

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie	Branchenbezogene Merkblätter zur Altlastenbehandlung	Stand: 01/2000 Bearbeiter: Dr. Daffner DI Scheppat Umweltbüro GmbH Vogtland
Referat Altlasten	6: Galvanikbetriebe	Seiten: 18

1 Branchentypisches Schadstoffpotential

1.1 Gesetzliche Grundlagen

Folgende Vorschriften über die Behandlung anfallender Abwässer gab es in der DDR, BURKHARDT, W.; LÜPKE, I. I. G.; THEILIG, W. (1967):

- Wassergesetz vom 19.04.1963; Bl. Nr. 5 Teil I und die erste Durchführungsbestimmung; Bl. Nr. 43 Teil II
- Verordnung über die hygienische Überwachung von Wasser und Abwasser vom 23.07.1953; Bl. Nr. 40
- Arbeitsschutzanordnung 198 vom 10.02.1964; Bl. Nr. 21 Teil II
- TGL 11072 Mai 1964; Vorentwurf - Abwasser aus Galvanik und Härtereietrieben
- TGL 8527 Januar 1966; Entwurf - Abwässer aus Beizeereien

Folgende Vorschriften für den Arbeitsschutz in der Galvanotechnik gab es in der DDR, RÖDER, M. (1968):

- Gesetzbuch der Arbeit der DDR - Verordnung zur Erhaltung und Förderung der Gesundheit der Werktätigen im Betrieb (Arbeitsschutzverordnung - ASVO) 1966:
 - ASAO 192; Metallbearbeitung
 - ASAO 194; Cyanidhärtereien
 - ASAO 195; Metall-Brennen
 - ASAO 198; Galvanotechnik
 - ASAO 207; Gewinnung und Verwendung von Blei und seinen Verbindungen (Blei-Merkblatt)
 - ASAO 303; Verwendung gesundheitsschädigender, flüchtiger, nicht brennbarer Lösungsmittel zu Reinigungszwecken (Trichlorethylen-Merkblatt)

Folgende Gesetze und Richtlinien sind aktuell:

- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen - Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) mit Verordnungen; 27. September 1994
- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998 einschließlich der Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), gültig seit 12. Juli 1999
- Sächsisches Abfallwirtschafts- und Bodenschutzgesetz (SächsABG); 20. Mai 1999
- Richtlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)
- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts - Wasserhaushaltsgesetz (WHG); in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. November 1996
- Rahmen-Abwasser VwV - Allgemeine Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer vom 25. November 1992; Novellierung vom 31. Januar 1994
- Sächsisches Wassergesetz (SächsWG); April 1993, mit Überarbeitung von 1998
- Richtlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
- Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege - Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG); in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. August 1997
- Chemikaliengesetz (ChemG); 12. März 1987

1.2 Einteilung

Die Einteilung von Galvanikbetrieben bzw. galvanischen Anlagenteilen wird von den technologischen Verfahren bestimmt. Die technologischen Verfahren werden durch die folgenden Behandlungsstufen nach BURKHARDT, W.; LÜPKE, I. I. G.; THEILIG, W. (1967) beschrieben:

- Oberflächenvorbehandlung (Schleifen, Polieren, Beizen, Entfetten)
- Zwischenarbeitsgänge (Spülen, Neutralisieren, Dekapieren, Entgiften, anodisch Aufrauen)
- Verfahren der Metallabscheidung (Verkupfern, Verchromen, Verzinken u. a.)
- Verfahren zur Umwandlung der Metalloberfläche (Aloxidieren, Schwarzoxidieren, Phosphatieren)
- Nachbehandlungsverfahren (Chromatieren, Lackieren, Entmetallisieren u. a.)

1.3 Technologie

In der Tabelle 1 sind die Schlüssel für die folgenden Behandlungsstufen dargestellt.

