

## **Ionen Permeabilität**

**Eine schnelle und aussagekräftige  
Test Methode für  
Korrosionsschutzbeschichtungen**

## **Ionen Permeabilität**

### **Eine schnelle und aussagekräftige Testmethode für Korrosionsschutzbeschichtungen**

- 1.0. Einleitung.
- 1.1. Bedeutung von Strukturporen.
- 1.2. Ionen Permeabilität als Maß für den Ionen Transport durch den Beschichtungsfilm.
- 1.3. Messung der Ionen Permeabilität.
- 2. Untersuchungsergebnisse.
  - 2.1. Einfluss der Temperatur.
  - 2.2. Einfluss der Elektrolytkonzentration.
  - 2.3. Einfluss der Spannung zwischen Anode und Kathode.
  - 2.4. Einfluss der Anzahl an Einzelschichten.
  - 2.5. Einfluss der Gesamtschichtdicke.
  - 2.6. Einfluss der Materialzusammensetzung
  - 2.7. Vergleich von 5 verschiedenen Korrosionsschutzmaterialien
  - 2.8 Zusammenhang zwischen Ionen Permeabilität und Salzsprühnebeltest
- 3.0. Zusammenfassung
- 4.0. Anhang

## 1.0. Einleitung

Unter Korrosion versteht man die Zerstörung von Stoffen durch chemische oder elektrochemische Einwirkungen von der Oberfläche aus.

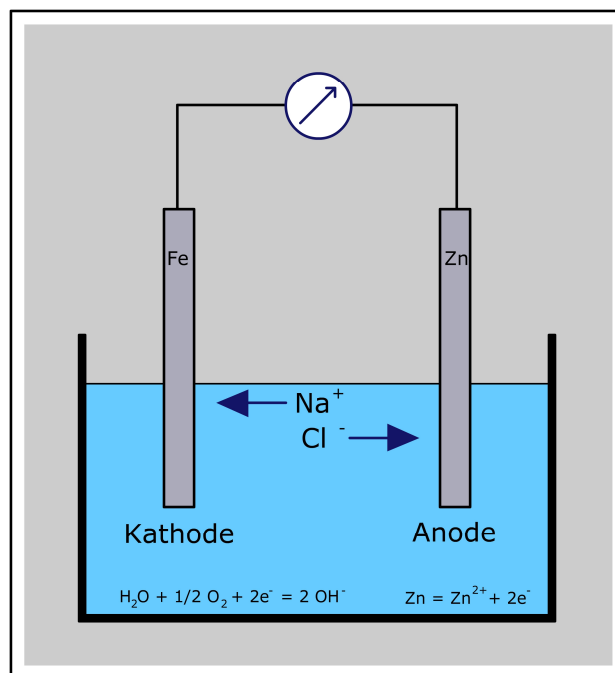
Beim Angriff von Stoffen ohne Ionen Leitfähigkeit, z.B. Gasen, tritt **chemische Korrosion** auf.

Beim Angriff von Stoffe mit Ionen Leitfähigkeit, z. B. Elektrolyte, tritt **elektrochemische Korrosion** auf.

Sie ist die häufigste Form der Korrosion und läuft unter Beachtung von physikalisch-chemischen Grundregeln ab.

1. Elektrischer Strom kann nur in einem geschlossenen Stromkreis fließen.
2. Ein abgeschlossener Raum ist chemisch und elektrisch neutral

Bei der schematischen Darstellung von einem Korrosionselement, in diesem Beispiel mit einer Zink Anode und einer Eisen Kathode, sind die entscheidenden Möglichkeiten für den Korrosionsschutz durch Beschichtungen sichtbar.



An der Kathode werden Wasser, Sauerstoff und Elektronen, zur gleichen Zeit benötigt, damit die Kathodenreaktion ablaufen kann.

**Fehlt eine Komponente, findet keine Korrosion statt.**

An trockener Luft, hier fehlt das Wasser, rostet der Stahl nicht.

In 100 m Wasser Tiefe, hier fehlt der Sauerstoff, rostet Stahl auch nicht.

Wenn Elektronen an der Kathode fehlen rostet der Stahl auch nicht.

Elektronen gelangen als Ionen von der Anode, durch den Elektrolyten, zur Kathode. Wird dieser Weg versperrt, im Fall der Darstellung zum Beispiel

durch eine Glasplatte zwischen Anode und Kathode, ist der Korrosionsstromkreis unterbrochen und es findet keine Korrosion vom Zink statt.

