

HTG-Workshop

Korrosionsschutz für Meerwasserbauwerke

# Beschichtungen im Stahlwasserbau - Auswahl bis Applikation

Stephan Müller, RWE Power AG, Frechen

VORWEG GEHEN

## Einleitung - Stichworte

# Korrosionsschutz im Stahlwasserbau

- Anforderungen an Beschichtungssysteme
- Methoden zur Eignungsprüfung
- Prüfung der Beschichtungssysteme  
(Anforderungswerte / Bewertungsschlüssel)
- Anwendungsbeispiele in Anlagen und Bauwerken
- Applikation der Beschichtungssysteme
- Qualitätssicherung bei der Applikation

# Einteilung Korrosionsschutz

- **REA-Korrosionsschutz (Rauchgasentschwefelungsanlagen)**

- > 2K-Reaktivharzbeschichtungen auf der Basis von Vinylesterharz
- > Gummierungen auf der Basis von Brombutylkautschuk mit reaktivem Haftsystem

- **Korrosionsschutz im Stahlwasserbau**

- > diverse 2K-Beschichtungssysteme (EP-, PUR- und VE-Harze)

- **Atmosphärischer Korrosionsschutz**

- > diverse 1K- und 2K-Beschichtungssysteme → "RWE-Stoffe"

**→ Einsatz von zugelassenen Beschichtungssystemen**

# Korrosionsschutz im Stahlwasserbau

Definition (RWE Power):

**"Korrosionsschutz Stahlwasserbau"**  
regelt die Anforderungen und Anwendungen  
von Beschichtungen für den Korrosionsschutz  
von wasserbelasteten Anlagen und Bauwerken.

**"Wasser" in allen Qualitäten wie z. B.**

→ **Kühlwasser, Abwasser, Deionat, Flußwasser, Meerwasser**  
**diverse andere Oberflächenwässer**

**und unterschiedlichen Temperaturen**

→ **verschiedene Kategorien**

# Korrosionsschutz im Stahlwasserbau

## Anwendungen

→ Einteilung in Anlagen und Bauwerke → Beispiele

**Anlagen:** Kondensatorwasserkammern,  
Kühlwasserleitungen, Pumpen, Turbinen,  
Armaturen, Druckrohrleitungen,  
Rohrleitungssysteme von Bauwerken

**Bauwerke:** Abschlussorgane wie Dammtafeln, Schütze,  
Wehre, Schleusen und Klappen, Spundwände,  
Rechen- und Rechenreinigungsanlagen,  
Kläranlagen

# Korrosionsschutz im Stahlwasserbau

→ Einsatz von zugelassenen Beschichtungssystemen

Regelungen über Spezifikationen

→ Zulassung von Beschichtungssystemen - Prüfungen

→ Liste zugelassener Beschichtungssysteme

→ Bewertungsschlüssel

(inkl. Bewertung besonderer Eigenschaften)

→ Ausführung von Korrosionsschutzarbeiten

"Verarbeitungsspezifikation"

(inkl. Muster Bauprüffolgeplan und Muster Protokolle)

# Arbeitskreis Erfahrungsaustausch "Korrosionsschutz im Stahlwasserbau"

**Mitglieder (20) aus folgenden Unternehmen / Bereichen:**

**RWE Power - Technische Dienste**

(Korrosionsschutz, Bautechnik, Maschinentechnik und Vertragsmanagement)

**RWE Generation - Technische Dienste**

**RWE Power - Wasserkraft**

**RWE Power - Kernkraft**

**RWE Generation / RWE Power - Qualitätssicherung**

**RWE Innogy - Offshore**

**RWE GBS - Einkauf**

**DEA Group**

**Schluchseewerk**

**SEO - Société Electrique de l'Our (L)**

**TIWAG - Tiroler Wasserkraft (A)**

# Beschichtungen im Stahlwasserbau

## **Anforderungen** an Beschichtungssysteme

- **Ermittlung der Eigenschaften von Beschichtungssystemen durch Laborversuche und Feldversuche / Praxiserfahrungen**

**Beschichtungssysteme müssen frei sein von:**

- **PAK**
- **PCB**
- **Asbest**
- (- **Schwermetallen**)