Tab. 1: Kurzzeichenübersicht der Behandlungsstufen, BURKHARDT, W.; LÜPKE, I. I. G.; THEILIG, W. (1967)

Vorbehandlungsverfahren	Zwischenarbeitsgänge	Verfahren der Metallabscheidung	Verfahren zur Umwandlung der Metalloberfläche	Nachbehandlungsverfahren
M - Mechanische Verfahren	S - Spülen	Cu - Verkupfern	Al - Aloxidieren	C - Chromatieren
P - Polieren	N - Neutralisieren	Ni - Vernickeln	So - Schwarzoxidieren	Pa - Passivieren
B - Beizen und Brennen	D - Dekapieren	Cr - Verchromen	Ph - Phosphatieren	V - Verdichten
GL - Chemisch oder elektro-chemisch Glänzen (Polieren)	G - Entgiften im Tauchverfahren	Zn - Verzinken		Fä - Färben
F - Reinigen und Entfetten	A - Anodisch Aufrauen	Cd - Verkadmen		T - Trocknen
		Sn - Verzinnen		E - Entmetallisieren

1.3.1 Oberflächenvorbehandlung und Zwischenarbeitsgänge

Die Oberflächenvorbehandlung wird in zwei Verfahren eingeteilt:

- mechanisch (Schleifen, Bürsten, Polieren),
- chemisch und elektrolytisch (Entfetten, Spülen, Neutralisieren, Dekapieren, Beizen, Brennen, elektrolytisches Polieren und Entgraten, chemisches Polieren u.a.).

Die Verfahren dienen der Beseitigung von Zunder-, Rost und Salzsichten, Fette und Öle sowie lose anhaftende Schmutzpartikel der zu galvanisierenden Halbzeuge und Produkte. Zwischenarbeitsgänge werden für verschiedene technologische Konzeptionen der Oberflächenbehandlung benötigt.

In der Tabelle 2 werden die Oberflächenvorbehandlungen und die Zwischenarbeitsschritte mit den in der DDR verwendeten Betriebsmitteln systematisch dargestellt.

Tab. 2: Behandlungsstufe Oberflächenvorbehandlung mit Betriebsmitteln der ehem. DDR,
BURKHARDT, W.; LÜPKE, I. I. G.; THEILIG, W. (1967)