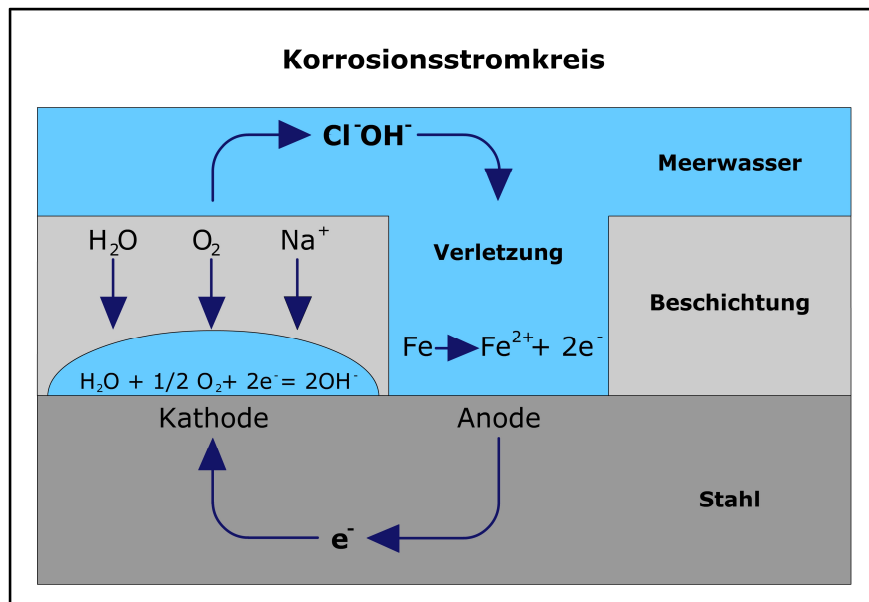
Das ist in erster Linie die Wirkungsweise einer Korrosionsschutzbeschichtung. Sie verhindert unterschiedlich gut, je nach Qualität, die Wanderung von Kationen zur Kathode und ist als elektrischer Widerstand im Korrosionsstromkreis zu sehen.

Die entscheidende Eigenschaft einer Korrosionsschutzbeschichtung ist also, im Korrosionsstromkreis einen möglichst hohen elektrischen Widerstand darzustellen.

Kunstharze, als Bindemittel von Korrosionsschutzbeschichtungen, sind allgemein gute Isolatoren für den elektrischen Strom weil sie keine elektrisch leitfähigen Substanzen enthalten.

Unter bestimmten Bedingungen können diese Stoffe aber als Leiter 2.Klasse auftreten und den Strom über Ionen Transport leiten.

Eine Korrosionsschutzbeschichtung z. B. bei einem Schiff ist, zumindest im Unterwasserbereich, ständig mit Wasser belastet. Das Seewasser erhält ca. 3% gelöste Salze. An mechanischen Beschädigungen der Beschichtung ist der Stahl freigelegt und wirkt als Anode während der unversehrte Bereich der Beschichtung die Kathode bildet. Anode und Kathode sind über den Stahl elektrisch verbunden. Geschlossen wird der Korrosionsstromkreis über den Querschnitt der Beschichtung und das Meerwasser.



Folgende physikalisch-chemischen Vorgänge finden hier statt: Wasser und Sauerstoff diffundieren durch den Beschichtungsfilm zur Stahloberfläche. Dies geschieht größtenteils über Lösungsdiffusion durch das Bindemittel der Korrosionsschutzbeschichtung. Auf der Stahloberfläche trifft das Wasser auf wasserlösliche Verunreinigungen, die mehr oder weniger auf

jeder Oberfläche vorhanden sind, löst diese auf und bildet so unter der Beschichtung eine kleine, mit Elektrolyt gefüllte Blase. In dieser Elektrolytzelle kann die Kathodenreaktion, der Verbrauch der an der Anode freiwerdenden Elektronen, stattfinden.

Bei dieser Darstellung wird die Funktion der Korrosionsschutzbeschichtung als elektrischer Widerstand im Korrosionsstromkreis deutlich.

Die Potentialdifferenz zwischen Anode (freigelegter Stahl) und Kathode (beschichteter Stahl) bewirkt eine Wanderung von Anionen durch den Elektrolyten zur Anode und von Kationen durch die Beschichtung zur Kathode. Die an der Anode freiwerdenden Elektronen fließen über den Stahl zur Kathode und schließen so den Stromkreis.

Kationen benötigen für diese Wanderung durch einen Beschichtungsfilm, im Gegensatz zu Wasser und Sauerstoff, ausschließlich Kanäle, also Poren und die sind in einer Korrosionsschutzbeschichtung mehr oder weniger ausgeprägt vorhanden. Ein Beschichtungsfilm ist heterogen aufgebaut und enthält eine Vielzahl von makroskopischen und mikroskopischen Poren sowie Strukturporen. **4.1.**

## 1.1 Bedeutung von Strukturporen

Wegen ihrer Häufigkeit haben Strukturporen in einer Beschichtung den größten Anteil am Ionen Transport. Ihr Gehalt ist vom Vernetzungsgrad und von der Ordnung der Kettenmoleküle, von der Art und der Menge der eingesetzten Füllstoffe und Pigmente und von der Art und Menge der eingesetzten Lösemittel, also von der Zusammensetzung des Beschichtungsmaterials, abhängig.

Makroskopische und mikroskopische Poren sind weitgehend verarbeitungsbedingt und häufig selbst Ausgangspunkt von Korrosionsvorgängen.

