

## **Untersuchungen zum Korrosionsverhalten von Wasserzählern**

### **Water meters - investigations about the corrosion behaviour**

### **Compteurs d'eau : études des phénomènes de corrosion**

**W. Werner (TZW Karlsruhe) – Germany**

#### **Abstract**

Corrosion tests according to the German standard DIN 50931-1 were carried out to prove reduction of heavy metal release from epoxy resin coated water meters. House water meters with coated and uncoated bodies made of different copper alloys and nominal flow rates of  $Q_n$  2.5 m<sup>3</sup>/h were tested. Quality of coatings was also tested on a representative variety of products.

About 70 to 80 percent of the wetted inner surfaces of the bodies were covered with epoxy resin resulting in reduction of heavy metal release of about 75 percent.

Lead and nickel release from copper alloys according to the German standard DIN 50930-6 were about 3 to 4 times lower than from cast alloys of material standard CuZn39Pb1Al.

In vergleichenden Korrosionsuntersuchungen nach DIN 50931-1 mit beschichteten und unbeschichteten Hauswasserzählern mit einem Nenndurchfluss von  $Q_n$  2,5 m<sup>3</sup>/h wurde die Wirksamkeit von Beschichtungen aus Epoxidharz zur Verringerung der Schwermetallabgabe an das Trinkwasser überprüft. Ergänzend wurden an einer repräsentativen Auswahl von Wasserzählern diverser Hersteller die mechanischen Eigenschaften der aufgetragenen Epoxidharzbeschichtungen charakterisiert.

Bei den untersuchten Wasserzählern wurde eine Bedeckung der vom Wasser berührten Metalloberflächen mit Epoxidharz von ca. 70 bis 80 Prozent und eine daraus resultierende Verringerung der Schwermetallabgabe um bis zu 75 Prozent festgestellt.

Die Kupferlegierungen, die in ihrer Zusammensetzung den Anforderungen der DIN 50930-6 entsprachen, wiesen eine um den Faktor 3 bis 4 geringere Blei- und Nickelabgabe auf als die bisher für diese Installationskomponenten bevorzugt verwendeten Gussmessinglegierungen der Werkstoffnorm CuZn39Pb1Al.

## **1 Wasserzähler im Trinkwasserbereich**

Wasserzähler sind wesentliche Bestandteile von Trinkwasser-Hausinstallationen. Charakteristische Merkmale sind ihre zeitlich begrenzte Nutzungsdauer und das extensive Recycling. Die Nutzungsdauer resultiert aus der Eichperiode, die im Warmwasserbereich auf 5 Jahre und im Kaltwasserbereich auf 6 Jahre festgelegt worden ist. Nach Ablauf der Eichperiode werden die Wasserzähler ausgebaut und durch neue Wasserzähler ersetzt. In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich ca. 3,5 Millionen Hauswasserzähler im Nennbereich von  $Q_n 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  bis  $Q_n 10 \text{ m}^3/\text{h}$  ausgetauscht. Ein großer Teil davon wird werkseitig aufgearbeitet, neu geeicht und wieder in den Verkehr gebracht.

Mit dem Inkrafttreten der novellierten Trinkwasserverordnung im Jahr 2003 wurden Wasserzähler in das deutsche Bewertungssystem für die Schwermetallabgabe von Installationskomponenten, das durch die DIN 50930-6 repräsentiert wird, einbezogen. [1, 2]. Mit der Einordnung in die Gruppe der Armaturen mit dem Bewertungswert  $B = 0,14$  wurde den spezifischen Einsatzbedingungen von Wasserzählern Rechnung getragen. Bei der Zuordnung wurden die vom Wasser berührten Metalloberflächen, der Einbauort und die Betriebsbedingungen sowie die vergleichsweise kurzen Betriebszeiten berücksichtigt.

### **1.1 Neuzähler**

Bei neuen Wasserzählern sind die Anforderungen der Trinkwasserverordnung und der DIN 50930-6 durch die Verwendung geeigneter Werkstoffe zu erfüllen. Die Anforderungen sind erfüllt, wenn metallene Werkstoffe mit den in der DIN 50930-6 angegebenen Zusammensetzungen (Tabellen 8.7.2 und 8.7.3) verwendet werden, oder für den Werkstoff der Nachweis der Eignung mit Untersuchungen nach DIN 50931-1 erbracht wurde [3]. Neuproduzierte Wasserzähler sollen nach einem in der Entwurfphase befindlichen DVGW-Arbeitsblatt entsprechend gekennzeichnet werden.

### **1.2 Altzähler**

Aufgearbeitete Altzähler sind im Sinne der Trinkwasserverordnung wie Neuprodukte zu behandeln. Aufgrund der in der Vergangenheit verwendeten Legierungen mit teilweise hohen Anteilen von Blei, Nickel, Antimon u. a. kann aber nicht sichergestellt werden, dass die Anforderungen der DIN 50930-6 und damit der Trinkwasserverord-

nung im Hinblick auf die Schwermetallabgabe bei allen Altgehäusen eingehalten werden.

### **1.2.1 Aufarbeitung von Altzählern**

Die Wiederaufarbeitung von gebrauchten Wasserzählern und Gehäusen ist nicht allgemein verbindlich geregelt. Aufbereitungsverfahren und zu erbringende Leistungen werden individuell zwischen den beteiligten Parteien ausgehandelt. Primäres Ziel der Wiederaufarbeitung war bislang die Sicherstellung der Zählfunktion.

Im einfachsten Fall werden die Gehäuse oberflächlich gereinigt. Aufwendigere Maßnahmen beinhalten das Strahlen der Oberflächen, um Korrosionsprodukte und alte Beschichtungen zu entfernen sowie eine anschließende Neubeschichtung.

Da eine individuelle Klassifizierung jedes einzelnen Wasserzählergehäuses hinsichtlich der Legierungszusammensetzung und der resultierenden Schwermetallabgabe technisch als auch wirtschaftlich nicht durchführbar erschien, wurde zur Verminderung der Schwermetallabgabe eine obligatorische Beschichtung der Innenoberflächen von Altgehäusen mit Epoxidharzlacken vorgeschlagen und eine Schichtdicke zwischen 80 und 100 µm diskutiert.

### **1.2.2 Beschichtung metallener Wasserzählergehäuse mit Epoxidharz**

In ausreichender Dicke und porenfrei aufgebracht, wirken Beschichtungen aus Epoxidharz als mechanische Barriere zwischen dem metallenen Grundwerkstoff und dem Trinkwasser und verhindern die Migration von Schwermetallen aus dem Grundwerkstoff in das Trinkwasser. Aus hygienischen Gründen sollen zur Beschichtung ausschließlich Pulverlacke, die den Anforderungen der Epoxidharz-Leitlinie des Umweltbundesamtes und des DVGW-Arbeitsblattes W 270 entsprechen, verwendet werden [4, 5].