Kurzzeichen	Verfahren	Elektrolyte, Lösungen oder andere Arbeitsmittel
A - A1	Anodisch Aufräuen	GTL- Chromsalz 20 kg/100 l
B - B1	Beizen in H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄ konzentriert 5 ... 10 l/ 100 l
B - B2	Beizen mit HCl	HCl konzentriert 10 ... 50 l/ 100 l
B - B3	Beizen mit HNO ₃	HNO ₃ konzentriert 50 l/ 100 l
B - B4	Beizen mit H ₃ PO ₄	H ₃ PO ₄ konzentriert 2 ... 15 l/ 100 l
B - B5	Beizen mit Alkalien	GTL- Aluminiumbeizsalz "Alox" 10 kg/ 100 l
D - D1	Dekapieren in verdünnter H ₂ SO ₄ , HCl oder deren Gemische	H ₂ SO ₄ , HCl konzentriert 2 ... 5 l/ 100 l
D - D2	Dekapieren in verdünnter HNO ₃	HNO ₃ konzentriert 0,25 l/ 100 l
D - D3	Dekapieren in NaCN	NaCN 5 kg/ 100 l
F - F1	Entfetten mit organischen Lösungsmitteln	Trichlorethylen Tetrachlorethylen
F - F2	Entfetten mit alkalischem Reiniger im Spritzverfahren	GTL- Entfettungssalz "Alphazinol nicht schäumend" 3 kg/ 100 l
F - F3	Entfetten mit alkalischem Reiniger im Tauchverfahren	GTL- Entfettungssalz "Alphazinol"
F - F4	Elektrolytisch Entfetten, katodisch	GTL- Entfettungssalz "ES" 10 ... 15 kg/ 100 l <i>oder</i> GTL- Entfettungssalz "ES" cyanfrei Typ P 6 kg/ 100 l, GTL- Zusatzsalz "Hydrox" 6 kg/ 100 l
F - F5	Elektrolytisch Entfetten, anodisch	GTL- Entfettungssalz "ES" 10 ... 15 kg/ 100 l <i>oder</i> GTL- Entfettungssalz "ES" cyanfrei Typ P 6 kg/ 100 l GTL- Zusatzsalz "Hydrox" 6 kg/ 100 l
F - F6	Elektrolytisch Entfetten bei gleichzeitiger Abscheidung eines dünnen Kupferüberzuges	GTL- Entfettungssalz "Cupronit" 10 kg/ 100 l
F - F7	Handentfettung mit Entfettungsbrei oder -kalk	GTL- Entfettungspulver "Fluxal" 0,5 ... 1,0 kg/ kg H ₂ O
G - G1	Tauchentgiftung für Cyanide	Natriumhypochlorid
GI - GI1	Chemisches Glänzen von Aluminium	GTL- Glanzbeize III
GI - GI2	Elektrolytisches Glänzen von Aluminium	GTL- Glänzelektrolyt "Universal II"
M - M1	Vorschleifen an rotierenden Scheiben oder Bändern	Elektrokorund und Bindemittel
M - M2	Schleifen an rotierenden Scheiben oder Bändern, Zirkularbürsten	feste oder flüssige Vorschleifmittel Zirkularbürsten
M - M3	Scheuern oder Gleitschleifen	GTL- Scheuermittel "T" 1,5 kg/ 100 l
M - M4	Strahlen	Stahlkies, Quarzsand, -mehl, Korund
N - N1	Neutralisieren in alkalischer Lösung	NaOH 5 kg/ 100 l <i>oder</i> Natriumkarbonat 5 ... 10 kg/ 100 l
N - N2	Neutralisieren in saurer Lösung	H ₂ SO ₄ konzentriert 2 ... 5 l/ 100 l <i>oder</i> Essigsäure konzentriert 1 ... 5 l/ 100 l
P - P1	Polieren mit losem ungebundenem Poliermittel	GTL- Poliersalz "Politol" 1 ... 1,5 kg/ 100 l
P - P2	Polieren an rotierenden Scheiben mit festem oder flüssigem Poliermittel	feste und flüssige Vor- bzw. Hochglanzpoliermittel
S - S1	fließend Spülen, zweistufig - kalt	Wasser
S - S2	Heißspülen	entsalztes Wasser (Deionat)
S - S3	Standspülen, einstufig - kalt	Wasser
S - S4	fließend Spülen, einstufig - kalt	Wasser

1.3.2 Elektrolytische und chemische Abscheidung von metallischen Überzügen

Die Verfahren zur elektrolytischen Abscheidung metallischer Überzüge werden nach dem verwendeten Elektrolyt unterteilt. Elektrolyte sind alle Stoffe, die der elektrolytischen Dissoziation unterliegen und in der Lage sind, in der Schmelze oder in Lösung elektrischen Strom zu leiten. Chemische Abscheidungsprozesse werden in reduktive chemische Tauch-, Kontakt-, Sud- und Anreibeverfahren unterschieden.

Bei galvanischen Prozessen werden verschiedene Elektrolyte verwendet, die vor allem durch den folgenden Verwendungszweck bestimmt werden. In der Tabelle 3 werden die in den galvanischen Betrieben der ehemaligen DDR praktizierten Verfahren der Metallabscheidung dargestellt.

Tab. 3: *Behandlungsstufe der elektrolytischen und chemischen Metallabscheidung, BURKHARDT, W.; LÜPKE, I. I. G.; THELIG, W. (1967)*