**bei diversen Anwendungen:**

**lösemittelfreie Beschichtungssysteme**

- **Prüfung der Beschichtungsstoffe → "Nassmusteranalyse"**



# Anforderungen an Beschichtungssysteme

Laborprüfungen - Belastungen und Prüfungen

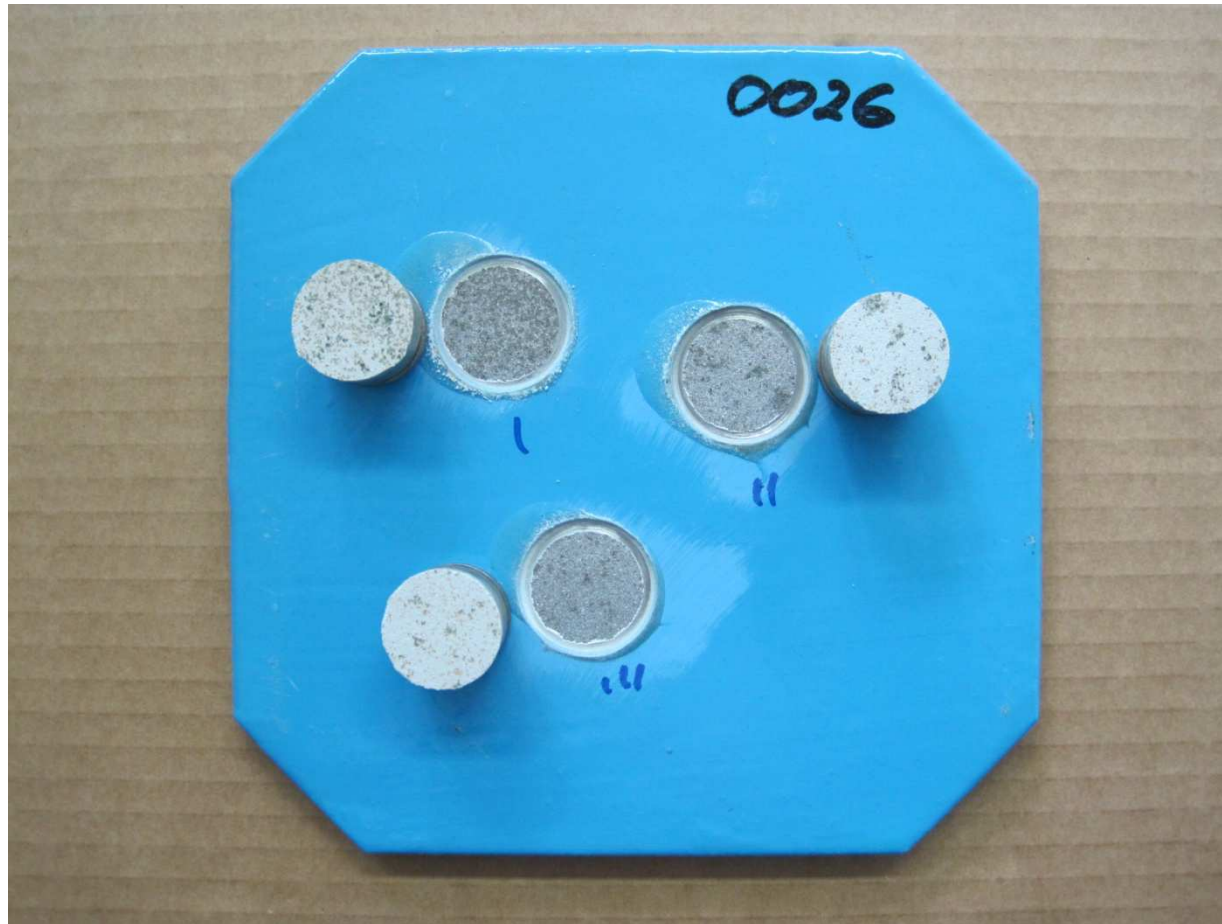
## → Mechanische Eigenschaften

- **Haftfestigkeit** (DIN EN ISO 4624, DIN EN ISO 16276-2)  
→ vor Belastung ("Nullprobe") und nach verschiedenen Belastungen

- **Schlagfestigkeit** (DIN EN ISO 6272)  
→ ohne weitere Belastung  
→ konstantes Gewicht (1 kg)  
→ 3 unterschiedliche Fallhöhen (0,50 m - 0,75 m - 1,00 m)

Nullproben (ohne weitere Belastung)  
jeweils bei unterschiedlichen Temperaturen  
→ Raumtemperatur (normale Laborbedingungen)  
→ warme Umgebung → 40 °C  
→ kalte Umgebung → 5 °C