## 1.2 Ionen Permeabilität als Maß für den Ionen Transport durch einen Beschichtungsfilm

Ein Maß für den Ionen Transport durch einen Beschichtungsfilm ist die Ionen Permeabilität **IP** [ Mol./Zeit x Fläche ]

Sie gibt an, wie viel Mol Ionen während einer Zeiteinheit durch eine Flächeneinheit Beschichtungsfilm hindurch wandern und ist abhängig von:

- Der herrschenden Temperatur.
- Der Elektrolytzusammensetzung.
- Der Spannung zwischen Anode und Kathode.
- Der Anzahl an Einzelschichten der Beschichtung
- Der Gesamtschichtdicke der Beschichtung
- Der Zusammensetzung des Beschichtungsmaterials

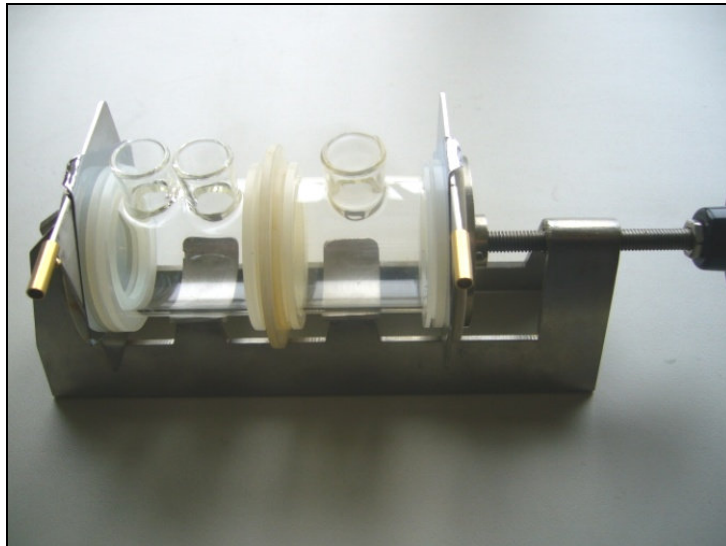
Aus der Ionen Permeabilität **IP** können der Stromfluss im Korrosionsstromkreis, der elektrische Widerstand der Beschichtung und der spezifische

Widerstand als qualitätsabhängiger Kennwert ( acp value ) des Beschichtungsmaterials errechnet werden.

<b>Stromfluss in Ampere</b>	<b><math>I = IP \times 1 \text{ Faraday} \times \text{Fläche}</math></b>
<b>elektrischer Widerstand in Ohm</b>	<b><math>R = U : I</math></b>
<b>spezifischer Widerstand in Ohm x cm</b>	<b><math>R_{\text{spez.}} = R \times \text{Fläche} : \text{Schichtdicke}</math></b>
	<b><math>R_{\text{spez.}} = \text{acp value}</math></b>

### 1.3 Messung der Ionen Permeabilität

Eine neue Messmethode für die Ionen Permeabilität von Korrosionsschutzbeschichtungen, bei der, bis auf die Materialzusammensetzung, alle Abhängigkeiten konstant gehalten werden, liefert mit vertretbarem Aufwand in kurzer Zeit, die reine Messzeit beträgt ca.10 - 200 Stunden ,je nach Qualität der Beschichtung, objektive Zahlenwerte für **IP** aus denen die weiteren elektrischen Kennwerte der Beschichtung berechnet werden können.



Die Messzelle zur Messung der Ionen Permeabilität besteht aus zwei, durch den zu untersuchenden, substratfreien Beschichtungsfilm getrennte und mit Elektrolyt gefüllte Räume. In beiden Räumen befinden sich jeweils Platin-Elektroden die an eine Spannungsquelle mit der gewählten Prüfspannung angeschlossen sind. Im Kathodenraum wird während der Messung laufend der pH-Wert gemessen.

Für jedes neu gebildete OH Ion im Kathodenraum ist ein einwertiges Kation vom Anodenraum durch den Beschichtungsfilm in den Kathodenraum gewandert.

Aus dem PH Wert, der Messfläche und dem Messzeitraum berechnet sich dann die Ionen Permeabilität. **4.2.**

## **2.0. Untersuchungsergebnisse**

Mit dieser neuen Methode wurden die anfangs angesprochenen Abhängigkeiten mit folgenden Ergebnissen untersucht.

### **2.1 Einfluss der Temperatur**

Die Untersuchung der Temperaturabhängigkeit ergab bei steigenden Temperaturen eine Zunahme der Ionen Permeabilität. **4.3.**

### **2.2 Einfluss der Elektrolytkonzentration**

Untersuchungen bei unterschiedlichen Elektrolytkonzentrationen ergab eine Zunahme der Ionen Permeabilität mit steigender Konzentration an gelösten Salzen. **4.4.**

Eine Bestätigung dieser Zusammenhänge aus der Praxis ist die Tatsache, dass die Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe 2 Zulassungen für Korrosionsschutzbeschichtungen und zwar eine für Binnengewässer mit einem geringen korrosiven Angriff und eine für Meerwasser mit einem starken korrosiven Angriff unterscheidet.

