

Departement des Innern

**Amt für Umweltschutz** Abteilung Umweltschutz

Kollegium

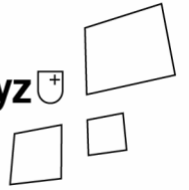
Postfach 2162

6431 Schwyz

Telefon 041 819 20 35

Telefax 041 819 20 49

kantonschwyz<sup>+</sup>



**Schwermetalle auf  
Stahltragwerken der Elektrizitätsübertragung  
im Kanton Schwyz**

**UNTERSUCHUNGEN 2004/2005**

## 1. Ausgangslage

Stahltragwerke der Elektrizitätsübertragung (Stromübertragungsmasten, Stahlmasten) müssen gegen Korrosion geschützt werden. Während in früheren Jahren meistens blei- und/oder chromathaltige Farben (Bleimennige, Bleisilikochromat, Zinkchromat [1]) dafür eingesetzt wurden, sind neuere Beschichtungssysteme grösstenteils blei- und chromatfrei. Zusätzlich wurden in vielen Gebieten die Masten, um diese der Umgebung anzupassen, mit einer grünen Farbe, einem sogenannten Tarnanstrich, versehen. Oft enthalten auch diese Anstriche Schwermetalle wie zum Beispiel Chrom (Chromoxidgrün). Da Korrosionsschutzanstriche nicht unbegrenzt lange halten, müssen die Masten periodisch kontrolliert, gereinigt und gegebenenfalls saniert werden. Eine Totalsanierung durch Abtragen der gesamten alten Beschichtung ist aber unüblich. Vielmehr besteht sie darin, die Masten partiell von Vogelkot und anderem Schmutz sowie Rost mittels speziellen Schwämmen, Stahlbürsten oder Schleifmaschinen zu befreien und teilweise oder ganz mit einer neuen Beschichtung zu versehen. Während den Sanierungsarbeiten können bei mangelnder Arbeitshygiene erhebliche Mengen an Schadstoffen wie Schwermetallen in die Umwelt gelangen. Beispielsweise bei einem mit Bleimennige geschützten Stahlmasten liegt der Bleigehalt bei 100-300 g pro Quadratmeter Oberfläche [2]. Masten aus Metall weisen nicht selten eine Oberfläche von 400 und mehr Quadratmetern aus [3].

Im Kanton Schwyz stehen schätzungsweise 650 Stromübertragungsmasten aus Metall mit einer Oberfläche von mehr als 100'000 m<sup>2</sup> oder grösser als 13 Fussballfeldern.

Um eine Übersicht über die verschiedenen Korrosionsschutzsysteme zu erhalten und die Mengen der darin enthaltenen Schwermetalle Blei, Zink und Chrom abschätzen und letztlich Massnahmen zum Schutze der Umwelt bei anstehenden Sanierungen formulieren zu können, wurden von August 2004 bis Mai 2005 eingehende Abklärungen an einzelnen Stahlmasten im Kanton Schwyz durchgeführt.

Ursprünglich war geplant, auf aufwendige Feldbeprobungen und chemische Analysen zu verzichten und diese Abklärungen zusammen mit den Netzbetreibern (Besitzer der Stromübertragungsmasten) und den Farbenherstellern durchzuführen. Dies scheiterte aber daran, dass einzelne Farbenfabriken heute nicht mehr existieren, die alten Farbrezepturen nicht mehr vorhanden sind oder aber viele Netzbetreiber nicht mehr nachvollziehen können, was vor Jahrzehnten auf ihren Masten appliziert wurde.