# Prüfung der Haftfestigkeit



**Foto 1 - Prüfung der Haftfestigkeit**

# Prüfung der Schlagfestigkeit

Falltest - Schlagfestigkeit

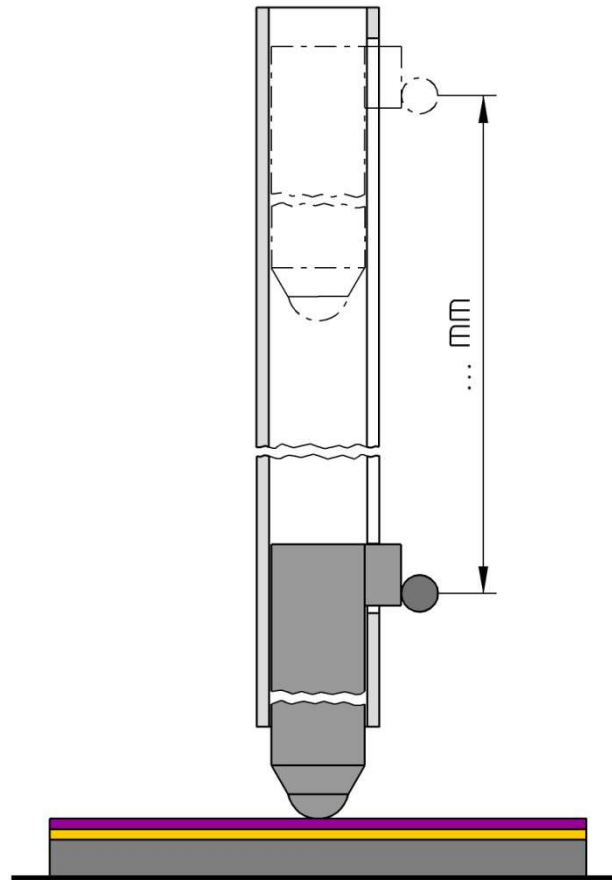


Foto 2 - Skizze - Prüfung der Schlagfestigkeit

# Prüfung der Schlagfestigkeit



**Foto 3 und 4 - Schlagfestigkeit - warme und kalte Umgebung**

# Anforderungen an Beschichtungssysteme

Laborprüfungen - Belastungen und Prüfungen

## → Mechanische Eigenschaften

- **Abriebwiderstand → Abriebtest (BAW / RWE Power)**

→ "nasser" Abrieb

→ Testphase mit 4 verschiedenen Reibgütern:

- Basaltsplittgemisch (nach BAW-Testmethode)

- Basaltsplitt-/Quarzsandgemisch

- Quarzsandgemisch

- "Gletscherschliff" (Sedimentstein aus den Alpen)

**Festlegung der Testmethode nach Auswertung  
der Ergebnisse der Testphase**

# Anforderungen an Beschichtungssysteme

Laborprüfungen - Belastungen und Prüfungen

## → Prüfung der Korrosionsbeständigkeit

- **Neutraler Salzsprühnebel-Test (DIN EN ISO 9227)**  
Prüfdauer: 84 Tage
- **Kondenswasser-Konstantklima-Test (DIN EN ISO 6270-2)**  
Prüfdauer: 56 Tage
- **Xenon- / UVA-Bestrahlung (RWE Power)**  
Prüfdauer: 28 Tage

Prüfungen vor, während und nach der Belastung

→ Zwischenprüfungen alle 7 Tage (visuelle Begutachtung)

# Anforderungen an Beschichtungssysteme

Laborprüfungen - Belastungen und Prüfungen

## → Prüfung der Korrosionsbeständigkeit

### - "Offshore"-Wechseltest (ISO 20340)

Prüfdauer: 175 Tage → 25 Zyklen - 1 Zyklus: 7 Tage / 168 h

Step 1: QUV-Test → 3 Tage / 72 h

[4 h UVA (60 °C) → 4 h Kondenswasser-Test (50 °C) → ...]