Ganz extrem ist der korrosive Angriff im Toten Meer mit einem Salzgehalt von ca. 22%. Hier ist kaum Schifffahrt möglich, weil nur wenige Beschichtungen dem korrosiven Angriff, aufgrund ihrer geringen Ionen Permeabilität, standhalten.

### **2.3 Einfluss der Spannung zwischen Anode und Kathode**

Bei unterschiedlichen Spannungen ergaben die Untersuchungen eine Zunahme der Ionen Permeabilität bei steigenden Spannungen. **4.5.**

### **2.4 Einfluss der Anzahl an Einzelschichten**

Bei den Untersuchungen der Abhängigkeit der Ionen Permeabilität von der Anzahl der Einzelschichten wurde eine starke Abnahme der Ionen Permeabilität mit der Zunahme an Einzelschichten gefunden. **4.6.**

Dieser Einfluss ist wohl der stärkste und er bestätigt, dass Ionen über Poren durch einen Film wandern, denn jede weitere Einzelschicht verschließt einen Teil der Poren und reduziert so die Ionen Permeabilität.

Diese Abhängigkeit zeigt weiter, dass die Ionen Permeabilität, anders als die Wasserdampf- und Sauerstoffdurchlässigkeit, deutlich beeinflussbar ist.

Eine zusätzliche Schicht verringert die Ionen Permeabilität ca. um den Faktor 10.

## **2.5 Einfluss der Schichtdicke**

Die Gesamtschichtdicke hat einen Einfluss auf den elektrischen Widerstand der Beschichtung. Bei gleichem Beschichtungsmaterial besitzt eine Beschichtung mit einer höheren Schichtdicke einen höheren elektrischen Widerstand als eine Beschichtung mit einer geringeren Schichtdicke

## **2.6 Beispiele für den Einfluss der Materialzusammensetzung**

Mit den durchgeführten Untersuchungen konnten beispielsweise folgende Einflüsse auf die Ionen Permeabilität aufgezeigt werden:**4.7.**

Einfluss der Lösemittelzusammensetzung bei einer EP Beschichtung  
Einfluss der Bindemittelzusammensetzung bei einer EP Beschichtung  
Einfluss der Pigmentzusammensetzung bei einer EP Beschichtung  
Einfluss der Pigmentbenetzung bei einer EP Beschichtung  
Einfluss der Einbrenntemperatur bei einem Einbrennlack.

## **2.7 Vergleich von 5 verschiedenen Korrosionsschutzbeschichtungen**

Um die Aussagefähigkeit der Ionen Permeabilitäts Messungen zu testen wurden 5 verschiedene Korrosionsschutzmaterialien nach der neuen Methode vergleichend untersucht. **4.8.**

Zunächst zeigen die Untersuchungen deutliche Unterschiede zwischen den 5 Korrosionsschutzmaterialien. Weiter fiel bei diesen Untersuchungen auf, dass lösemittelfreie Produkte, obwohl sie nur in zwei Lagen aufgetragen wurden, eine geringere Ionen Permeabilität besaßen als die in vier Lagen aufgetragenen, lösemittelhaltige Produkte was auf einen Zusammenhang zwischen Lösemittelgehalt und Gehalt an Strukturporen eines Beschichtungsmaterials schließen lässt.

## **2.8 Zusammenhang zwischen der Ionen Permeabilität und dem Salzsprühnebeltest.**

Eine geringe Ionen Permeabilität ergibt einen hohen elektrischen Widerstand und der entspricht einer langen Laufzeit im Salzsprühnebeltest. **4.9.**

Alle hier gefundenen Zusammenhänge decken sich mit den Erfahrungen aus der Praxis.

## **3.0. Zusammenfassung**

Die angeführten Untersuchungsergebnisse zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Ionen Permeabilität und den korrosions-



schützenden Eigenschaften von Beschichtungen, und sie machen die Sensibilität der neuen Messmethode deutlich, was speziell bei der Abhängigkeit der Ionen Permeabilität von der Materialzusammensetzung **4.7.** zum Ausdruck kommt.

Diese neue Messmethode ermöglicht mit relativ geringem Aufwand eine schnelle und objektive Aussage zur Qualität von Korrosionsschutzbeschichtungen. Andere Prüfverfahren wie z. B. der Salzsprühnebeltest benötigen einen höheren Aufwand oder dauern wesentlich länger.

Weiter liefert die Messung der Ionen Permeabilität im spezifischen Widerstand erstmals einen qualitätsabhängigen Kennwert den **acp value** ( anticorrosive property value ) für ein Korrosionsschutz-Beschichtungsmaterial.

## **4.0. Anhang**

- 4.1. Einteilung der Poren in einer Beschichtung
- 4.2. Beispiel für eine Messung der Ionen Permeabilität
- 4.3. Abhängigkeit der Ionen Permeabilität von der Temperatur
- 4.4. Abhängigkeit der Ionen Permeabilität von der Elektrolytkonzentration
- 4.5. Abhängigkeit der Ionen Permeabilität von der Prüfspannung
- 4.6. Abhängigkeit der Ionen Permeabilität von der Anzahl an Einzelschichten
- 4.7. Abhängigkeit der Ionen Permeabilität von der Materialzusammensetzung
- 4.8. Vergleich von 5 verschiedenen Korrosionsschutzmaterialien
- 4.9. Zusammenhang zwischen dem elektrischen Widerstand einer Korrosionsschutzbeschichtung und dem Ergebnis aus dem Salzsprühnebelprüfung.