Das Beschichten metallener Wasserzählergehäuse mit Epoxidharz ist seit vielen Jahren gängige Praxis. In den meisten Fällen erfolgte die Beschichtung von Wasserzählern vorrangig mit dem Ziel, den optischen Eindruck der sichtbaren Außenflächen zu verbessern und diesen über die gesamte Eichperiode zu erhalten. Zum Teil wurden auch die Innenoberflächen mitbeschichtet. Die Innenoberflächen der Wasserzähler sind in der Regel nicht vollständig mit Epoxidharz beschichtet. Aus funktions-

technischen Gründen bleiben bei einigen Zählertypen spezielle Flächen wie z.B. der Zählersitz unbeschichtet.

Für die Beschichtung von Wasserzählergehäusen gibt es in der Bundesrepublik Deutschland zurzeit keine spezifischen Anforderungen. Zur Orientierung können existierende Normen für andere Installationsbauteile sowie die Applikationsvorschriften der Hersteller von Beschichtungsmaterialien herangezogen werden [6 - 8].

## **2 Untersuchungsprogramm**

In einem vom DVGW geförderten Untersuchungsprogramm wurde

1. die Wirksamkeit von Epoxidharzbeschichtungen bei Wasserzählergehäusen im Hinblick auf die Verminderung der Freisetzung von Schwermetallen in Anlehnung an das in der DIN 50931-1 angegebene Verfahren untersucht sowie
2. die Eigenschaften von Epoxidharzbeschichtungen an einer Auswahl von Wasserzählern unterschiedlicher Hersteller überprüft und dokumentiert [9].

### **2.1 Korrosionsuntersuchungen nach DIN 50931-1**

Die Korrosionsnorm DIN 50931-1 „Korrosion der Metalle; Korrosionsversuche mit Trinkwässern, Teil 1: Prüfung der Veränderung der Trinkwasserbeschaffenheit“ beschreibt primär eine Werkstoffprüfung mit definierten Probekörpern [3]. Das beschriebene Verfahren kann prinzipiell aber auch zur Untersuchung von Bauteilen angewandt werden.

Die in der Norm angegebene Versuchsanordnung stellt im Prinzip die Nachbildung eines Endstrangs in der Küche einer Hausinstallation dar. Die Betriebsbedingungen im Regelbetrieb werden durch 22 kurze Fließphasen von 1 bis 2 Minuten Dauer mit einem Durchsatz von ca. 300 L/h und 22 Stillstandszeiten unterschiedlicher Länge von  $\frac{1}{4}$  bis 8 Stunden charakterisiert. Durch jedes Testrohr fließen pro Tag 145 Liter Wasser. Die Strömung in den Testrohren ist turbulent. Nach festgelegten Betriebszeiten werden bei den Beprobungen Stagnationskurven mit Stagnationszeiten zwischen 0,5 und 16 Stunden aufgenommen.

### **2.1.1 Versuchsdurchführung**

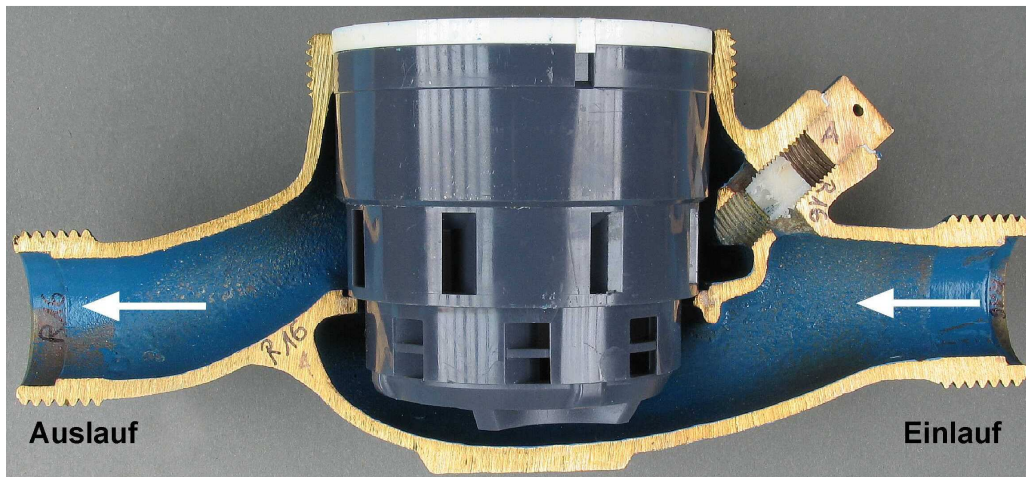
Die Experimente waren als Vergleichsuntersuchungen mit beschichteten und unbeschichteten Wasserzählern gleichen Typs konzipiert. Die Untersuchungszeit betrug 8 Wochen.

### **2.1.2 Prüfkörper und Prüfanordnung**

Für die Untersuchungen wurden beschichtete und unbeschichtete Neuzähler diverser Hersteller aus der laufenden Produktion sowie aufgearbeitete Altzähler (Austauschzähler) der Bauart MNR (Mehrstrahl-Nassläufer) mit einem Nenndurchfluss von  $Q_n 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  verwendet. Jeweils 4 Wasserzähler wurden mit Rohren aus nichtrostendem Stahl zu einem Testrohr verbunden. Die für die Korrosionsuntersuchungen verwendeten Zählertypen werden werkseitig mit abgearbeiteten Teilflächen ausgeliefert. Zur Minimierung des Innenvolumens wurden die Wasserzähler mit Messseinsatz (Bild 1) verwendet. Die geometrischen Eigenschaften der Wasserzählergehäuse sind in Tabelle 1 angegeben.

#### **2.1.2.1 Zusammensetzung der Grundwerkstoffe**

Die Zusammensetzung der Grundwerkstoffe der untersuchten Wasserzähler wurde für jede Zählerserie an einem Exemplar bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammen mit den jeweiligen Werkstoffnormen zusammengestellt [2, 10]. Die Grundwerkstoffe der Wasserzähler 1 und 2 entsprechen in ihrer Zusammensetzung den Anforderungen der DIN 50930-6. Die Grundwerkstoffe der Wasserzähler 3 bis 6 gehören zur Gussmessinglegierung CuZn39Pb1Al (CC 754 S). Diese wurde in der Vergangenheit bevorzugt zur Herstellung von Wasserzählergehäusen verwendet. Abweichungen der Zusammensetzung von den Anforderungen der DIN 50930-6 sind speziell hervorgehoben.