Step 2: Neutraler Salzsprühnebel-Test (35 °C) → 3 Tage / 72 h

Step 3: Kältekammer (-20 °C)

Prüfungen vor, während und nach der Belastung

→ Zwischenprüfungen alle 7 Tage (visuelle Begutachtung)

## → Prüfung der Diffusionsbeständigkeit

### - Wasserdampfdiffusion → freier Film (DIN EN ISO 7783-1)

# Prüfung der Diffusionsbeständigkeit

Wasserdampfdiffusion  
am freien Beschichtungsfilm

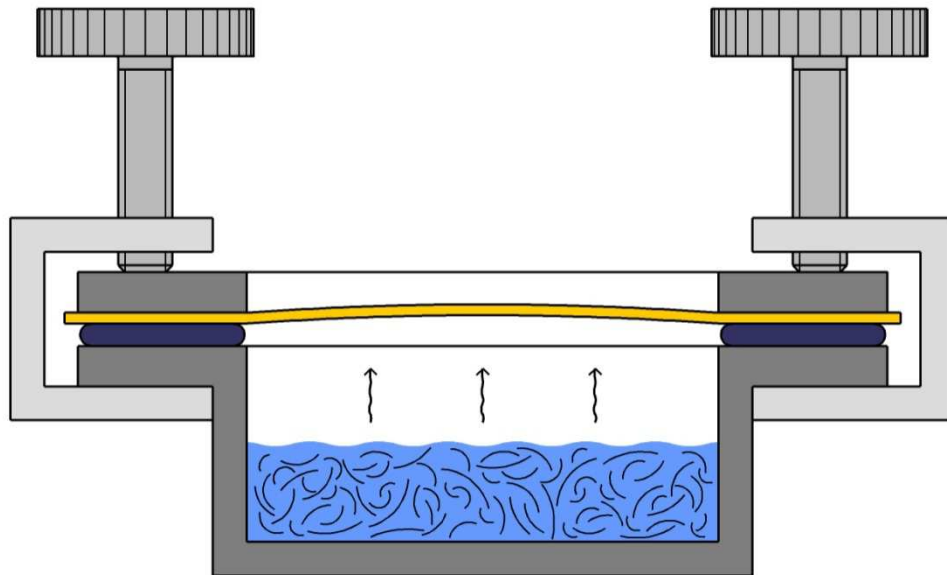


Foto 5 und 6 - Skizze und Topf Wasserdampfdiffusion



# Anforderungen an Beschichtungssysteme

Laborprüfungen - Belastungen und Prüfungen

→ Prüfung der Diffusions- und Korrosionsbeständigkeit

-  **$\Delta T$ -Test - Röhrchen-Test (RWE Power)**

Prüfdauer: 21 Tage -  $\Delta T$ : 25 / 15 K

-  **$\Delta T$ -Test - Atlas-Zellen-Test "W" (RWE Power)**

Prüfdauer: 28 Tage -  $\Delta T$ : 25 / 15 K

-  **$\Delta T$ -Test - Atlas-Zellen-Test "L" (RWE Power)**

Prüfdauer: 28 Tage -  $\Delta T$ : 40 / 20 K

belastete Seite → VE-Wasser

Außen: "W" = Wasser

"L" = Luft (Raumtemperatur)

# Prüfung der Diffusions- und Korrosionsbeständigkeit

$\Delta T$ -Test - Röhren-Test

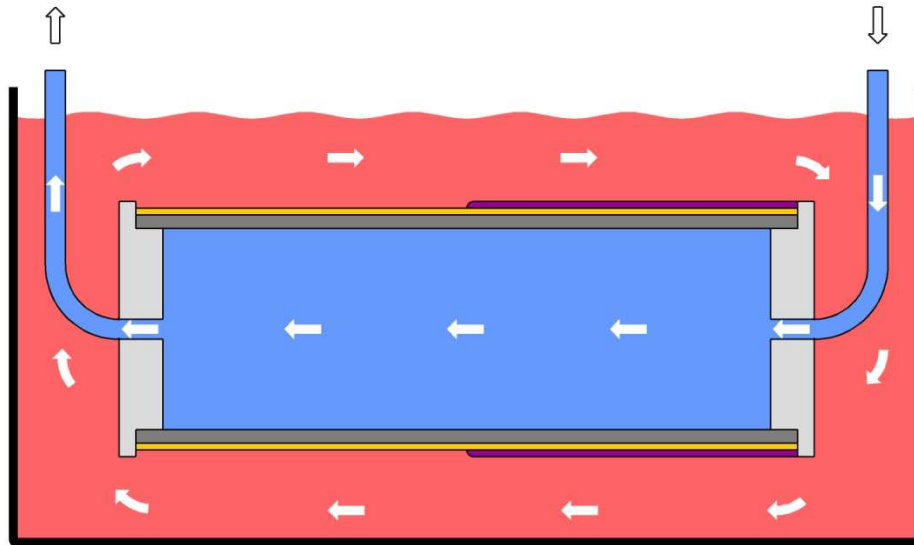


Foto 7 und 8 - Skizze und Aufbau  $\Delta T$ -Test - Röhren-Test

# Prüfung der Diffusions- und Korrosionsbeständigkeit

$\Delta T$ -Test - Atlas-Zellen-Test "W"