Kurzzeichen	Verfahren	Elektrolyte, Lösungen oder andere Arbeitsmittel
Cd - Cd 1	Verkadmen mit cyanidischem Elektrolyt matt bis glänzend	GTL- Cadmiumsalz 285 12 kg/ 100 l
Cr - Cr 1	dekoratives Verchromen	GTL- Chromsalz 30 ... 40 kg/ 100 l
Cr - Cr 2	Verchromen von Kleinteilen in Trommeln	GTL- Chromsalz 40 kg/ 100 l Flusssäure konzentriert 0,25 l/ 100 l
Cr- Cr 3	technische Verchromung	GTL- Chromsalz 30 kg/ 100 l
Cu - Cu 1	Verkupfern mit einfachem cyanidischen Elektrolyt	GTL- Kupfersalz "Standard 61" 25 kg/ 100 l
Cu - Cu 2	Verkupfern mit cyanidischem Hochleistungselektrolyt	GTL- Spezialcyanid 1 kg/ 100 l
Cu - Cu 3	Verkupfern mit schwefelsaurem Elektrolyt	GTL- Kupfersalz "G" 22 kg/ 100 l Schwefelsäure 3 kg/ 100 l
Ni - Ni 1	Vernickeln, stromdichteempfindlicher Werkstücke mit zitronensaurem Elektrolyt	GTL- Nickelsalz "IAC" 10 kg/ 100 l
Ni - Ni 2	Vernickeln matt mit Hochleistungselektrolyt	GTL- Nickelsalz "TS Typ E" 25 kg/ 100 l
S - Sn 1	Verzinnen im sauren Elektrolyt	GTL-Zinnsalz "OP" sauer 12 kg/100 l
S - Sn 2	Verzinnen im alkalischen Elektrolyt	GTL-Zinnsalz, alkalisch 2 kg/100 l
Zn - Zn 1	Verzinken mit cyanidischem Elektrolyt, matt	GTL- cyanidisches Zinksalz "Standard 63" 21 kg/ 100 l
Zn - Zn 2	Verzinken mit cyanidischem Elektrolyt, glänzend	GTL- cyanidisches Zinksalz "Standard 63" 21 kg/ 100 l <i>mit oder ohne</i> GTL- Glanzzusatzlösung "ZN 66 Konz." 0,1 kg/ 100 l <i>oder</i> GTL- Glanzzusatzsalz "GE" 0,1 kg/ 100 l
Zn - Zn 3	Verzinken mit schwefelsaurem Elektrolyt	GTL- Zinksalz "Saxonia" 38 kg/ 100 l

1.3.3 Elektrolytische und chemische Erzeugung nichtmetallischer Schichten und Nachbehandlungsverfahren

Bei den elektrolytischen Prozessen zum Erzeugen nichtmetallischer Schutzschichten wird vor allem die anodische Oxidation von Werkstoffen eingesetzt, welche in der DDR vorrangig für Aluminiumwerkstücke zur Korrosionsminderung und Erhöhung der Verschleißfestigkeit verwendet wurde. Unter dem Namen Aloxidieren wurden in elektrolytischen Prozessen harte, verschleißfeste, temperaturbeständige und färbare Oxidschichten auf der Werkstückoberfläche für technische und dekorative Zwecke erzeugt.

Dem elektrolytischen Erzeugen nichtmetallischer Schichten steht die chemische Erzeugung in Form von Phosphatieren und Schwarzoxidieren gegenüber.

Beim Phosphatieren werden Werkstücke aus Stahl durch Tauch- und Spritzverfahren einer Oberflächenbeschichtung zur Minderung von Korrosionsprozessen zugeführt.

Dabei erreicht die nichtmetallische Schicht nicht die Eigenschaften von elektrolytisch aufgetragenen Schichten im Hinblick auf Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit, so dass eine nachfolgende Behandlung in Form von Lackieren, Ölen und/ oder Wachsen notwendig wird.

Ein weiterer chemischer Prozess zum Aufbringen nichtmetallischer Oberflächenbeschichtungen zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit ist das Schwarzoxidieren. Die Schichten werden durch Tauchen der Werkstücke in alkalische Lösungen erzeugt. Diese Lösungen enthalten Salze, die unter den Prozessbedingungen ($T = 135 \dots 145 \text{ }^\circ\text{C}$) leicht Sauerstoff freisetzen. Unter Zusatz von Schwarzfärbelösungen wird bei den Werkstücken eine korrosionshemmende Schwarzoxidschicht erzeugt. Grundlage erfolgreicher und qualitätsgerechter Oberflächenbeschichtungen bilden die bekannten Oberflächenvorbehandlungen.