**Bild 1:** Querschnittansicht eines Wasserzählergehäuses mit Messeinsatz

**Tabelle 1:** Geometrische Eigenschaften der Wasserzähler

Innenvolumen mit Messeinsatz	ca. 245 cm <sup>3</sup>
Gesamte vom Wasser berührte Innenoberfläche	ca. 340 cm <sup>2</sup>
Davon Fläche ohne Beschichtung	ca. 73 cm <sup>2</sup>
Prozentualer Anteil der Innenoberfläche ohne Beschichtung	ca. 21%

**Tabelle 2:** Zusammensetzung der metallenen Grundwerkstoffe der untersuchten Wasserzählergehäuse

Wasserzähler	Cu	Zn	As	Pb	Ni	Sn	Sb	Mn	Fe	Al
(1) Neuzähler, ohne Beschichtung	62,8	34,5	0,08	1,57	0,11	0,2	0,03	0,02	0,2	0,5
(2) Neuzähler, ohne Beschichtung	63,3	34,1	0,09	1,39	0,11	0,2	0,02	0,03	0,2	0,5
DIN 50930-6 (B ≤ 0,14)			0,1	2,2	0,2	0,3	0,02	0,1	0,3	0,8
(3) Neuzähler ohne Beschichtung	60,4	34,7	0,01	2,39	0,47	0,8	0,03	0,04	0,5	0,6
(4) Neuzähler mit Beschichtung	60,5	34,8	0,01	2,51	0,40	0,6	0,03	0,03	0,5	0,5
(5) Neuzähler mit Beschichtung	60,0	34,8	0,01	2,55	0,52	0,8	0,03	0,04	0,6	0,7
(6) Altzähler mit Beschichtung	60,2	35,0	0,01	2,42	0,47	0,7	0,03	0,03	0,6	0,5
CuZn39Pb1Al CC 754 S	58,0 - 63,0	Rest		0,5 - 2,5	≤ 1,0		≤ 1,0	≤ 0,5	≤ 0,7	≤ 0,8

Angaben in Gewichtsprozent

### **2.1.3 Prüfwasser**

Als Prüfwasser wurde Wasser aus einem Brunnen der Stadtwerke Karlsruhe, der speziell für Korrosionsuntersuchungen genutzt wird, verwendet. Es handelt sich um ein mittelhartes Grundwasser ohne auffällige Eigenschaften mit einem pH-Wert von im Mittel 7,3, einer Basekapazität von 0,9 und einem DOC von 1,5 mg/L C.

### **2.1.4 Ergebnisse der Korrosionsuntersuchungen nach DIN 50931-1**

Die Schwermetallkonzentrationen wurden in einem Probenvolumen von 1,8 L bestimmt. In den Bildern 2 und 4 sind beispielhaft einige charakteristische Stagnationskurven dargestellt.

Bei den unbeschichteten Wasserzählergehäusen stiegen die Kupferkonzentrationen stetig an und erreichten nach ca. 8 bis 10 Stunden ihr Maximum. Danach gingen die Konzentrationen wieder langsam zurück. Bei den beschichteten Gehäusen erfolgte der Anstieg erwartungsgemäß mit deutlich verminderter Geschwindigkeit. Die Kupferkonzentrationen stiegen hier zwar langsamer an, sie näherten sich aber bei längeren Stillstandszeiten den Werten der unbeschichteten Wasserzähler (Bild 2). Die niedrigen Werte der Altzähler sind vermutlich auf die „Auslaugung“ des Grundmaterials während der vorausgegangenen Einsätze zurückzuführen.

Bei kurzen Stillstandszeiten verhalten sich die Konzentrationen etwa proportional zu den unbedeckten Metallflächen, während bei sehr langen Stagnationszeiten die Konzentrationen im Wesentlichen vom Werkstoff, der Wasserbeschaffenheit und den Löslichkeiten der in den Deckschichten gebildeten Festphasen bestimmt werden.

Das Migrationsverhalten des Legierungselements Blei ist beispielhaft in den Bildern 4 bis 6 dargestellt. Bei den in den Bildern 4 und 5 dargestellten Versuchen wurden jeweils 2 Testrohre mit beschichteten Wasserzählern aus dem Grundwerkstoff CC 754 S und unbeschichteten Wasserzählern aus dem DIN 50930-6 konformen Werkstoff betrieben. Bei den unbeschichteten Wasserzählergehäusen wurde in den ersten Wochen das auf der Metalloberfläche haftende Blei abgelöst. Dieser Vorgang ist an den hohen Bleikonzentrationen bei der Beprobung nach einer Woche Betrieb deutlich zu erkennen.

Die Beprobungen nach 4 und 8 Wochen Betrieb zeigten dann deutlich niedrigere Bleikonzentrationen. Bei den beschichteten Wasserzählergehäusen wurde kein vergleichbarer Rückgang beobachtet. Es wird vermutet, dass bei der Bearbeitung der an der Oberfläche haftende Bleifilm zusammen mit dem Epoxidharz entfernt wurde.

Die Legierung CC 754 S gab im gleichen Zeitraum signifikant mehr Blei ab als die DIN 50930-6-konformen Werkstoffe (Bild 6). Dieses Verhalten wird nicht vollständig durch die Beschichtung kompensiert. Bei der Bewertung dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Bleigehalte der DIN 50930-6-konformen Legierungen hier deutlich unter dem in der Norm angegebenen zulässigen Wert lagen.

### **2.1.5 Bewertung nach DIN 50930-6**

Die Bewertung der Versuchsergebnisse erfolgte nach dem in der DIN 50930-6 angegebenen Verfahren. Dabei werden aus den 8 Einzelwerten einer Stagnationskurve die arithmetischen Mittelwerte  $M(T_n)$  der Schwermetallkonzentrationen berechnet. Bei diesem Verfahren ist implizit das für die Bundesrepublik Deutschland zugrunde gelegte Verbraucherverhalten berücksichtigt.

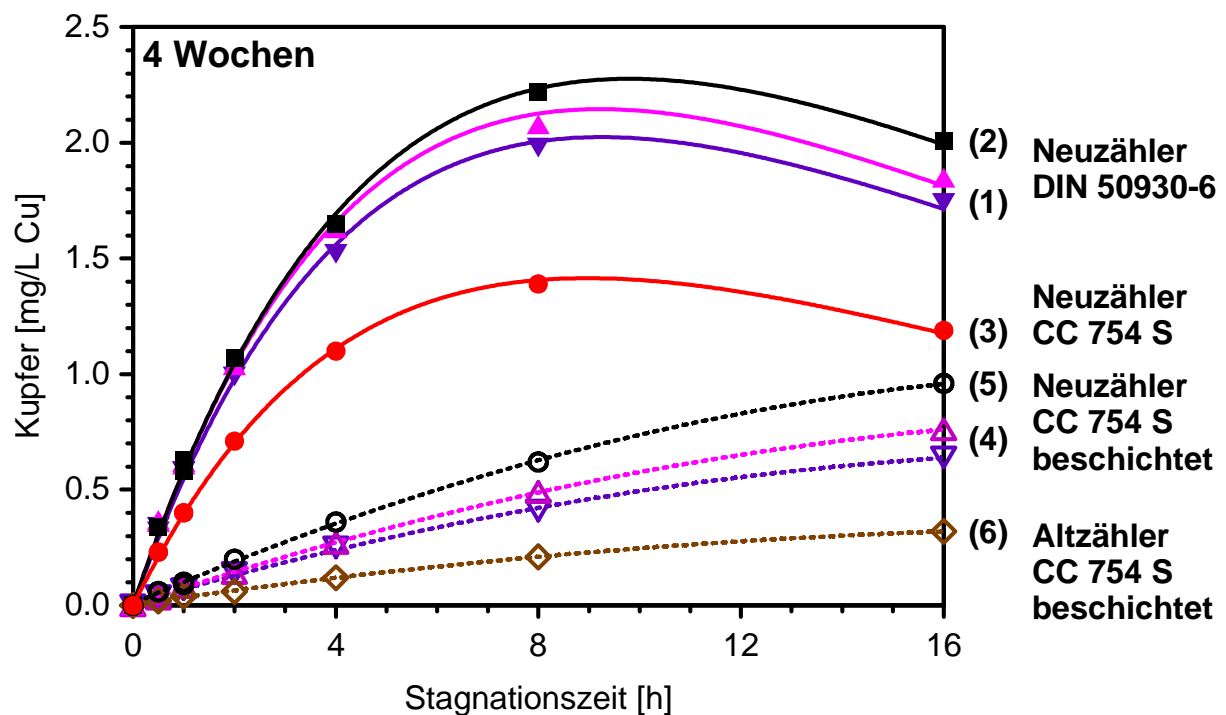
Die zeitliche Entwicklung der arithmetischen Mittelwerte  $M(T_n)$  der Kupfer-, Zink- und Bleikonzentrationen ist beispielhaft in den Bildern 3, 5 und 6 dargestellt. Bei den Elementen Kupfer und Zink wurde durch die Beschichtung eine Verringerung der Metallabgabe um den Faktor 3 bis 4 festgestellt. Eine vergleichbare Verringerung wurde zwischen den beschichteten und unbeschichteten Gehäusen aus dem Grundwerkstoff CC 754 S für das Element Blei beobachtet.