## Einteilung von Poren in einer Beschichtung

Nach Dr. K. Weinmann, Stuttgart

### Art der Poren

### durchlässig für:

#### ***Makroskopische Poren***

Durchmesser > 100µm

Elektrolyte und kleine Teilchen

#### ***Mikroskopische Poren***

Durchmesser 100 – 1 µm

Elektrolytlösungen größerer Moleküle

#### **Strukturporen**

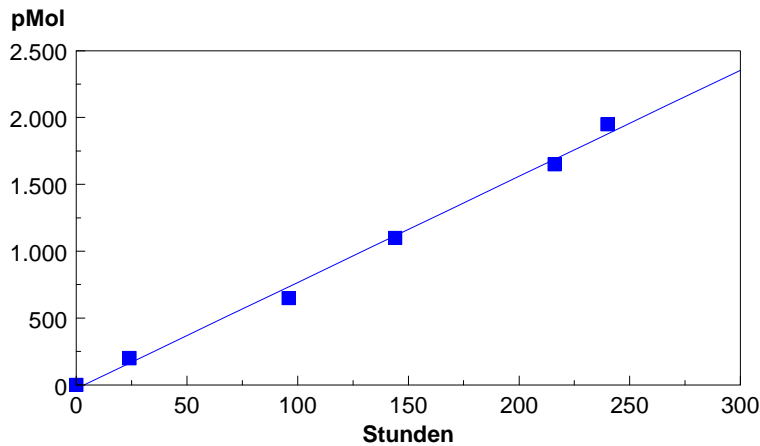
Durchmesser < 1 µm

Lösungen von Stoffen mit kleinen Molekülen

## 4.2.

Beispiel für eine **IP** Messung

Probe:	lösemittelfreie EP Beschichtung
Messfläche:	9,6 cm <sup>2</sup>
Elektrolyt:	5%ige Natriumchloridlösung
Treibspannung:	650 mV
Temperatur:	23 °C
Filmdicke:	0,0344 cm



Diese Messung lieferte schon nach 100h einen linearen Anstieg der Kurve. Die weiteren 150 h Messzeit bestätigen den Anstieg.

$$\text{IP} = \frac{2250 \text{ pMol}}{300 \text{ h} \times 9,6 \text{ cm}^2} = 0,78 \text{ piko Mol / h} \times \text{cm}^2$$

Aus **IP** errechnet sich dann der Stromfluss während der Messung,

$$I = 0,78 \text{ pMol / h} \times \text{cm}^2 \times 26,8 \times 10^{-12} \text{ Ah / pMol} \times 9,6 \text{ cm}^2$$

$$I = 2 \times 10^{-10} \text{ A}$$

der Widerstand der Korrosionsschutzbeschichtung während der Messung

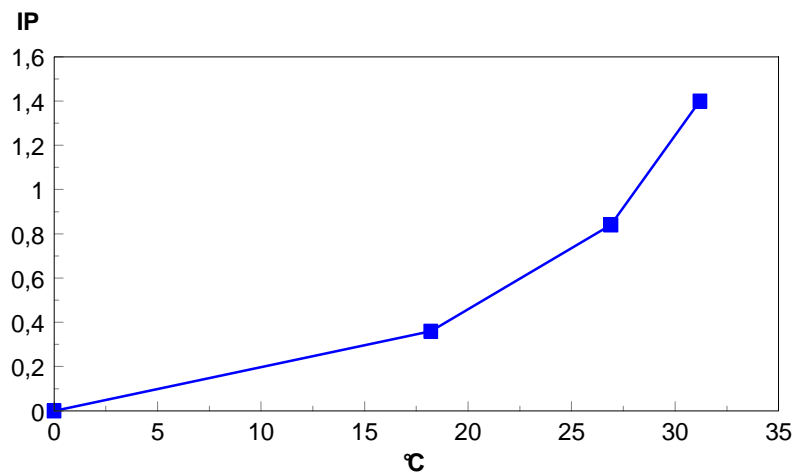
$$R = \frac{650 \text{ mV}}{2,0 \times 10^{-10} \text{ A}} = 3,3 \times 10^9 \text{ Ohm}$$

und der spezifische Widerstand als qualitätsabhängiger Kennwert des Beschichtungsmaterials

$$R_{\text{spez.}} = \frac{3,3 \text{ giga Ohm} \times 9,6 \text{ cm}^2}{0,0344 \text{ cm}} = 0,92 \times 10^{12} \text{ Ohm} \times \text{cm} = \text{acp value}$$