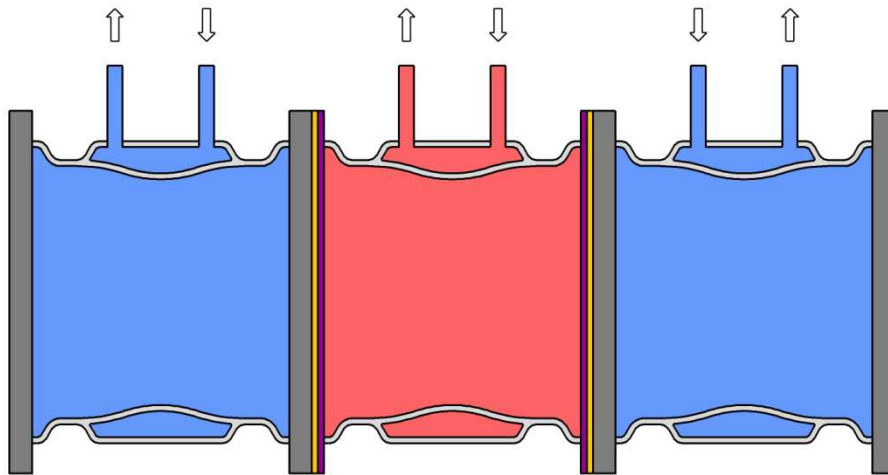


Foto 9 und 10 - Skizze und Aufbau  $\Delta T$ -Test - Atlas-Zellen-Test "W"

# Prüfung der Diffusions- und Korrosionsbeständigkeit

$\Delta T$ -Test - Atlas-Zellen-Test "L"

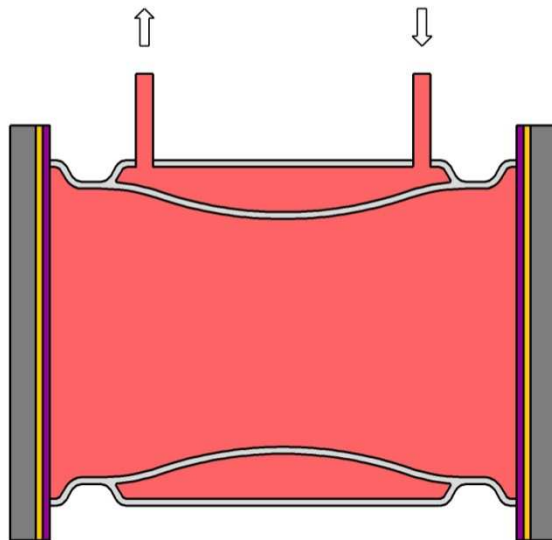


Foto 11 und 12 - Skizze und Aufbau  $\Delta T$ -Test - Atlas-Zellen-Test "L"

# Versuche - Beschichtungssysteme

**2009 - 2016 → 6 Testreihen  
mit 36 Beschichtungssystemen  
(19 verschiedene Hersteller)**

- **2K-EP - LF** (lösemittelfrei) → 25 Beschichtungssysteme
- **2K-EP - LM** (lösemittelhaltig)
- **2K-PUR**
- **1K-PUR**
- **2K-VE**
- **2K-Teer-EP** (nur Vergleichsmuster)

**→ Ausgewählte Ergebnisse**

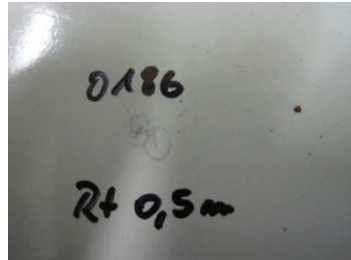
## Haftfestigkeit bei unterschiedlichen Temperaturen "Nullproben" - Mittelwerte (N/mm<sup>2</sup>)

Beschichtung	Temperatur		
	5 °C	Raumtemperatur	40 °C
01 - 2K-EP - LF	13,8	10,6	10,2
02 - 2K-EP - LF	21,8	20,4	15,7
03 -	18,0	16,1	8,9
04 - 2K-EP - LF	18,0	15,0	14,0
05 -	13,6	9,9	8,4
06 - 2K-EP - LF	16,6	13,1	14,0