Tab. 4: *Behandlungsstufen der Erzeugung nichtmetallischer Oberflächen und Nachbehandlungsverfahren, BURKHARDT, W.; LÜPKE, I. I. G.; THEILIG, W. (1967)*

Kurzzeichen	Verfahren	Elektrolyte, Lösungen oder andere Arbeitsmittel
Al - Al 1	Aloxidieren im Gleichstrom-Schwefelsäureverfahren	Schwefelsäure konz. 15,5 l/ 100 l, GTL-Zusatzsatz für Aloxid- Elektrolyte 3 kg/ 100 l
C - C 1	Chromatieren in saurer Lösung	Kaliumdichromat 10 ... 15 kg/ 100 l Schwefelsäure 0,1 ... 0,2 l/ 100 l Natriumchlorid 0,1 ... 0,2 Kg/ 100 l
E - E 1	Entchromen	GTL- Entmetallisierungssatz für Chrom 10 kg/ 100 l
Fä - Fä 1	Färben mit Aluminiumfarben	GTL- Oxalanfarben 0,5 ... 3,0 kg/ 100 l je nach Farbe
Pa - Pa 1	Passivieren in Chromsäurelösung	Natriumdichromat <i>oder</i> Chromsäureanhydrid 10 kg/ 100 l und Phosphorsäure konz. 10 kg/ 100 l (für phosphatierte Oberflächen) <i>oder</i> Chromsäureanhydrid 10 kg/ 100 l (für vermessigte Oberflächen)
Pa - Pa 2	Passivieren mit alkalischer Lösung	Natriumhydroxid 2 kg/ 100 l <i>oder</i> Natriumkarbonat 2 ... 5 kg/ 100 l
Ph - Ph 1	Phosphatieren im Tauchverfahren	Phosphorsal "H 70"
So - So 1	Schwarzoxidieren von Stahl (Brünieren)	GTL- Schwarzfärbesatz für Stahl 80 kg/ 100 l
T - T 1	Trocknen durch Erwärmen	Trockenschrank oder -ofen
T - T 2	Lufttrocknung	Pressluft oder Lufttrockenanlagen
T - T 3	Trocknen in Zentrifugen	Zentrifugen mit Warmluft oder elektrisch beheizt
T - T 4	Trocknung mit Sägespänen	harzfreie Hartholzstäbespäne
V - V 1	Verdichten in Heißwasser	entsalztes Wasser
V - V 2	Verdichten in Nickelsalzlösung	GTL- Nachverdichtungslösung Typ A 1,5 kg/ 100 l
V - V 3	Verdichten in Chromatlösung	GTL- Nachverdichtungslösung Typ B 2,5 kg/ 100 l

1.4 Zusammenfassung der altlastenrelevanten Stoffe und Stoffgruppen und deren Zuordnung zu Analyseparametern

In Tabelle 5 werden die eingesetzten Stoffgruppen und Stoffe für die Verfahren zur Oberflächenbehandlung folgenden Analyseparametern zugeordnet:

Tab. 5: Eingesetzte Stoffgruppen und Stoffe für die Verfahren der Oberflächenbehandlung, SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1998)

Stoffgruppe	Stoffe	Analysenparameter
Entfettungssalze und Schwermetallsalze	Aluminiumsalz	Al, SO_4^{2-}
	Cadmiumsalz	Cd, CN^- , Na, SO_4^{2-}
	Chromsalz	Cr-(III), Cr-(VI), SO_4^{2-}
	Kaliumdichromat	K, Cr-(VI)
	Kupfersalz	Cu, SO_4^{2-}
	Natriumbisulfit	Na, S^{2-}
	Natriumchlorid	Na, Cl^-
	Natriumcyanid	Na, CN^-
	Natriumhypochlorid	Na, Cl^-
	Natriumhypophosphit	Na, PO_4^{3-}
	Natriumsilikat / Flussspat	Na, Si, Ca, F
	Nickelsalz	Ni, SO_4^{2-} , Bor, Cl^- ,
	Zinnsalze	Sn-(II), SO_4^{2-} , Stannate-(II), Stannate-(IV)
Zinksalz	Zn, Cl^- , NH_4^+ , SO_4^{2-}	
Säuren / Laugen	Chlorwasserstoff	ph-Wert, Cl^-
	Chromsäure	ph-Wert, Cr-(VI)
	Flusssäure	ph-Wert, F
	Natriumhydroxid	ph-Wert, Na
	Phosphorsäure	ph-Wert, PO_4^{3-}
	Salpetersäure	ph-Wert, NO_3^-
	Schwefelsäure	ph-Wert, SO_4^{2-}
Oxide	Aluminiumoxid	Al_2O_3
	Chromoxid	CrO_3 , Cr_2O_3
	Kupferoxid	CuO , Cu_2O
	Zinkoxid	ZnO
Entfetter / CKW	Perchloräthylen PER	C_2Cl_4
	Trichloräthylen TRI	C_2HCl_3
Cyanidhaltiger Galvanikschlamm	Cyanid	Na, Cu, CN^- , Zn, Cd, K
Zusatzstoffe / Silikate	Korund	Al_2O_3
	Quarzsand	SiO_2
	Quarzmehl	SiO_2
	Stahlkies	Fe