## 2. Probenerhebung

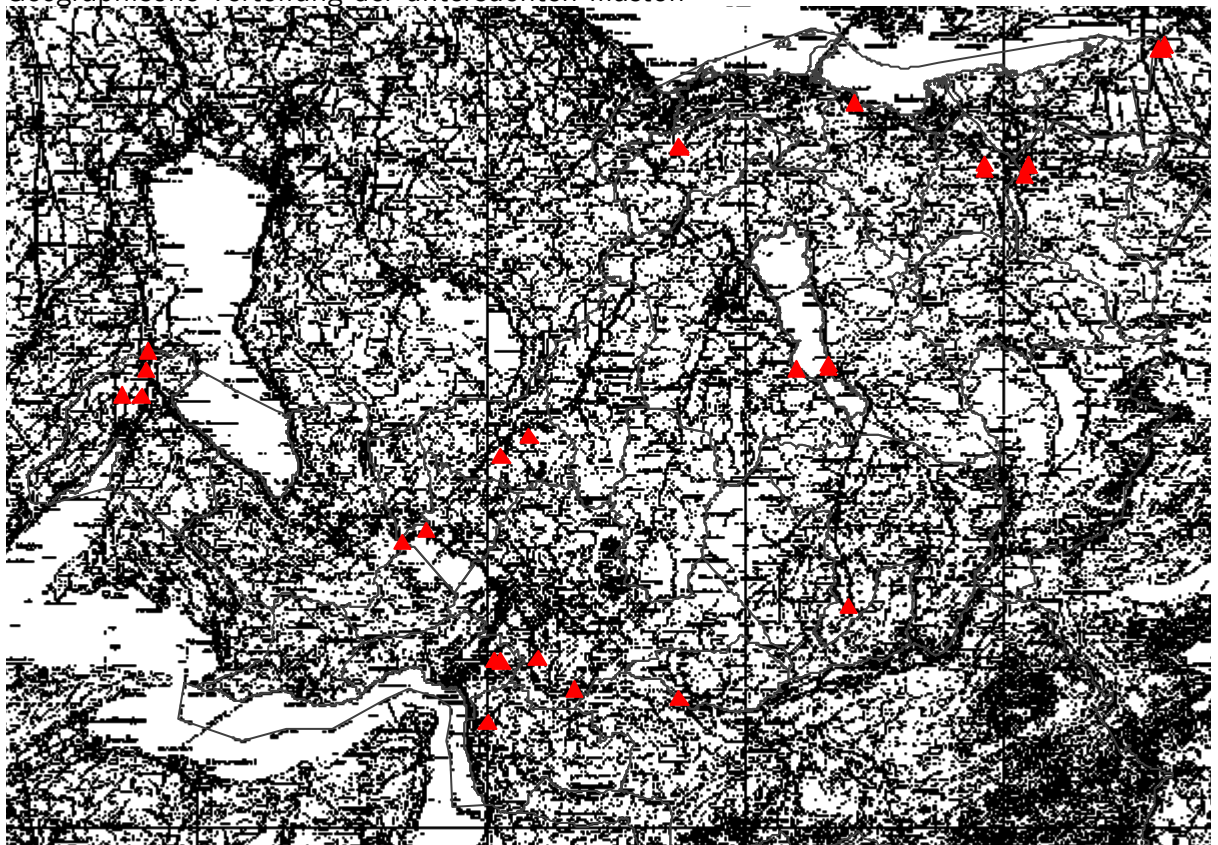
Um eine einigermaßen repräsentative Aussage zu erhalten, wurden 30 Masten verschiedenen Alters mit Übertragungsspannungen von 15 bis 380 kV von fast sämtlichen Netzbetreibern verteilt auf das ganze Kantonsgebiet untersucht.

Nr.	Mastentyp*	Beschichtung sichtbar (Aussehen)	Mastenhöhe in m	Spannung kV	Baujahr
1	Rohr-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	> 30	66/132	1976
2	Rohr-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	> 30	66/132	1976
3	Profil-Gittermasten	silber-orange, stark rostig	12	16	1909
4	Doppel-T-Stahlmasten	Tarnbeschichtung grün	12	16	1995
5	Profil-Gittermasten	Tarnanstrich grün-silber	8	15	ca. 1920
6	Profil-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	> 20	33/32	1972
7	Doppel-Rohrmasten	silber, stark rostig	9	15	ca. 1920
8	Profil-Gittermasten	silber	8	15	ca. 1920

Nr.	Mastentyp*	Beschichtung sichtbar (Aussehen)	Masthöhe in m	Spannung kV	Baujahr
9	Profil-Gittermasten	silber	10	15	ca. 1920
10	Profil-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	> 20	132/50	1922
11	Rohr-Gittermasten	Verzinkt ohne Beschicht.	53	380	1948
12	Rohr-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	55	220	1960
13	Profil-Gittermasten	silber, stark rostig	< 15	15	1910
14	Profil-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	< 20	132	1927
15	Profil-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	< 20	132	1927
16	Profil-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	11	16	1936
17	Profil-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	13	16	1936
18	Profil-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	14	16	1920
19	Rohr-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	34	15	1969
20	Rohr-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	27	220/380	1987
21	Profil-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	37	220	1987
22	Rohr-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	> 20	132	1982
23	Profil-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	45	220	1962
24	Stahlrohr, achteckig	Tarnbeschichtung grün	31	50/110	1988
25	Profil-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	12	16	1934
26	Rohr-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	55	220	2003
27	Rohr-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	58	380	1983
28	Rohr-Gittermasten	Tarnbeschichtung grün	39	380	1976
29	Profil-Gittermasten	grün-orange, beschädigt	21	50/110	1930
30	Profil-Gittermasten	grün-orange, beschädigt	21	50/110	1930