## 4.3.

## Abhängigkeit der Ionen Permeabilität IP von der Temperatur



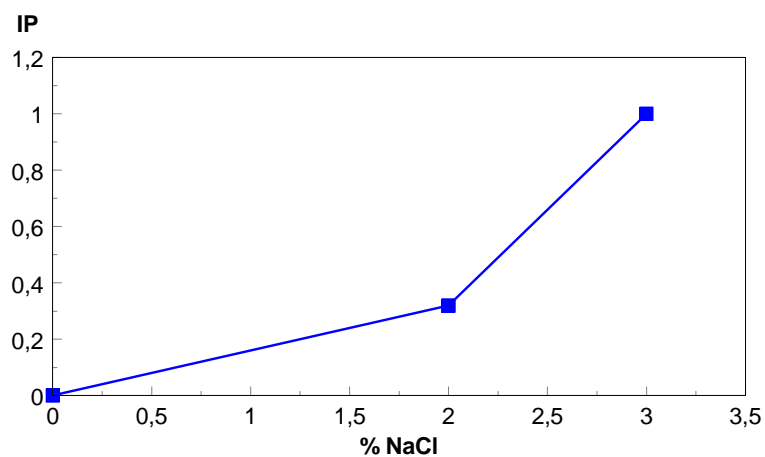
Untersucht wurde ein 308 µm dicker, zweilagiger Korrosionsschutzanstrich auf Epoxidharz – Basis, lösemittelfrei.

Messwerte:

0°C	IP = praktisch 0 pMol/hxcm <sup>2</sup>
18,2°C	IP = 0,36 pMol/hxcm <sup>2</sup>
26,9°C	IP = 0,84 pMol/hxcm <sup>2</sup>
31,2°C	IP = 1,4 pMol/hxcm <sup>2</sup>

## 4.4.

## Abhängigkeit der Ionenpermeabilität IP von der Elektrolytkonzentration



Untersucht wurde ein zweimalig aufgetragenes, lösemittelarmes Korrosionsschutzmaterial auf der Basis einer Epoxidharz - Kohlenwasserstoffharz – Kombination.

Messwerte:

0 % NaCl ( dest. Wasser )

**IP** = praktisch 0 pMol/hxcm<sup>2</sup>

2 % NaCl

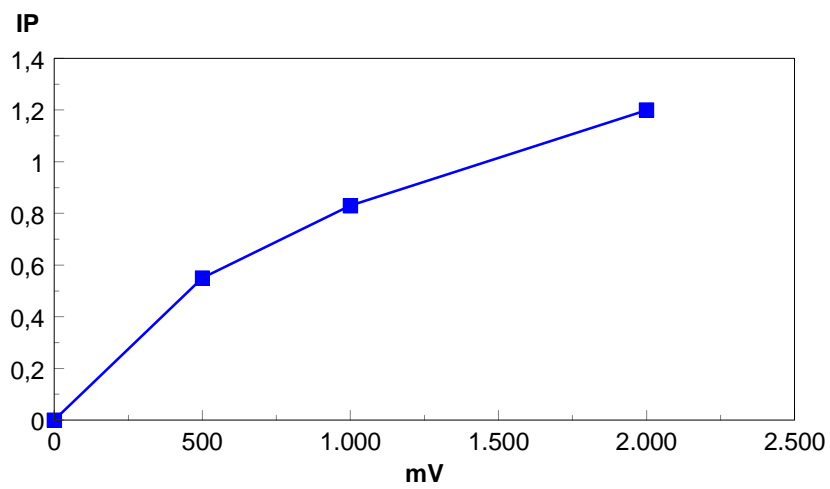
**IP** = 0,32 pMol/hxcm<sup>2</sup>

3% NaCl

**IP** = 1,0 pMol/hxcm<sup>2</sup>

## 4.5.

## Abhängigkeit der Ionen Permeabilität IP von der Spannung zwischen Anode und Kathode

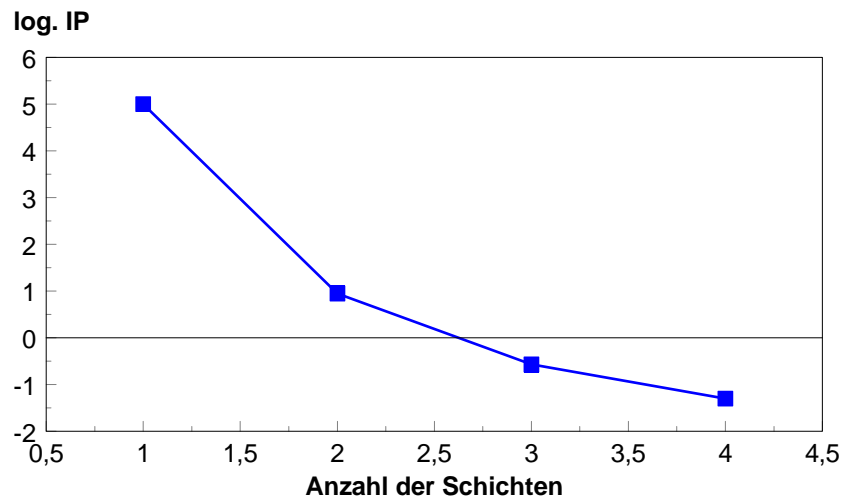


Untersucht wurde ein Korrosionsschutzmaterial auf Epoxidharz Basis, mit einem Lösemittelgehalt von 3 %, mit Aminen gehärtet und vierlagig aufgetragen.