Aus dem Migrationsverhalten der untersuchten Schwermetalle Kupfer, Zink, Blei und Nickel konnte eine Verringerung der Schwermetallabgabe durch die Beschichtung mit Epoxidharz im Mittel um ca. 75% abgeschätzt werden. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem bei dieser Untersuchung festgestellten Anteil an beschichteten metallenen Innenoberflächen.

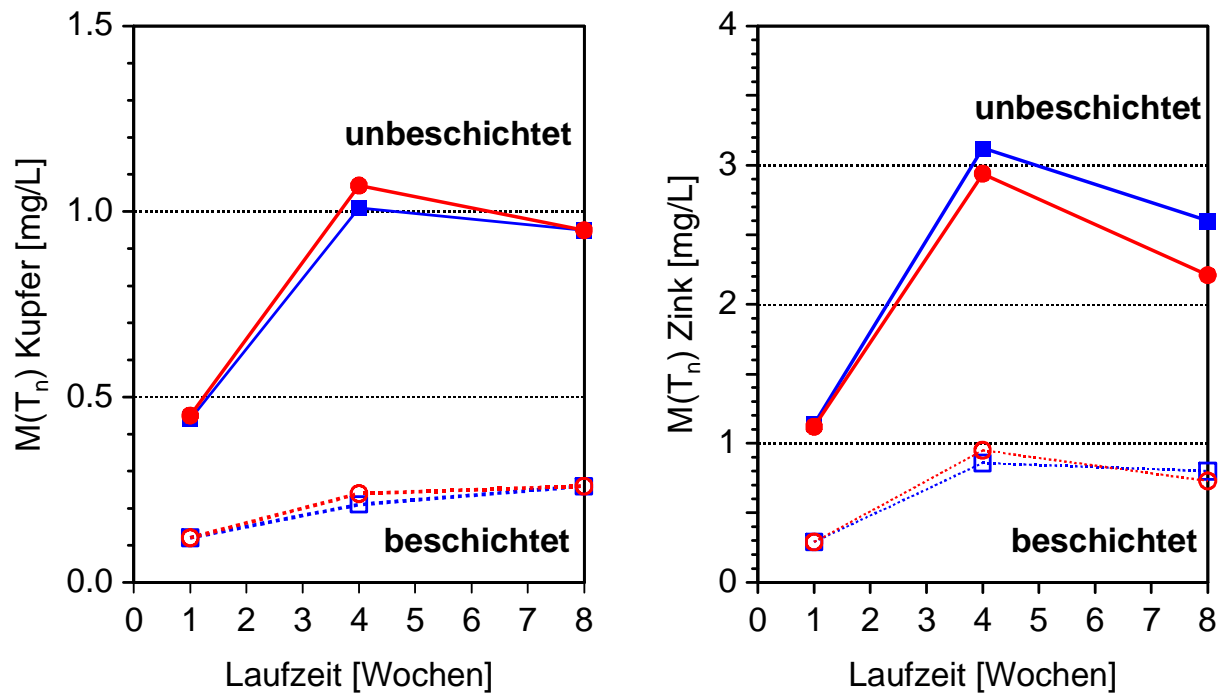
Unter den genannten Versuchsbedingungen wurden bei allen Wasserzählern mit Ausnahme der unbeschichteten Wasserzähler aus dem Grundwerkstoff CC 754 S spätestens 4 Wochen nach der Inbetriebnahme die für diese Testanlage errechneten Bewertungswerte BW für Kupfer, Zink, Blei und Nickel unterschritten. Das bedeutet,



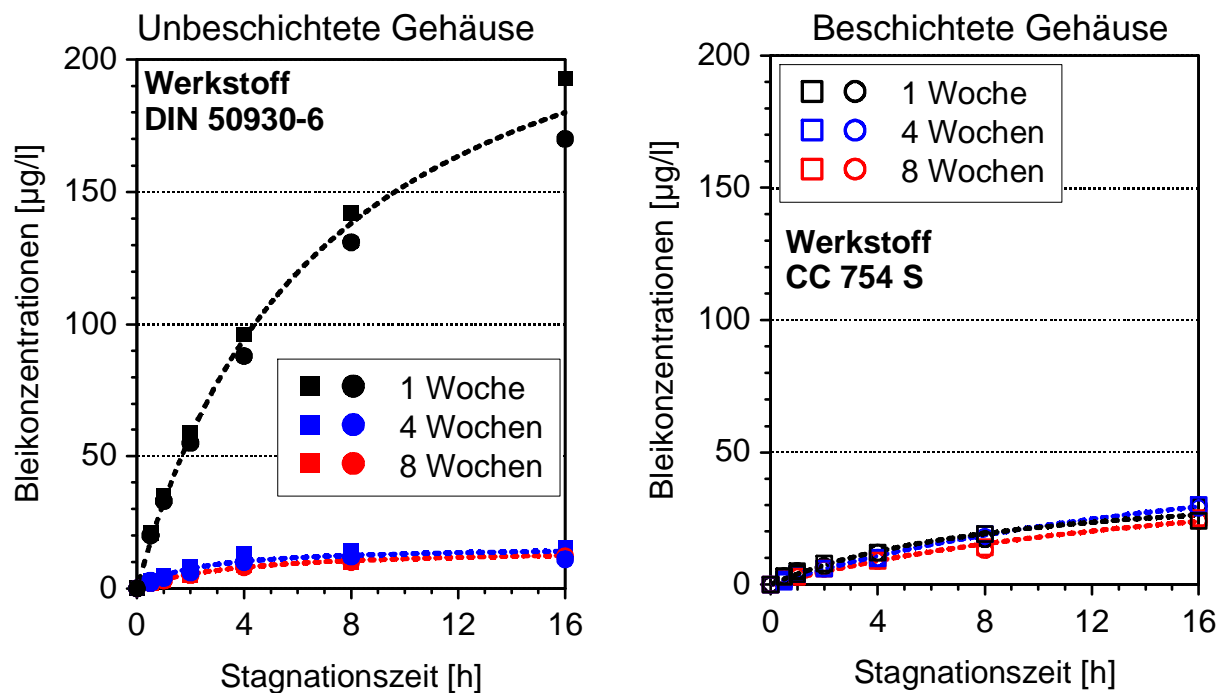
dass von diesem Zeitpunkt an die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung für Kupfer, Zink, Blei und Nickel für die genannten Installationskomponenten bei diesem Prüf-  
wasser eingehalten wurden. Die Bewertungswerte BW werden aus den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung und den Eigenschaften der Versuchsanlage nach dem in der DIN 50930-6 angegebenen Verfahren berechnet. Der Bewertungswert BW für Blei von 20 µg/L wurde in Bild 6 mit eingezeichnet. Bei den unbeschichteten Wasserzählern aus dem Grundwerkstoff CC 754 S wurden bis einschließlich der 8. Betriebs-  
woche die Bewertungswerte für Blei und Nickel überschritten.