\* Rohr-Gittermasten = Gittermasten mit Rohrdiagonalen  
 Profil-Gittermasten = Gittermasten mit Profildiagonalen

Geographische Verteilung der untersuchten Masten



### 3. Analytik

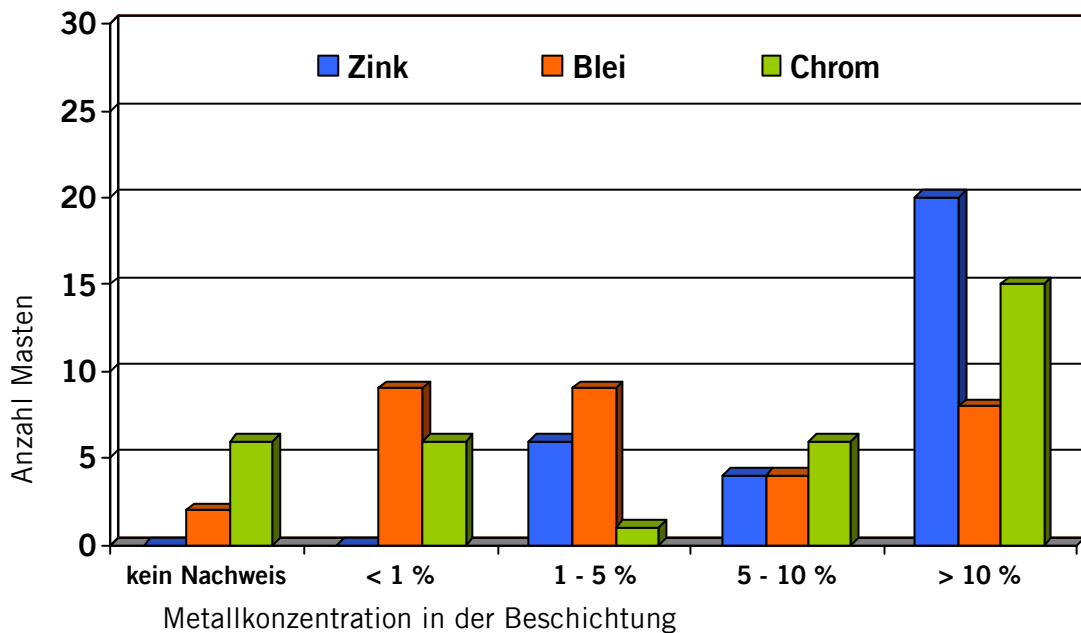
- a) Die Masten wurden mittels mobilem Röntgenfluoreszenzgerät (Niton XLt 800 mit 10 W Röntgenröhre [ohne radioaktive Quelle]) auf

#### Blei (Pb), Zink (Zn) und Chrom (Cr)

untersucht. Diese Methode erlaubt eine schnelle und zerstörungsfreie semiquantitative Analyse vor Ort.

- b) Aufgrund der Tatsache, dass in 22 von 28 untersuchten Beschichtungen Chrom gefunden wurde und mittels mobilem Röntgenfluoreszenzgerät nicht unterschieden werden kann, ob es sich dabei um Chromoxid- oder problematische Chromatpigmente handelt, wurden 10 Beschichtungsproben von 9 Masten zusätzlich von der Eidgenössischen Materialprüfanstalt (EMPA) in Dübendorf im Rasterelektronenmikroskop mittels energiedispersiver Röntgenmikroanalyse REM/EDX und Röntgeninterferenzanalyse XRD auf ihre elementare Zusammensetzung, speziell auf **Chromate (CrVI)** analysiert.