Messwerte:

2000 mV	<b>IP</b> = 1,2 pMol/hxcm <sup>2</sup>
1000 mV	<b>IP</b> = 0,83 pMol/hxcm <sup>2</sup>
500 mV	<b>IP</b> = 0,55 pMol/hxcm <sup>2</sup>
0 mV	<b>IP</b> = 0 pMol/hxcm <sup>2</sup>

### Abhängigkeit der Ionen Permeabilität IP von der Anzahl an Einzelschichten



Untersucht wurde ein lösemittelarmes Korrosionsschutzmaterial auf der Basis einer Epoxidharz – Kohlenwasserstoffharz – Kombination.

Messwerte:

In einer Schicht  $IP = 100000 \text{ pMol/hxcm}^2$

In zwei Schichten  $IP = 9,0 \text{ pMol/hxcm}^2$

In drei Schichten  $IP = 0,27 \text{ pMol/hxcm}^2$

In vier Schichten  $IP = 0,046 \text{ pMol/hxcm}^2$

### Abhängigkeit von IP von der Materialzusammensetzung am Beispiel einer lösemittelhaltigen EP Beschichtung

#### Abhängigkeit vom eingesetzten Lösemittel

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| a. Mit optimalem Löser als Lösemittel       | IP = 26 pMol/hxcm <sup>2</sup>  |
| b. Mit nicht optimalem Löser als Lösemittel | IP = 500 pMol/hxcm <sup>2</sup> |

#### Abhängigkeit von der Pigmentbenetzung

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| a. Ein frisch angesetztes Material               | IP = 50 pMol/hxcm <sup>2</sup>  |
| b. Ein mit Additiven frisch angesetztes Material | IP = 8,6 pMol/hxcm <sup>2</sup> |
| c. Ein 2 Jahre altes Rückmuster                  | IP = 2,2 pMol/hxcm <sup>2</sup> |

#### Abhängigkeit von der Wasserlagerung bei zum Teil wasserlöslichen Pigmenten

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| a. Nach einem Tag Lagerung in dest. Wasser  | IP = 0,064 pMol/hxcm <sup>2</sup> |
| b. Nach zwei Tagen Lagerung in dest. Wasser | IP = 0,079 pMol/hxcm <sup>2</sup> |
| c. Nach fünf Tagen Lagerung in dest. Wasser | IP = 0,16 pMol/hxcm <sup>2</sup>  |
| d. Nach elf Tagen Lagerung in dest. Wasser  | IP = 5,9 pMol/hxcm <sup>2</sup>   |

#### Abhängigkeit der Bindemittelzusammensetzung

- |                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| a. Stamm A mit Härter B gehärtet | IP = 18 pMol/hxcm <sup>2</sup>    |
| b. Stamm A mit Härter C gehärtet | IP = 210 pMol/hxcm <sup>2</sup>   |
| c. Stamm A mit Härter D gehärtet | IP = 0,18 pMol/hxcm <sup>2</sup>  |
| d. Stamm B mit Härter D gehärtet | IP = 0,069 pMol/hxcm <sup>2</sup> |

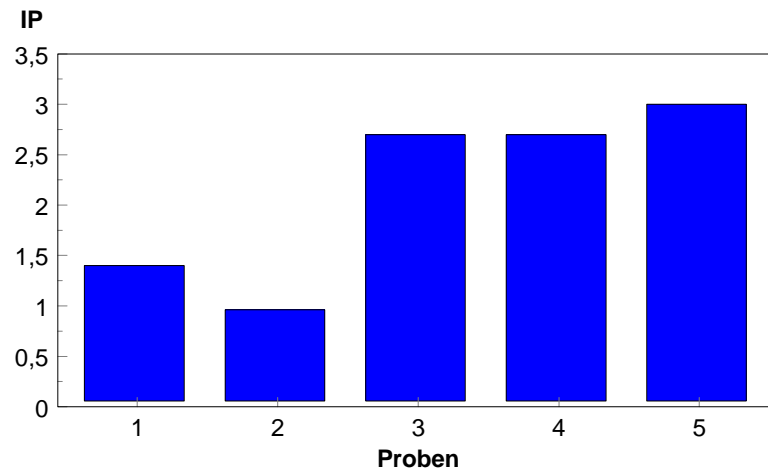
#### Abhängigkeit von der Einbrenntemperatur bei einem MF Einbrennlack

- |                             |                                     |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| a. 120°C Einbrenntemperatur | IP = 180000 pMol/hx cm <sup>2</sup> |
| b. 165°C Einbrenntemperatur | IP = 21000 pMol/hxc m <sup>2</sup>  |