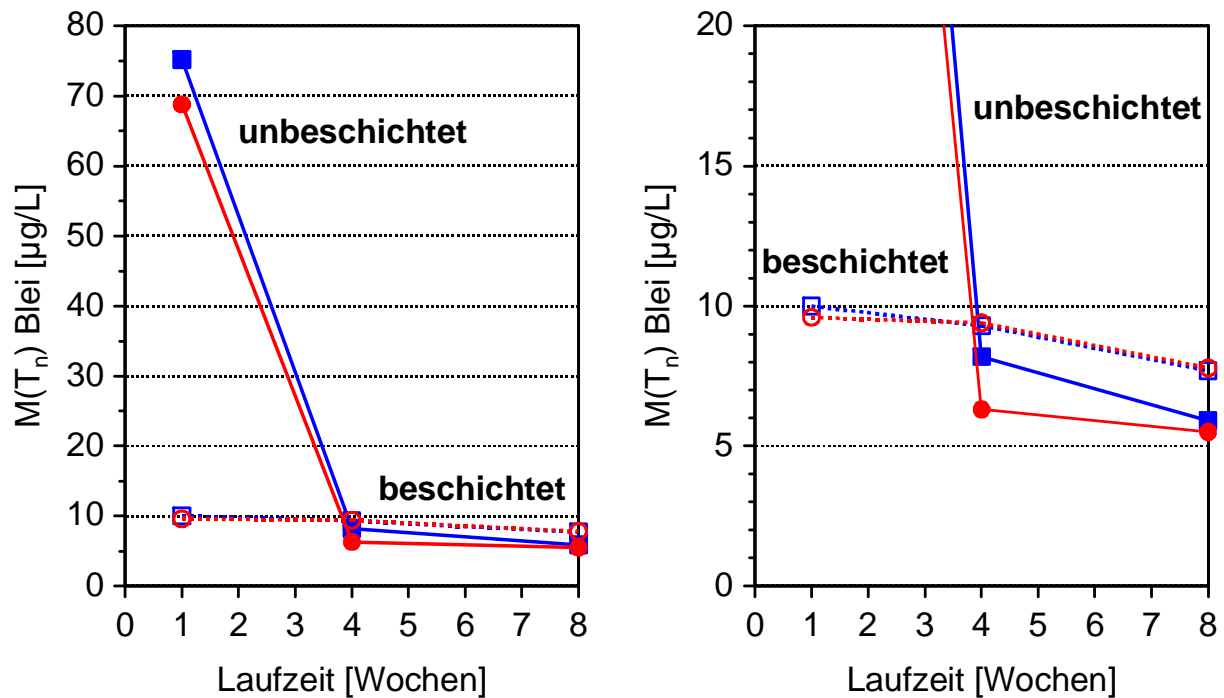
**Bild 2:** Zeitliche Entwicklung der Kupferkonzentrationen während der Stagnation



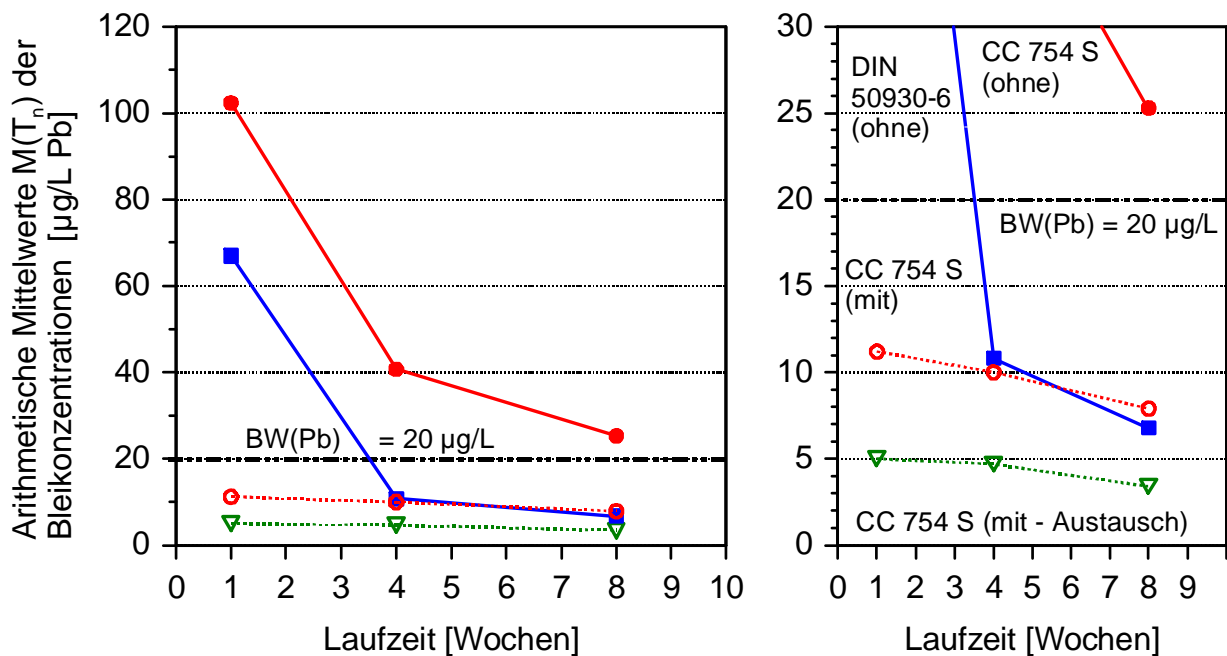
**Bild 3:** Zeitliche Entwicklung der arithmetischen Mittelwerte  $M(T_n)$  der Kupfer- und Zinkkonzentrationen



**Bild 4:** Zeitliche Entwicklung der Bleikonzentrationen während der Stagnation



**Bild 5:** Zeitliche Entwicklung der arithmetischen Mittelwerte  $M(T_n)$  der Kupferkonzentrationen



**Bild 6:** Zeitliche Entwicklung der arithmetischen Mittelwerte  $M(T_n)$  der Bleikonzentrationen

## **2.2 Untersuchungen zur Charakterisierung der Epoxidharzbeschichtungen**

Die Untersuchungen zur Charakterisierung der Eigenschaften der Epoxidharzbeschichtungen wurden an insgesamt 49 Gehäusen aus 8 Produktserien aus der laufenden Produktion durchgeführt.