### 4. Ergebnisse Zusammenfassung (Detailzusammenstellung im Anhang):



	kein Nachweis	< 1 %	1 - 5 %	5 - 10 %	> 10 %	Total untersuchte Masten
<b>Zink (Zn)</b>	0	0	6	4	20	30
<b>Blei (Pb)</b>	2	7	9	4	8	30
<b>Chrom (Cr)</b>	6	0	1	6	15	28
<b>Chromate (CrVI)</b>	8	0	1	0	0	9

**40 % der untersuchten Masten enthalten eine stark bleihaltige Korrosionsschutzbeschichtung mit einer Bleikonzentration von über 5 %. Bei acht Masten (27 %) liegt sie sogar über 10 %. Von der Farbe her und wie auch Untersuchungen der Empa bestätigen, handelt es sich dabei meistens um Bleioxide (Bleimennige). Lediglich bei zwei Masten konnte kein Blei detektiert werden.**

**Zink wurde an allen Masten gefunden. Der Konzentration nach sind mehr als 60 % der Stahltragwerke feuerverzinkt oder enthalten grosse Mengen Zink in der Farbbeschichtung.**

**80 % der Beschichtungen enthalten neben anderen Schwermetallen auch Chrom, wobei lediglich in einer Beschichtungsprobe Chrom-VI-Pigmente (Bleichromat) nachgewiesen werden konnten.**

## **5. Diskussion der Resultate**

Einerseits überrascht die grosse Anzahl an bleihaltigen Masten, da doch im Vorfeld der Untersuchungskampagne die meisten Netzbetreiber versicherten, dass ihre Stahltragwerke mit bleifreien Beschichtungen vor Korrosion geschützt sind. Andererseits kann die Vielzahl damit plausibel begründet werden, da bis Ende der Siebziger Jahre Bleimennige als das Korrosionsschutzpigment schlechthin galt und sehr oft eingesetzt wurde. Dies zeigen auch Erfahrungen aus dem schweren Korrosionsschutz wie beispielsweise bei Stahlbrücken. Dazu kommt noch, dass bei Stahlmasten die Beschichtungen nie oder nur höchst selten ganz entfernt werden und deshalb die alten Beschichtungen bis hin zur Erstbeschichtung grösstenteils immer noch vorhanden sind. Weiter stellte sich im Laufe der Abklärungen auch heraus, dass bei den Besitzern oft nur noch die letzte Sanierung eines Mastens aktenkundig ist und sie daher von den früheren Beschichtungen nichts mehr wissen.

Alle feuerverzinkten Masten zeigen unabhängig davon, ob sie eine Deckbeschichtung aufweisen oder nicht, eine Bleikonzentration von mindestens 0,1 - 2 %. Dies rührt daher, dass die Verzinkereien den Zinkbädern Blei zugeben, um das Ablaufverhalten zu verbessern und das Absetzen des Hartzinkes zu fördern. Zudem wurde früher oft Zink mit einer minderen Qualität (Hüttenroh-zink) eingesetzt. [4]

## **6. Umweltschutz**

### **a) Umweltschutzmassnahmen bei Sanierungen**

Die gefundenen Schwermetallkonzentrationen in den Beschichtungen bestätigen, dass bei Sanierungsarbeiten Massnahmen zum Schutz der Umwelt, speziell des Bodens, unumgänglich sind. Sofern kein Totalabtrag der Altbeschichtung mittels Druckluftstrahlen stattfindet (in der Praxis auch nicht üblich), kann eine Bodenabdeckung eine akzeptable Massnahme sein. Die Fläche des abzudeckenden Bodens richtet sich primär nach der Höhe des Masten. Die Abdeckung und das Einsammeln der Farbpartikel und -staubes muss sorgfältig durchgeführt werden.

Korrosionsschutzsanierungen an Stahlmasten, bei welchen Farb- und Staubpartikel freigesetzt werden, sind gestützt auf Art. 12 der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vor Arbeitsbeginn den zuständigen Behörden generell zu melden (Meldepflicht).



Foto AfU Glarus

Eine weiträumige Bodenabdeckung verhindert zusätzliche Belastungen des Bodens mit Beschichtungspartikeln. Wichtig sind dabei auch die Seitenwände, damit Farbteile nicht durch Wind von der Abdeckung verfrachtet werden.