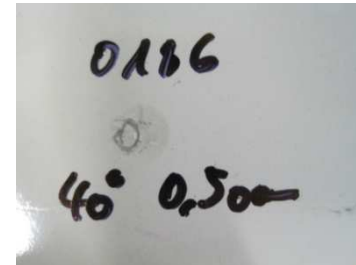
# Schlagfestigkeit bei unterschiedlichen Fallhöhen und Temperaturen (Gewicht: 1 kg)



0,50 m - 5°C  
Abplatzungen



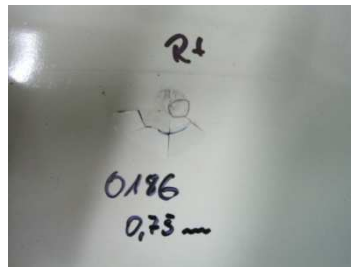
0,50 m - Raumtemp.  
Risse



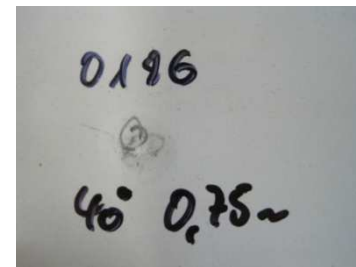
0,50 m - 40°C



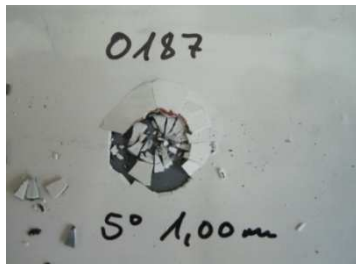
0,75 m - 5°C  
Abplatzungen



0,75 m - Raumtemp.  
Abplatzungen



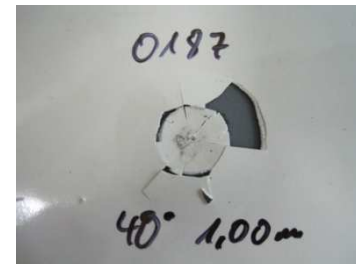
0,75 m - 40°C



1,00 m - 5°C  
Abplatzungen



1,00 m - Raumtemp.  
Abplatzungen



1,00 m - 40°C  
Abplatzungen

# Abriebwiderstand (Abriebtest)

Prüfmethode der BAW → Abriebtrommel

**Abriebwert  $a_w$**  = mittlere Schichtdickenabnahme ( $\mu\text{m}$ ) /  
10.000 Trommelumdrehungen

Beschichtung	Reibgut			
	Basaltsplitt- gemisch (BAW)	Basaltsplitt- Quarzsandgemisch	Quarzsandgemisch	"Gletscherschliff"
01 - 2K-EP - LF	<b>36</b>	21	2	1
02 -	<b>72</b>	53	4	1,5
03 - 2K-EP - LF	<b>25</b>	17	1	0,5
04 -	<b>27</b>	8	1	0
05 - 2K-EP - LF	<b>34</b>	15	0,5	1
06 - 2K-EP - LF	<b>26</b>	21	1	0,5
07 -	<b>36</b>	24	1,5	1
08 -	<b>62</b>	43	5	0,5



## Abriebwiderstand (Abriebtest)

Prüfmethode der BAW → Abriebtrommel

**Hohe Abriebwerte bei den Reibgütern**

→ Basaltsplittgemisch (BAW) → höheren Werte

→ Basaltsplitt-/Quarzsandgemisch → geringeren Werte

**Jedoch keine Linearität zwischen beiden Reibgütern**

**Geringe Abriebwerte bei den Reibgütern**

→ Quarzsandgemisch

→ "Gletscherschliff"

**Die Bestimmung der Abriebwiderstände (Abriebtest) wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe durchgeführt.**

# Wasserdampfdiffusion am freien Beschichtungsfilm

(Temperatur: 40 °C) - Wasserdiffusionsstromdichte [g / (m<sup>2</sup> · h)]