### **2.2.1 Bestimmung der Schichtdicke und Darstellung der Messergebnisse**

Die Dicke der Epoxidharzschicht wurde mit einer kalibrierten Messsonde, die nach dem Wirbelstromprinzip nach DIN EN ISO 2360 arbeitet, bestimmt [11]. Für die Untersuchungen wurde ein Messgerät Dualscope MP20E-S mit einer Messsonde des Typs ETA3.3H der Fa. Helmut Fischer GmbH + Co. KG, Sindelfingen verwendet.

Die Dicke der Epoxidharzschicht wurde in der Bodenzone, in der Bodeneinlaufzone und an den Seiten gemessen. In der Auslaufzone war wegen der ungünstigen geometrischen Verhältnisse keine zuverlässige Messung möglich. Die Messbereiche sind in den Bildern 8.a und 8.b durch Pfeile markiert.

Die Einzelwerte jeder Gehäuseserie wurden definierten Klassen zugeordnet und die Häufigkeitsverteilungen als Histogramme dargestellt. In den Bildern 9.a bis 9.c sind beispielhaft die Ergebnisse der bei den Korrosionsuntersuchungen verwendeten Wasserzähler der Serie (3) gezeigt.

### **2.2.2 Ergebnisse**

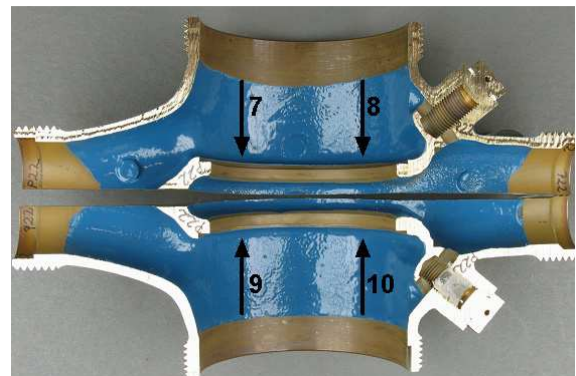
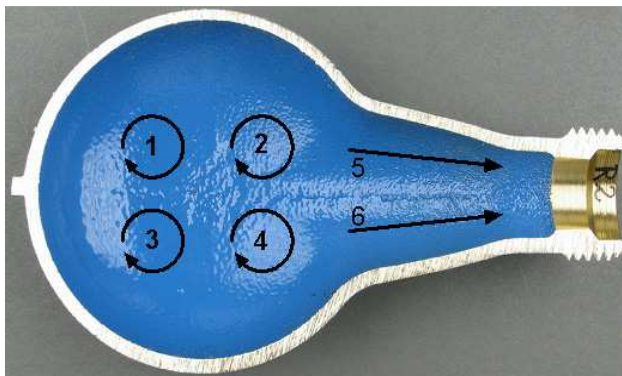
Bei den Schichtdicken wurde eine große Variation sowohl beim einzelnen Zähler als auch zwischen den einzelnen Serien festgestellt. In der Tendenz wurden die dicksten Schichten in der Bodenzone und auf den Seiten gemessen. Deutlich dünnere Schichten wurden in den Ein- und Auslaufzonen und unter dem Zählersitz festgestellt. Bei einem Teil der Wasserzähler fehlte in der Einlaufzone die Beschichtung. Die Mittelwerte in der Bodenzone variierten zwischen 111 und 259  $\mu\text{m}$ , in der Einlaufzone zwischen 20 und 65  $\mu\text{m}$  und in den Seitenzonen zwischen 43 und 166  $\mu\text{m}$ .

Die Zahl von unbedeckten Flächen nahm mit abnehmender Schichtdicke zu. Bei dünnen Schichten waren raue Metallflächen nicht durchgängig mit Epoxidharz abgedeckt. Wasserzählergehäuse wurden primär nach hydraulischen und fertigungstechnischen Erfordernissen designt. Die komplexe Geometrie und physika-

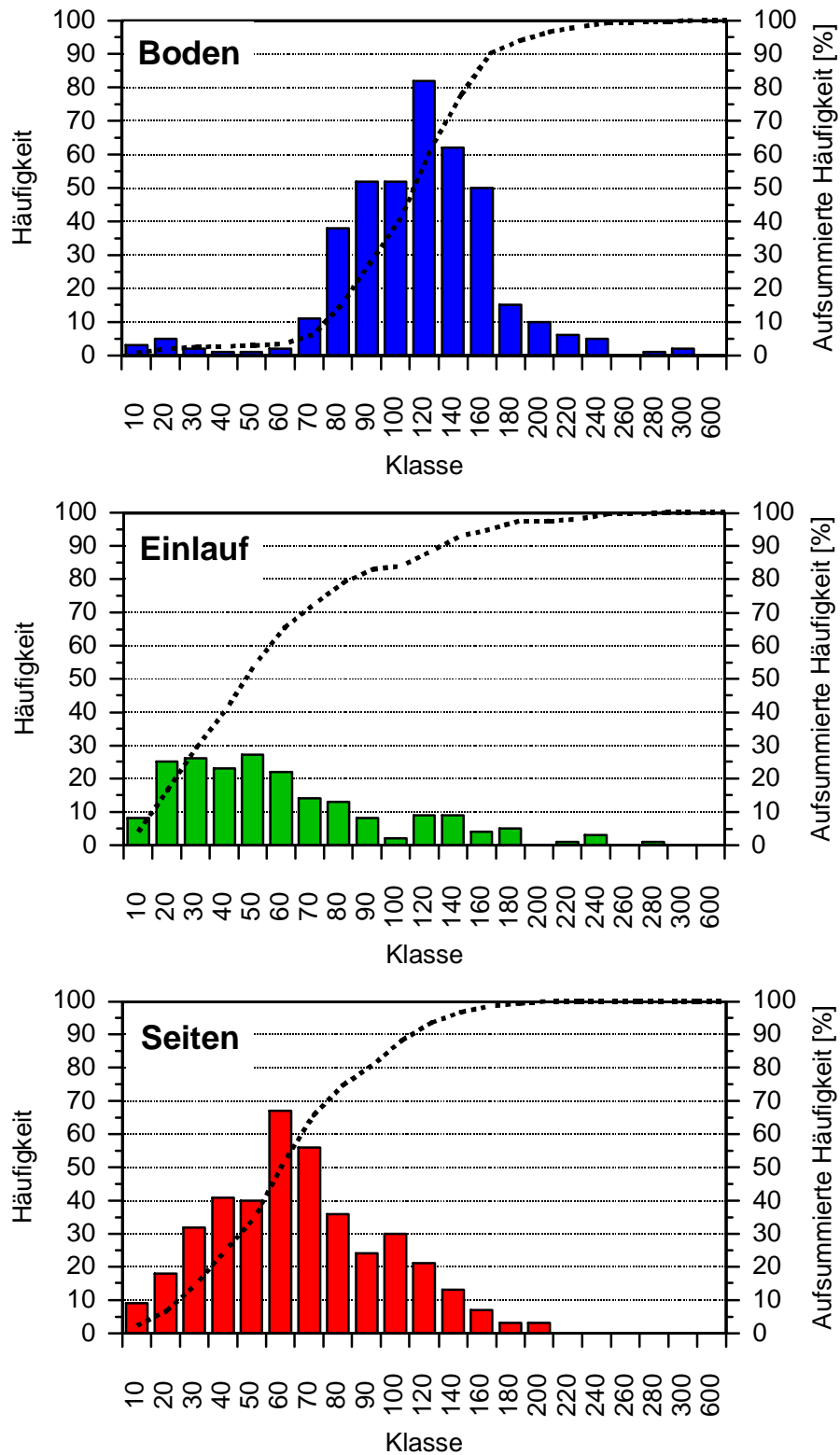
lisch/technische Gründe erschweren die Beschichtung der Innenoberflächen mit Pulverlack. Als Problemzonen wurden die Ein- und Auslaufbereiche sowie die Flächen unterhalb des Zählersitzes identifiziert. Extrembeispiele sind in den Bildern 7.a bis 7.c dargestellt.