## b) Situation Bodenschutz und Altlasten

Unter einem **mit Bleimennige beschichteten Masten** aus dem Jahre 1922 (gleiche Leitung wie Masten Nr. 10) wurden im September 2005 der Ober- und der Unterboden bei der Niutec AG in Winterthur mittels ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) auf die Schwermetalle Blei, Zink und Chrom untersucht. Dabei wurden folgende Werte gefunden:

Resultate in ppm (mg/kg)	0 - 20 cm	20 - 40 cm	Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö)		
			Richtwert	Prüfwert	Sanierungswert
<b>Blei (Pb)</b> tot.	<b>1'345</b>	<b>1'086</b>	50	200	2'000
<b>Zink (Zn)</b> tot.	<b>621</b>	<b>529</b>	150	---	2'000
<b>Chrom (Cr)</b> tot.	<b>28.5</b>	<b>23.3</b>	50	---	---

Analysen von Bodenproben unter einem **verzinkten Masten ohne Deckbeschichtung** aus dem Jahre 1948 zeigen folgende Werte (Analysen vom November 2002):

Resultate in ppm (mg/kg)	0 - 20 cm	20 - 40 cm	Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö)		
			Richtwert	Prüfwert	Sanierungswert
<b>Blei (Pb)</b> tot.	<b>54</b>	Keine Messung	50	200	2'000
<b>Zink (Zn)</b> tot.	<b>2'179</b>	Keine Messung	150	---	2'000
<b>Cadmium (Cd)</b> tot.	<b>2.4</b>	Keine Messung	0.8	2	30

Auch Analysen aus den Kantonen Luzern (Masten feuerverzinkt [5]) und Glarus (Masten mit Bleimennige beschichtet [6]) zeigen, dass Böden unterhalb und im engeren Umkreis eines Mastens zum Teil stark mit Schwermetallen belastet sein können und somit als potentielle Altlasten zu klassieren sind.

## 7. Quellennachweis

- [1] Römpps Chemie-Lexikon, Dr. Otto-Albrecht Neumüller, Franckh'sche Verlagshandlung Stuttgart
- [2] „Korrosionsschutz kann Luft, Wasser und Boden belasten“, Dr. Jakob Marti, April 2001
- [3] Auskunft Christian Huber, Wilcop AG, Bleienbach, 23. November 2004
- [4] Auskunft Alexander Thiermann, Schweiz. Fachstelle Feuerverzinken, 21. September 2004
- [5] „Sanierung von Zn und Cd verunreinigten Böden unter einer Hochspannungslleitung“, Dr. Markus Egli, 2001
- [6] „Handentrostung eines Hochspannungsmastens“, Dr. Jakob Marti, November 1994

## 8. Herzlichen Dank...

- Eigentümer der untersuchten Masten
- Dr. Jakob Marti, Amt für Umweltschutz Glarus
- Dr. Martin Tuchschnid, EMPA Dübendorf
- Bächli Instruments, Affoltern a. Albis
- Dr. Robin Quartier, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
- Peter Müller, Marty Korrosionsschutz AG, Pfäffikon
- Walter Nef und Urban Castelberg, Streicolor AG, Frauenfeld
- Alexander Thiermann, Schweizerische Fachstelle Feuerverzinken, Luzern
- Christian Huber, Wilcop AG, Bleienbach