Der Einsatz von poly- und perfluorierten Chemikalien (PFC) in der deutschen Galvanikindustrie (alte Bundesländer) vollzog sich Mitte der 60'er Jahre, in den neuen Bundesländern nach 1991. In verschiedenen Prozessen der Galvaniktechnik, wie der Hart- und Glanzverchromung oder der Kunststoffgalvanisierung wurden/werden perfluorierte Verbindungen eingesetzt. Die Zugabe von PFC erfolgt sowohl im Chrombad als auch in der Chrombeize. Von besonderer Bedeutung ist hier hauptsächlich der Stoff PFOS (Perfluorooctansulfonsäure). Die Relevanz ist bei Vorliegen von entsprechenden Anhaltspunkten zu prüfen.

Die in der Tabelle 6 dargestellten Prüfwerte beziehen sich auf Bodenkontaminationen für die Nutzungsklassen Wohngebiete sowie Industrie- und Gewerbegrundstücke laut Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) für den Wirkungspfad Boden-Mensch.

Tab. 6: Prüfwerte für Analysenparameter, Wirkungspfad Boden-Mensch (nach BBodSchV)

Stoffe	Parameter	Nutzungsklasse Wohngebiete	Nutzungsklasse Industrie- und Gewerbegrundstücke
		[mg/kg TM]	[mg/kg TM]
Bleiverbindungen	Pb	400	2000
Cadmiumsalz	Cd	20*	60
Chromsalz	Cr _{ges}	400	1000
Nickelsalz	Ni	140	900
Cyanide	CN _{ges}	50	100

* In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,0 mg/kg TM als Prüfwert anzuwenden.

Bei galvanotechnischen Prozessen fallen technologisch bedingt Abwässer an. Die Rahmen-Abwasser VwV legt die Grenzwerte für Einleitbedingungen von Abwasser (Indirekteinleiter) fest, RAHMEN-ABWASSER VwV (1994). Die Einleitbedingungen nach Rahmen-Abwasser VwV sind z.B. bei on- site- GW- Sanierungen galvanotechnischer Altlasten relevant. Diese sind einzelfallbezogen im Sanierungskonzept mit den jeweiligen kommunalen Abwasserverbänden abzuklären.

Für Altlastenuntersuchungen der genannten Betriebsteile sind jedoch die Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser relevant. In Tabelle 7 sind diese zusammengestellt.

Tab. 7: : Prüfwerte für Analysenparameter, Wirkungspfad Boden-Grundwasser (nach BBodSchV)

Stoffe	Prüfwert [µg/l]
Blei	25
Cadmium	5
Chrom, gesamt	50
Chromat	8
Kobalt	50
Kupfer	50
Nickel	50
Zink	500
Zinn	40
Cyanid, gesamt	50
Cyanid, leicht freisetzbar	10
Fluorid	750
LHKW	10
PCB, gesamt	0,05
Mineralölkohlenwasserstoffe*	200
BTEX	20

* n-Alkane (C 10...C39), Isoalkane, Cycloalkane und aromatische Kohlenwasserstoffe

Des Weiteren sind die anfallenden Abfallstoffe für die Gefährdungsabschätzung während und nach dem Betrieb relevant. Die Abfallgruppen wurden allgemein gehalten, so dass eine Spezialisierung auf Betriebsteile während der Begutachtung erfolgen muss. Mit dem 01.01.1999 wurde in Sachsen der Europäische Abfallartenkatalog (EAK oder EWC) mit neuen Schlüsselnummern eingeführt. Als Übergangslösung wurden die LAGA- Schlüssel und die EAK- Schlüssel in Tabelle 8 angegeben, WEKA ABFALLARTENKATALOG (1997).