Bilder 7.a bis 7.c: Beschichtete Wasserzählergehäuse – Zonen mit unvollständiger und/oder fehlerhafter Beschichtung



Bilder 8.a und 8.b: Beschichtete Wasserzählergehäuse – Festlegung der Messbereiche zur Bestimmung der Dicke der Epoxidharzschicht



**Bilder 9.a bis 9.c:** Beschichtete Wasserzählergehäuse der Serie (3) - Gemessene Häufigkeitsverteilungen in den 3 Messzonen

### **2.2.3 Prüfung auf Poren**

Die Untersuchungen auf Poren wurden visuell und mit einem Impulsspannungsprüfgerät nach dem in der DIN 55670 „Lacke und ähnliche Beschichtungsstoffe; Prüfung von Lackierungen, Anstrichen und ähnliche Beschichtungen auf Poren und Risse mit Hochspannung“ angegebenen Verfahren durchgeführt [12]. Verwendet wurde ein Porensuchgerät der Fa. mtv messtechnik oHG, Köln des Typs DC Compact DC15/DC30 mit einer Elektrode aus elektrisch leitendem Gummi. Die Messungen wurden mit Prüfspannungen von 0,5 und 1,0 kV durchgeführt. Poren, Risse, unbeschichtete Flächen und sonstige Fehlstellen werden durch sichtbare Funken an der Porensuchelektrode und mit einem akustischen Signal angezeigt. Mit den gewählten Prüfspannungen konnten Poren in Beschichtungen von ca. 30 bis ca. 100 µm Dicke detektiert werden.

### **2.2.4 Ergebnisse**

Bei allen Gehäusen wurden auf den Innenoberflächen Poren und Fehlstellen festgestellt. Die meisten Poren und Fehlstellen wurden in den bereits identifizierten Problemzonen detektiert. Ihre Zahl variierte stark. Sie war abhängig von der Beschichtungsqualität und nahm erwartungsgemäß mit abnehmender Schichtdicke zu.

Im Hinblick auf die Schwermetallmigration sind Poren und Fehlstellen aufgrund ihres geringen Flächenanteils ohne praktische Bedeutung. Sie können prinzipiell zum Problem werden, wenn dadurch Korrosionsvorgänge am Trägermaterial ausgelöst werden und die Beschichtung durch Unterwanderungseffekte vom Trägermaterial abgelöst wird. Diese Effekte sind z.B. bei Grauguss bekannt. Bei diesen Untersuchungen wurden nach 12 Wochen Betrieb keine Hinterwanderungseffekte festgestellt. Effekte dieser Art wurden bei beschichteten Kupferwerkstoffen im Allgemeinen und bei Wasserzählern im Speziellen nicht berichtet.

### **2.2.5 Prüfung der Haftfestigkeit**

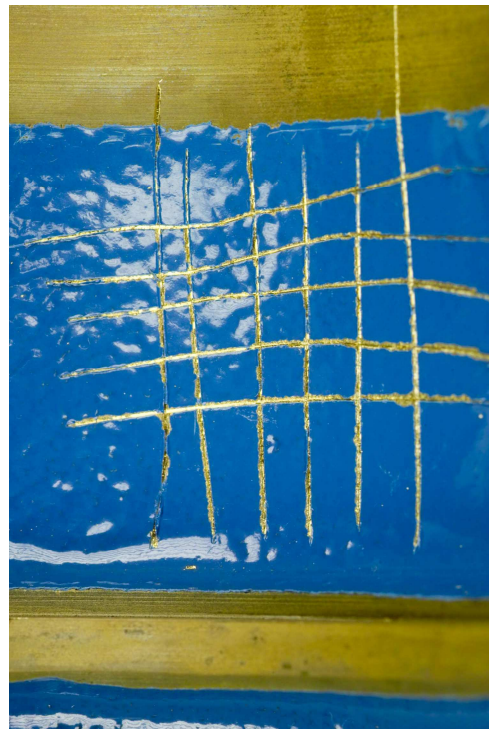
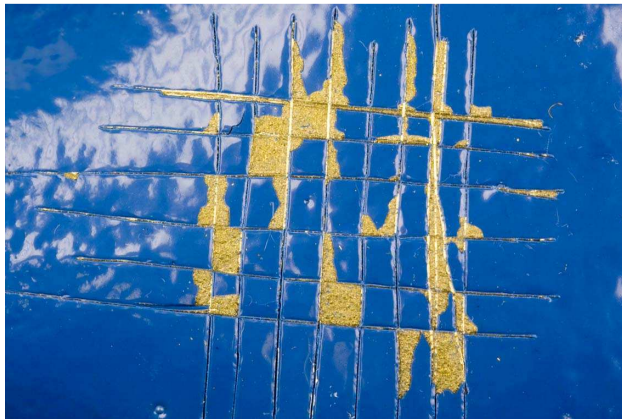
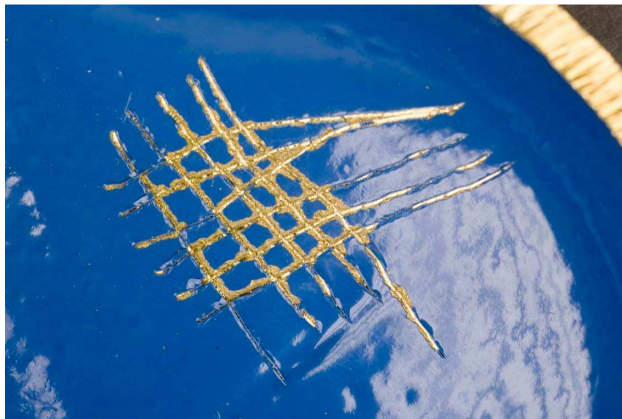
Die Untersuchungen zur Haftfestigkeit wurden mit dem Gitterschnittverfahren mit Klebebandabriss nach EN ISO 2409 „Lacke und Anstrichstoffe – Gitterschnittprüfung“ durchgeführt [13]. Wegen der unterschiedlich gekrümmten Flächen wurden die Schnitte freihändig mit einem scharfen Messer ausgeführt. Die Stempelabrissmetho-



de war aufgrund der unterschiedlich geformten konkaven Flächen der Wasserzählergehäuse nicht anwendbar.