## 4.8.

## Vergleich von 5 verschiedenen Korrosionsschutzmaterialien

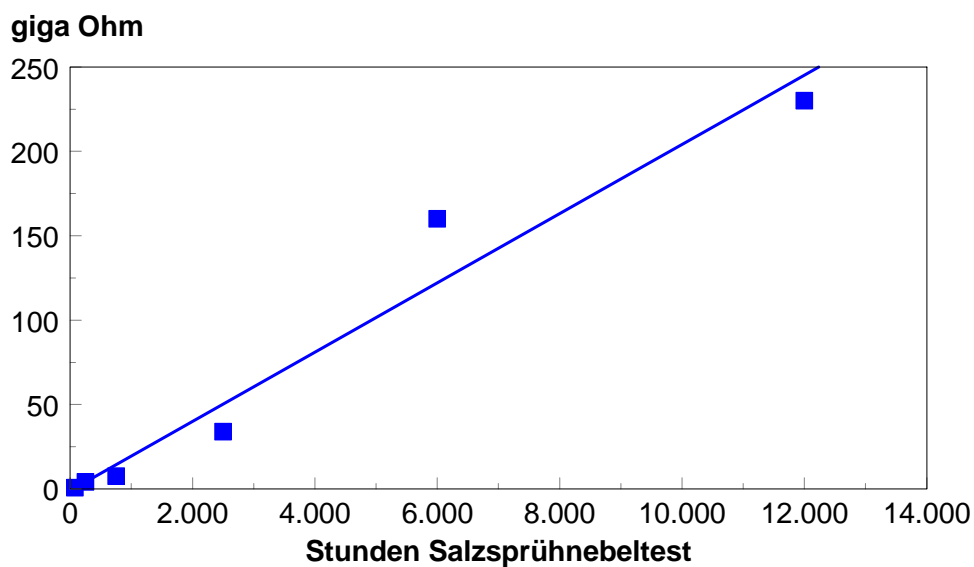


Messwerte:

Probe 1	EP-KW-Kombination, lösemittelfrei, zweischichtig <b>IP = 1,4 pMol/hxcm<sup>2</sup></b>
Probe 2	EP-Beschichtungsmaterial, lösemittelfrei, zweischichtig <b>IP = 0,96 pMol/hxcm<sup>2</sup></b>
Probe 3	EP-KW-Kombination, lösemittelfrei, Wasser emulgierend, vierschichtig <b>IP = 2,7 pMol/hxcm<sup>2</sup></b>
Probe 4	EP-Beschichtungsmaterial, lösemittelhaltig, vierschichtig <b>IP = 2,7 pMol/hxcm<sup>2</sup></b>
Probe 5	EP-KW-Kombination, lösemittelarm, vierschichtig <b>IP = 3,0 pMol/hxcm<sup>2</sup></b>

## 4.9

### Zusammenhang zwischen dem elektrischen Widerstand einer Korrosionsschutzbeschichtung und dem Ergebnis aus dem Salzsprühnebeltest



Salzsprühnebeltest [ h ]	Elektrischer Widerstand [ giga $\Omega$ ]
80	0,74
250	4,1
750	7,5
2500	34
6000	160
12000	230

Die Kurve ist statistisch noch nicht abgesichert, zeigt aber grob den Zusammenhang.

## Literatur

- 1.. *J. K. WIRTH* Über die Korrosion des Eisens unter Schutzfilmen  
Archiv für Metallkunde Heft 10 Oktober 1947 S. 445 - 448 und 452 - 454
2. *Dr. Alfred Labrenz* Elektrokinetische Effekte bei der Korrosion beschichteter und polarisierter Metallflächen(1)  
Farbe und Lack 76. Jahrg. Nr.10 1970 S.977 - 988
3. *Prof. Dr. W. Funke* Einwirkung von Wasser auf den Anstrichfilm  
Schiff und Hafen, Heft 8/1970, 22. Jahrgang S. 761 - 765
4. *Dr. Peter Kresse* Untersuchungen über den Mechanismus der Blasenbildung  
Farbe und Lack 72. Jahrg. Nr. 12 1966 S. 1179 - 1190
5. *Dr. Helmut Haagen* Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Permeabilität und Unterrostungstendenz von Beschichtungen  
defazet . 31. Jahrgang . Nr 10/1977 S. 401 - 408
6. *Martin Stratmann, Ralf Feser und Armin Leng* Korrosionsschutz mit organischen Beschichtungen  
Farbe + Lack 100. Jahrgang .2/1994 S. 93 - 99
7. *Dr. Ernst Eberius* Über die gegenseitige Beeinflussung von Anstrich und kathodischem Schutz Vortrag S. 55 - 59
8. *Prof. Dr. Werner Funke und Dr. Ulrich Zorll* Neue Aspekte über Lackfilme mit heterogener Struktur  
defazet . 29. Jahrgang . Nr. 4 . 1975 S. 146 - 152
9. *Dr. J. E. O. Mayne* Wie Anstrichfilme die Korrosion von Eisen und Stahl verhindern  
Farbe und Lack . 76. Jahrg. Nr. 3 . 1970 S. 243 - 248
10. DIN EN ISO 9227 Korrosionsprüfung in künstlicher Atmosphäre-  
Salzsprühnebelprüfung ( ISO 9227:2006); Deutsche Fassung EN ISO 9227:2006