Beschichtung	Gesamtlaufzeit			Teillaufzeiten		
	7 Tage	14 Tage	<b>21 Tage</b>	Tag 1-7	Tag 8-14	Tag 15-21
01 - 2K-EP - LF	0,56	0,55	<b>0,52</b>	0,56	0,52	0,47
02 - 2K-EP - LF	0,11	0,11	<b>0,11</b>	0,11	0,12	0,11
03 -	0,16	0,18	<b>0,18</b>	0,16	0,19	0,19
04 - 2K-EP - LF	0,36	0,34	<b>0,31</b>	0,36	0,31	0,27
05 - 2K-EP - LF	0,74	0,68	<b>0,61</b>	0,74	0,61	0,50
06 - 2K-EP - LF	0,27	0,27	<b>0,25</b>	0,27	0,26	0,23
07 -	0,49	0,43	<b>0,40</b>	0,49	0,38	0,32
08 - 2K-EP - LF	0,11	0,12	<b>0,11</b>	0,11	0,12	0,10
09 - 2K-EP - LF	0,22	0,21	<b>0,20</b>	0,22	0,20	0,18
10 -	2,27	2,30	<b>2,27</b>	2,27	2,33	2,20

## $\Delta T$ -Test - Röhren-Test



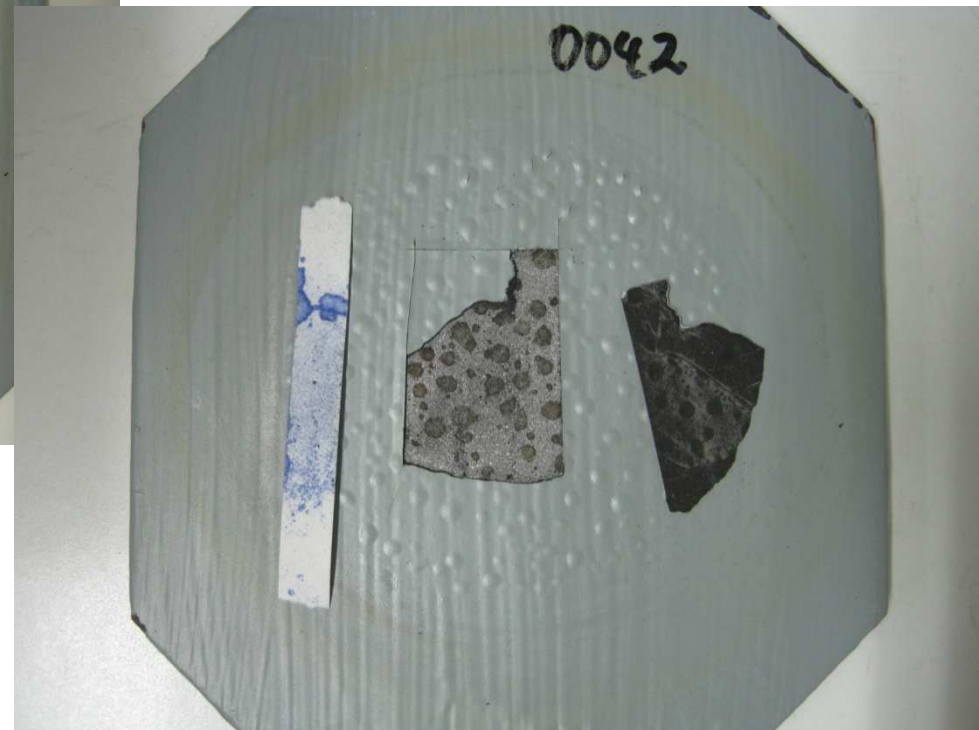
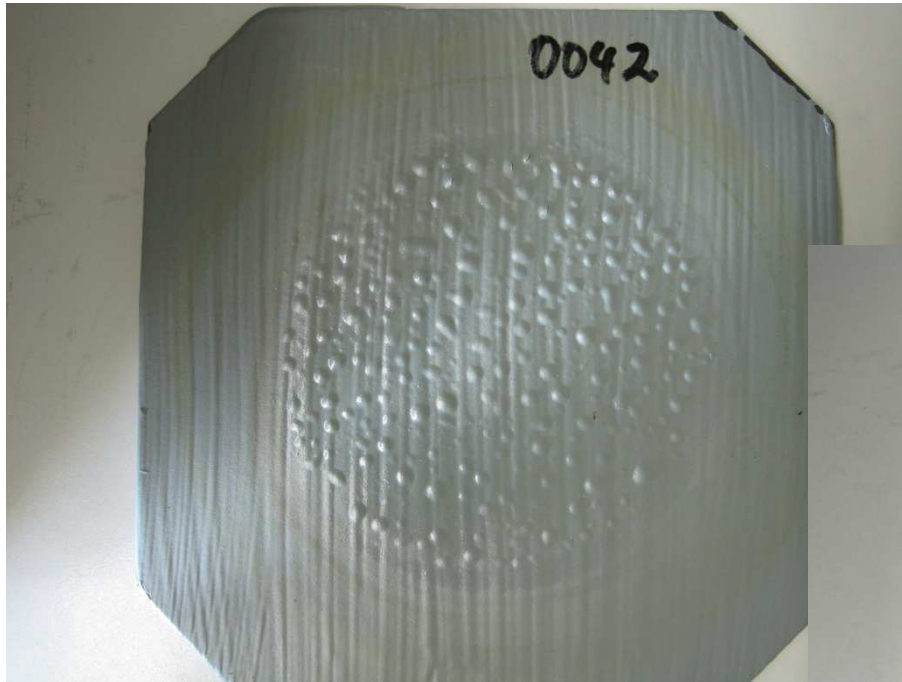
Foto 13 und 14 - Blasenbildung und "Beitelprobe"