### 2.2.6 Ergebnisse

Die Einstufung der Prüfergebnisse erfolgte nach den in der Norm angegebenen Beispielmustern. Die Bilder 10.a bis 10.c zeigen beispielhaft einige charakteristische Muster. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Wasserzähler der Serie (3), die bei den Korrosionsuntersuchungen verwendet wurden, zusammengestellt. Insgesamt wurde die Mehrzahl der untersuchten Beschichtungen mit sehr gut bis befriedigend bewertet.



**Bilder 10.a – 10.c:** Gitterschnittprüfung - Charakteristische Muster bei den untersuchten Wasserzählergehäusen



**Tabelle 3:** Ergebnisse des Gitterschnitttests der Wasserzähler der Serie (3)

Zähler	Boden	Einlauf	Seite		Zähler	Boden	Einlauf	Seite	
			1	2				1	2
WZ 21	2-3	1	1	0-1	WZ 31	1-2/4	1-2	1	1
WZ 22	2	2	1	1	WZ 32	1-2	0	1-2	1
WZ 23	1-2	1	1	1	WZ 33	3	1	1	1
WZ 24	2-3	1	2	1	WZ 34	1-2	1-2	1	1
WZ 25	1	1	1	1	WZ 35	2-3	1-2	1	1

### 3 Zusammenfassung

Bei vergleichenden Korrosionsuntersuchungen nach DIN 50931-1 mit beschichteten und unbeschichteten Wasserzählern aus der aktuellen Produktion diverser Hersteller wurde eine Verringerung der Schwermetallabgabe durch die Epoxidharzbeschichtung um bis zu 75 Prozent festgestellt.

Die Verringerung entsprach in etwa dem Anteil der mit Epoxidharz beschichteten und vom Wasser berührten Flächen der Wasserzählergehäuse. 20 bis 30 Prozent der Innenoberflächen der untersuchten Gehäuse waren technisch bedingt nicht oder fehlerhaft beschichtet.

Die Blei- und Nickelwerte der beschichteten Wasserzähler aus Gussmessinglegierungen (CuZn39Pb1Al), die in der Vergangenheit bevorzugt zur Herstellung von Wasserzählergehäusen verwendet wurden, erreichten in etwa die Werte der unbeschichteten Wasserzähler aus DIN 50930-6 konformen Kupferlegierungen. Letztere stellen hinsichtlich der Blei- und Nickelabgabe eine substantielle Verbesserung gegenüber den Gussmessinglegierungen (CuZn39Pb1Al) dar.

Aus hygienischen Gründen sollen zur Beschichtung ausschließlich Pulverlacke, die den Anforderungen der Leitlinie des Umweltbundesamtes entsprechen, verwendet werden. Die komplexe Geometrie der Wasserzählergehäuse und physikalisch/technische Gründe erschweren allerdings die Beschichtung der Innenoberflächen mit diesen Materialien. Zwischen den einzelnen Serien wurden deutliche Qualitätsunterschiede festgestellt. Tendenziell waren Neuzähler besser beschichtet als wieder aufgearbeitete Altzähler.

Bei den Schichtdicken wurde eine große Variation sowohl innerhalb des einzelnen Zählers als auch zwischen den einzelnen Serien festgestellt. In der Tendenz wurden

die dicksten Schichten in den Bodenzonen und auf den Seiten gemessen. Deutlich dünnere Schichten wurden in den Ein- und Auslaufzonen festgestellt. Die Mittelwerte in den Bodenzonen variierten zwischen 116 und 214  $\mu\text{m}$ , in den Einlaufzonen zwischen 26 und 27  $\mu\text{m}$  und in den Seitenzonen zwischen 72 und 131  $\mu\text{m}$ .

Die Zahl von unbedeckten Flächen, Poren und Fehlstellen nahm mit abnehmender Schichtdicke zu. Im Hinblick auf die Schwermetallmigration sind Poren und andere Fehlstellen aufgrund ihres geringen Flächenanteils ohne praktische Bedeutung. Probleme könnten auftreten, wenn dadurch Unterwanderungseffekte initiiert werden, in deren Folge die Beschichtung vom Grundmaterial abgelöst wird. Effekte dieser Art wurden bei Kupferwerkstoffen bislang nicht berichtet.

Die Haftfestigkeit der Epoxidharzbeschichtungen wurde bei den Neuzählern mit sehr gut bis gut bewertet. Neubeschichtete Altzähler wurden um ein bis zwei Bewertungszahlen schlechter eingestuft.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse und angesichts derzeit fehlender normativer Vorgaben ist es für den Wasserversorger von entscheidender Bedeutung, bei wieder aufgearbeiteten Altzählern eine DIN 50930-6 konforme Legierung oder eine ausreichende Qualität der Beschichtung einzufordern.

**Danksagungen:** Wir danken dem DVGW in Bonn für die Förderung des Forschungsvorhabens und der Fa. Elster in Lampertheim für die Zurverfügungstellung ihrer Messdaten.

#### 4 Literaturübersicht

- 1 Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, (**Trinkwasserverordnung** – TrinkwV 2001); Bundesgesetzblatt; 2001, Teil 1; Nr.24
- 2 **DIN 50930-6**, Korrosion der Metalle - Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wässer – Teil 6: Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit; 08.2001
- 3 **DIN 50931-1**, Korrosion der Metalle - Korrosionsversuche mit Trinkwässern - Teil 1: Prüfung der Veränderung der Trinkwasserbeschaffenheit; 11.1999
- 4 Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von Epoxidharzbeschichtungen im Kontakt mit Trinkwasser, Umweltbundesamt; 06.2005
- 5 **DVGW W 270**, Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich - Prüfung und Bewertung; 11.1999
- 6 **RAL-GZ 662**, Schwerer Korrosionsschutz von Armaturen und Formstücken durch

Pulverbeschichtung – Gütesicherung; 06.2002

- 7 **DIN 30677-1**, Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Armaturen; Umhüllung (Außenbeschichtung) für normale Anforderungen; 02.1991
- 8 **DIN 3476**, Armaturen und Formstücke für Roh- und Trinkwasser - Korrosionsschutz durch EP-Innenbeschichtung aus Pulverlacken (P) bzw. Flüssiglacken (F) - Anforderungen und Prüfungen; 08.1996
- 9 **DVGW F&E-Vorhaben; Projektnummer W10/02/02**, Untersuchungen zur Schutzwirkung von Beschichtungen aus Epoxidharz auf den Innenoberflächen von metallenen Wasserzählern im Hinblick auf die Verringerung der Schwermetallabgabe; Abschlussbericht; 09.2006
- 10 **DIN EN 1982**, Kupfer und Kupferlegierungen - Blockmetalle und Gussstücke; 12.1998
- 11 **DIN EN ISO 2360**, Nichtleitende Überzüge auf nichtmagnetischen metallischen Grundwerkstoffen - Messen der Schichtdicke - Wirbelstromverfahren; 04.2004
- 12 **DIN 55670**, Lacke und ähnliche Beschichtungsstoffe; Prüfung von Lackierungen, Anstrichen und ähnlichen Beschichtungen auf Poren und Risse mit Hochspannung; 05.1994
- 13 **DIN EN ISO 2409**, Lacke und Anstrichstoffe - Gitterschnittprüfung; 10.1994