## Anhang

Nr.	Baujahr	Spannung kV	Höhe in m	Bemerkungen	% Zn*	% Pb*	% Cr*	andere	
1	1976	66/132	> 30	Beschichtung unbekannt	2.7 - 9.3	10.5 - 15.4	5 - 10	keine Chromate	
2	1976	66/132	> 30	Beschichtung unbekannt	> 20	2.1 - 3.0	Keine Messung	CrVI nicht untersucht	
3	1909	16	12	Beschichtung unbekannt / Rost!	2.0 - 3.6	> 20	Unter der Nachweisgrenze	CrVI nicht untersucht	
4	1995	16	12	Beschichtung unbekannt	> 20	0.5	Keine Messung	CrVI nicht untersucht	
5	ca. 1920	15	8	Beschichtung unbekannt	> 20	0.3 - 0.4	Unter der Nachweisgrenze	CrVI nicht untersucht	
6	1972	66/132	> 20	Beschichtung unbekannt	2.6 - 5.6	7.6 - > 20	> 20	keine Chromate	
7	ca. 1920	15	9	Beschichtung unbekannt / Rost!	3.3 - 4.8	2.3 - 5.6	Unter der Nachweisgrenze	CrVI nicht untersucht	
8	ca. 1920	15	8	Beschichtung unbekannt	> 20	Unter der Nachweisgrenze	0.3 - 1.0	CrVI nicht untersucht	
9	ca. 1920	15	10	Sanierung 1995 / Spritz-Zn/Fe-Glim.	> 20	Unter der Nachweisgrenze	Unter der Nachweisgrenze	CrVI nicht untersucht	
10	1922	132/50	> 20	Beschichtung unbekannt	3.4 - 3.9	8.4 - > 20	7.7 - 13.4	keine Chromate	
11	1948	380	53	Feuerverzinkt ohne Deckbeschichtung	> 20	1.4 - 2.0	Unter der Nachweisgrenze	CrVI nicht untersucht	
12	1960	220	55	PVC-Acryl (Sika-Icosit 5530 RGM)	14.7 - > 20	0.1 - 0.8	> 20	CrVI nicht untersucht	
13	1910	15	< 15	Beschichtung unbekannt / Rost!	0.7 - 3.2	0.5 - 1.2	Unter der Nachweisgrenze	CrVI nicht untersucht	
14	1927	132	< 20	Sanier. 1951/74. Besch.unbekannt	3.4 - 4.7	9.7 - 17.1	8.4 - 9.8	CrVI nicht untersucht	
15	1927	132	< 20	Beschichtung unbekannt	3.7 - 4.7	3.1 - 5.5	7.9 - 8.3	keine Chromate	
16	1936	16	11	Beschichtung unbekannt	3.8 - 13.7	8.5 - 9.2	18.7 - > 20	5 - 10 % Pb-Chromat!	
17	1936	16	13	Beschichtung unbekannt	17.1 - > 20	7.8 - 10.9	12.5 - 19.7	CrVI nicht untersucht	
18	1920	16	14	Beschichtung unbekannt	5.0 - > 20	0.3 - 3.5	6.5 - > 20	keine Chromate	
19	1969	15	34	Feuerverzinkt, Duplex unbekannt	> 20	1.7 - 2.4	> 20	CrVI nicht untersucht	
20	1987	220/380	27	Feuerverzinkt, Duplex unbekannt	> 20	0.1 - 1.8	> 20	CrVI nicht untersucht	
21	1987	220	37	Feu-Zn, Streit CKM (K 48.01.79085)	> 20	1.2 - 2.1	> 20	CrVI nicht untersucht	
22	1982	132	> 20	Beschichtung unbekannt	> 20	0.2	6.9 - 8.0	keine CrVI / > 10 % Cr!	
23	1962	220	45	Sanierung 1988 / Streit CKM (K48..)	> 20	0.5 - > 20	> 20	keine CrVI / 3 - 10 % Cr!	
24	1988	50/110	31	Streicolor Duplex-System CKM	> 20	0.1 - 0.4	> 20	CrVI nicht untersucht	
25	1934	16	12	Neu saniert! Sika-Icosit 6630 M	> 20	0.4 - 0.6	5.3 - 7.2	CrVI nicht untersucht	
26	2003	220	55	Sika-Icosit 6630 M	> 20	< 0.1 - 1.1	7.2 - 8.2	CrVI nicht untersucht	
27	1983	380	58	Streit CKM (K 48.01.79085)	> 20	0.5 - 1.9	> 20	CrVI nicht untersucht	
28	1976	380	39	Lumiflex Emailack 40 um (oliv 5168)	> 20	0.2 - 0.5	> 20	CrVI nicht untersucht	
29	1930	50/110	21	Sanierung 1984 m. Lumiflex DS Email	6.2 - 6.8	9.0 - 11.3	12.2 - 13.6	keine Chromate	
30	1930	50/110	21	Sanierung 1984 m. Lumiflex DS Email	6.6 - 7.1	4.6 - 9.6	12.4 - 13.0	CrVI nicht untersucht	
					<b>% Zink</b>	<b>% Blei</b>	<b>% Chrom</b>	<b>% Chromat</b>	
					<b>0 %</b>	<b>0</b>	<b>2 (7 %)</b>	<b>6 (21 %)</b>	<b>8</b>
					<b>&lt; 1 %</b>	<b>0</b>	<b>7 (23 %)</b>	<b>0</b>	
					<b>1 - 5 %</b>	<b>6 (20 %)</b>	<b>9 (30 %)</b>	<b>1 (4 %)</b>	
					<b>5 - 10 %</b>	<b>4 (13 %)</b>	<b>4 (13 %)</b>	<b>6 (21 %)</b>	<b>1</b>
					<b>&gt; 10 %</b>	<b>20 (67 %)</b>	<b>8 (27 %)</b>	<b>15 (54 %)</b>	

\*Die unterschiedlichen Konzentrationen des gleichen Metalls an demselben Masten rühren daher, dass pro Masten mehrere Messungen an verschiedenen Stellen durchgeführt wurden. Die ausgewiesenen Daten entsprechen den kleinsten und den grössten gefundenen Werten.