Tab. 8: Anfallende Abfallgruppen beim Betrieb von galvanotechnischen Anlagen, WEKA ABFALLARTEN-KATALOG (1997)

LAGA-Code	LAGA-Bezeichnung	LAGA-Herkunft	EWC-Code	EWC-Bezeichnung	EWC-Gruppe
51101	Cyanidhaltiger Galvanikschlamm	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110101	cyanidhaltige (alkalische) Abfälle mit Schwermetallen ohne Chrom	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)
51101	Cyanidhaltiger Galvanikschlamm	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110102	cyanidhaltige (alkalische) Abfälle ohne Schwermetalle	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)
51102	Chrom- (VI)-haltiger Galvanikschlamm	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110103	cyanidfreie Abfälle, die Chrom enthalten	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)
51103	Chrom- (III)-haltiger Galvanikschlamm	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110103	cyanidfreie Abfälle, die Chrom enthalten	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)
51104	Kupferhaltiger Galvanikschlamm	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)
51105	Zinkhaltiger Galvanikschlamm	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)
51106	Cadmiumhaltiger Galvanikschlamm	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)
51106	Nickelhaltiger Galvanikschlamm	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)
51108	Kobalthaltiger Galvanikschlamm	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)
51111	Blei- oder Zinnhaltiger Galvanikschlamm	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)
51112	Sonstige Galvanikschlämme	Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbetriebe	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	Flüssige Abfälle und Schlämme aus der Metallbearbeitung und -beschichtung (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren und alkalisches Entfetten)

Fortsetzung Tab. 8: Anfallende Abfallgruppen beim Betrieb von galvanotechnischen Anlagen, WEKA
ABFALLARTENKATALOG (1997)

51113	Sonstige Metallhydroxid-schlämme	Chemische Industrie, gewerbliche Wirtschaft, Industrieabwasserreinigung	190201	Metallhydroxid-schlämme und andere Schlämme aus der Metallfällung	Abfälle von spezifischen physikalisch-chemischen Behandlungen industrieller Abfälle (z.B. Dechromatisierung, Cyanidentfernung und Neutralisation)
51511	Salzbadabfälle	Wärmebäder, Salzschnmelzen zur Wärmeübertragung	060399	Abfälle a.n.g. (fehlende Zuordnung)	Verbrauchte Salze u. ihre Lösungen

2 Hinweise zur Altlastenbehandlung

2.1 Altlastenrelevanz

1805 wurde die erste galvanische Veredlung von Oberflächen in Deutschland durchgeführt. Im Zuge der industriell-technischen Entwicklung Anfang des 19. Jahrhunderts war die Verfügbarkeit hochwertiger veredelter Metalloberflächen immer dringlicher. Durch die Elektrifizierung wurden großtechnische Galvanisierungsverfahren ab ca. 1880 eingesetzt. Galvanikbetriebe sind deshalb schon aus ihrer Historie heraus prägnante Standorte der Altlastenerfassung und -behandlung.

Der Umgang mit Schwermetallen, Säuren und Lösungsmitteln bedingt die Altlastenrelevanz solcher Standorte. Durch die verwendeten Stoffe und ihre Abprodukte (Schlämme etc.) ist eine Gefährdung von Menschen und Umwelt zu besorgen. Bei Einsatz von PFC könnte der Stoff PFOS von Bedeutung sein. Eine mögliche Altlastenrelevanz wär zu prüfen.

