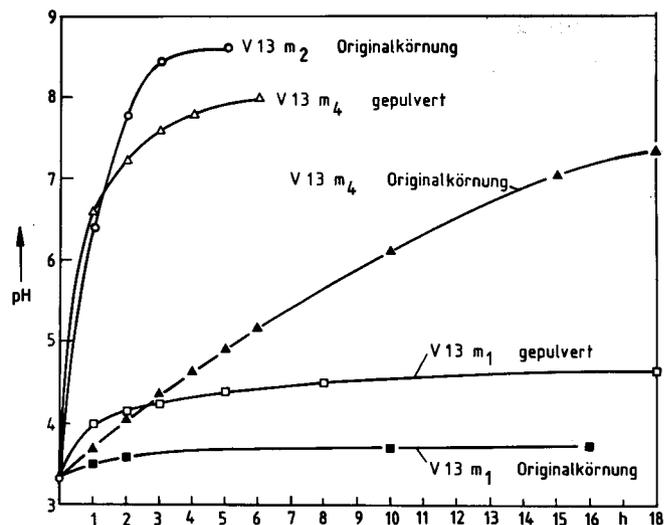


Abb. 13. Zeitliche Veränderung des pH-Wertes einer  $5 \cdot 10^{-4}$  molaren Salzsäure in Abhängigkeit von Art und Korngröße der Beschieferung  
Fig. 13. Change in time of the pH value of a  $5 \cdot 10^{-4}$  M hydrochloric acid in dependence of type and grain size of the slates

isoliert und jeweils im Originalzustand der Körnung und fein gepulvert mit  $115 \times 10^{-4}$  molarer Salzsäure versetzt. Unter ständigem Rühren wurde kontinuierlich der pH-Wert verfolgt. Als Vergleich diente abgelöster Schiefer in Originalkörnung der schnell neutralisierenden Bahn V 13 m<sub>2</sub>. Der zeitliche Verlauf der pH-Werte ist in Abb. 13 dargestellt. Man erkennt, daß bei V 13 m<sub>4</sub> offenbar Alkalitätsreserven vorhanden sind und eine wesentliche Beschleunigung der Neutralisationsreaktionen durch Vergrößerung der Oberfläche zu erreichen ist. Dagegen ist bei V 13 m<sub>1</sub> infolge des Fehlens ausreichender Alkalitätsmengen auch im gepulverten Zustand eine Neutralisation der Säure nicht möglich.

Eine Abschätzung der Alkalitätsreserven einer günstigen, neutralisierenden Dachbahn ergab eine langjährige Wirksamkeit, sofern nicht mechanisch-erosive Vorgänge die Beschichtung vorzeitig zerstören. Damit wird klar, daß das Problem der Bitumenkorrosion über die Art der mineralischen Beschichtungsstoffe wirksam zu lösen ist. Hierzu bedarf es keiner neuen Materialien oder weiterer Zusätze, denn wie die Untersuchungen zeigen, sind geeignete Stoffe auf dem Markt vorhanden. Als Kriterium einer Auswahl wären lediglich die Alkalitätsmenge und die Neutralisierungskinetik zu berücksichtigen.

#### 6 Zusammenfassung

Bei kritischer Würdigung und Wichtung aller aus Labor- und Freibewitterungsversuchen erhaltenen Ergebnisse und aus Schadensfällen abgeleiteten, allgemeinen Erfahrungen entsteht folgendes Bild zu den praktischen Fragen der Bitumenkorrosion:

Regenwasser selbst kann aufgrund seiner gelegentlich zu beobachtenden niedrigen pH-Werte, die allerdings zeitlich und örtlich sehr schwanken, Säurekorrosion an Zink hervorrufen. Die Wahrscheinlichkeit für daraus resultierende Schäden ist gering und wird nur in Sonderfällen ein merkbares Ausmaß annehmen. Das Auftreten von Schäden in der Praxis ist dann denkbar, wenn extreme Voraussetzungen solcher Art gegeben sind, daß große Regenmengen konzentriert und ständig über

kleine Zinkflächen fließen. Das beim Regenwasser bereits von Fall zu Fall vorhandene Säurekorrosionsvermögen kann durch Kontakt mit Bitumenoberflächen stark erhöht werden. UV-Einstrahlung und Feuchtigkeit führen bei Bitumen zur Bildung starker, wasserlöslicher Säuren. Die pro Flächeneinheit unter gleichen Bewitterungsbedingungen freigesetzten Säuremengen sind für die untersuchten Bitumensorten nahezu unabhängig von Herkunft, Art, Herstellungsverfahren und Verarbeitungszustand. Die Säurebildung durch Alterungsprozesse gehört damit zu den spezifischen Bitumeneigenschaften. Mit Bitumen ohne Lichtschutz gedeckte Dächer bilden ein starkes Korrosionsrisiko für Dachentwässerungssysteme aus Zink. Die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß von Schäden werden durch die speziellen konstruktiv-geometrischen Gegebenheiten (Dachfläche, Dachneigung, Regenablaufverhältnisse, beanspruchte Zinkfläche usw.) des Einzelfalles stark beeinflusst. Aufbringen eines Lichtschutzes in Form einer mineralischen Beschichtung unterdrückt nur unvollständig die Primärreaktion der Säurebildung. Zwar ist die Korrosionsgeschwindigkeit dadurch in gewissem Maße vermindert, die große Zahl sonstiger Einflußgrößen, insbesondere die von Dachfläche und Konstruktion herrührenden, können diesen günstigen Effekt jedoch kompensieren.

Eine zuverlässige Verhinderung von Korrosion ist erst dann gegeben, wenn die trotz Lichtschutzes gebildeten Bitumensäuren bereits beim Lösungsvorgang quantitativ durch alkalisie-

rende Bestandteile des Beschichtungsmaterials neutralisiert werden. Beschichtungsmaterialien mit diesen Eigenschaften sind auf dem Markt und wurden bei drei der untersuchten Dachbahnen vorgefunden. Maßnahmen zur Verhinderung von Korrosionserscheinungen sind daher nicht auf die Bitumenmatrix zu beziehen, sondern können nur darin bestehen, grundsätzlich das Aufbringen eines Lichtschutzes mit bestimmten alkalisierenden Eigenschaften anzustreben.

Das Forschungsvorhaben wurde von der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e. V. aus Mitteln des BMWi gefördert.

## 7 Schrifttum

1. C. A. Witt, D. Haller: Korrosionsverhalten von Zink Bd. 4, „Verhalten von Zink in Verbindung mit bituminösen Baustoffen“, Hrsg. Zinkberatung e. V., Düsseldorf 1976.
2. C. A. Witt, St. Tenbrock: „Oxidationssäurekorrosion durch Dachdeckungsbitumen“, *Werkst. Korros.* 31 (1980) 21-27.
3. J. Kuschel, AIF-Bericht, Nr. 4002, Teil 2
4. Untersuchungsbericht der Zinkberatung e. V. Düsseldorf, „Korrosion und Bitumen“, von G. Schikorr, Düsseldorf, 1967.

(Eingegangen: 27. 1. 1983)

W 2278