## ΔT-Test - Rührchen-Test (ΔT: 25 K) Blasenbildung

Beschichtung	Schichten	Tage (Belastung)						
		3	6	9	12	15	18	21
01 - 2K-EP - LF	1	+	0	0	0	-	-	-
	2	+	+	+	+	0	0	0
02 - 2K-EP - LF	1	+	+	+	+	+	+	+
	2	+	+	+	+	+	+	+
03 -	1	+	-	-	-	-	-	-
	2	+	+	-	-	-	-	-
04 -	1	+	+	+	0	-	-	-
	2	+	+	+	+	+	+	+
05 - 2K-EP - LF	1	+	-	-	-	-	-	-
	2	+	0	-	-	-	-	-
06 - 2K-EP - LF	1	+	+	+	+	+	+	+
	2	+	+	+	+	+	+	+
07 - 2K-EP - LF	1	+	+	+	+	+	0	-
	2	+	+	+	+	+	+	+
08 -	1	+	0	-	-	-	-	-
	2	+	+	0	-	-	-	-
09 -	1	+	+	+	+	+	+	0
	2	+	+	+	+	+	+	+

+	keine Blasenbildung
0	partielle Blasenbildung
-	komplette Blasenbildung

## $\Delta T$ -Test - Atlas-Zellen-Test



**Foto 15 und 16 - Blasenbildung und "Beitelprobe" → Hinterfeuchtung**

# Beurteilung der Prüfergebnisse

**Eine Differenzierung der geprüften Beschichtungssysteme ist bei den Prüfungen der Korrosionsbeständigkeit nur schwer möglich.**

- Neutraler Salzsprühnebel-Test**
- Kondenswasser-Konstantklima-Test**

**Dennoch werden diese Prüfungen als Standard  
→ Grundvoraussetzung  
weiter durchgeführt.**

# Beurteilung der Prüfergebnisse

**Eine gute Differenzierung der geprüften Beschichtungssysteme ist bei der Prüfung der Diffusionsbeständigkeit**

**→ Wasserdampfdiffusion → freier Film**

**und bei den Prüfungen der Diffusions- und Korrosionsbeständigkeit**

**→  $\Delta T$ -Test - Röhrchen-Test**

**→  $\Delta T$ -Test - Atlas-Zellen-Test "W"**

**→  $\Delta T$ -Test - Atlas-Zellen-Test "L"**

**möglich.**

# Bewertung von Beschichtungssystemen

## **Bewertung über Bewertungsschlüssel**

**→ Gesamt: 27 Einzelprüfungen**

**5 Prüfungen mit KO-Kriterium**

**22 Prüfungen mit Bewertung**

**Bewertung jeder Prüfung mit maximal X Punkten**

**Gewichtung jeder Prüfung mit einem Faktor**

**→ Gesamtpunktzahl = Entscheidungskriterium**

**Unter Berücksichtigung von Einzeleigenschaften  
für besondere Anwendungsfälle**



## Zusammenfassung und Schlussfolgerung

**Für einen langlebigen Korrosionsschutz**

**→ "Werterhalt" von Anlagen und Bauwerken:**

**→ Prüfung und Auswahl von  
Beschichtungssystemen**

**→ Applikation und Prüfung  
der Beschichtungssysteme  
inkl. Qualitätssicherung**

VIELEN DANK FÜR DIE AUF-  
MERKSAMKEIT UND LASSEN  
SIE UNS GEMEINSAM:

VOR**RWEG** GEHEN