Bei Altstandorten galvanotechnischer Betriebsteile sind Kontaminationen des Schutzgutes **Boden** grundsätzlich zu erwarten. Aufgrund des Umganges mit umweltgefährdenden Stoffen werden trotz versiegelter Flächen durch die jahrelangen Verwendungen von Schadstoffen, insbesondere der Gruppe der Schwermetalle und ihrer Verbindungen, Cyanide, Kohlenwasserstoffe und speziell für Bodenluft der LHKW, Schutzgüter kontaminiert. Die Schwermetallkonzentrationen werden sich im Allgemeinen aufgrund der eingeschränkten Transmission je nach Standort bis 35 cm Bodentiefe bewegen. Übrige leicht lösliche Stoffe befinden sich erfahrungsgemäß an den Grenzen geologischer Schichten mit geringerem Durchlässigkeitsbeiwert.

Diese Stoffe können bei Fehlen solcher geologischen Schichten in den Transportpfad Schichtenwasser und/ oder **Grundwasser** emittieren und somit weiterreichende Kontaminationen hervorrufen.

Galvanotechnische Anstalten der ehemaligen DDR besaßen im Allgemeinen eigene Abwasserbehandlungsanlagen als Indirekteinleiter bzw. Genehmigungen zur Einleitung der Abwässer als Direkteinleiter. Dadurch wurden trotz der geltenden Einleitbestimmungen Kontaminanten in das Schutzgut **Oberflächenwasser** emittiert. Durch Sedimentations- und Ablagerungsprozesse kam es neben der Gewässerverunreinigung zu Kontaminationen des Vorflutsedimentes und des liegenden Bodens.

Emissionen in den **Luft**pfad können nach Stilllegung von galvanischen Betriebseinheiten weitestgehend ausgeschlossen werden. Bei noch betriebenen Anlagen gelten die maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK) und die Immissionsgrenzwerte der immissionsrechtlichen Genehmigung.

2.2 Gefährdete Schutzgüter und relevante Pfade

In Galvanik- und galvanotechnischen Betrieben sind durch direkten Kontakt mit emittierten Stoffen Menschen, Tiere und Pflanzen gefährdet. Die Exposition erfolgt in die Schutzgüter:

- Boden,
- Oberflächenwasser,
- Grundwasser,
- Luft.

2.3 Gefährdungsabschätzung nach der Sächsischen Altlastenmethodik

Galvanikbetriebe und galvanotechnische Teilbereiche von Betrieben bedingen aufgrund des durch die verwendeten Stoffe implizierten Gefährdungspotentials eine Bewertung nach Sächsischer Altlastenmethodik (SALM).

2.3.1 Verdachtsfallerfassung und Formale Erstbewertung

Im Sächsischen Altlastenkataster SALKA erfolgt die Erfassung und Formale Erstbewertung der Altstandorte, die programmgestützt realisiert wird (Stand SALKA für Windows V4.15, November 1998) SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1997). Für Standorte der Galvanik und galvanotechnischen Industrie sind folgende Kriterien zu beachten:

(7) Art der Verdachtsfläche:

Flächen der Galvanikbetriebe sind generell als Altstandorte zu bewerten. Dabei ist die Bewertung entsprechend verdachtsflächenbezogen auf die unter Punkt 1.3. angegebenen technologischen Bestandteile vorzunehmen. Bei Betrieben mit betriebseigenen Ablagerungen (z.B. deponierte Galvanikschlämme) kann die Bewertung nach "Altstandort mit Altablagerung" erfolgen. Die Bewertung von abgelagerten Galvanikschlämmen außerbetrieblicher Deponierung erfolgt mittels des Bewertungsschemas für "Altablagerungen".

(14/15) Fläche / Volumen:

Die Größe der gesamten Betriebsfläche ist nicht anzugeben, es sind nur die relevanten Bereiche auszugrenzen. Die Bewertung muss nutzungsspezifisch erfolgen, d.h. es sind die Flächen einzuschätzen und zu bewerten, auf denen mit galvanotechnischen Stoffen umgegangen wurde bzw. die von Expositionen betroffen sein könnten. Zu den kontaminierten Flächen sind zu rechnen:

- Produktionsbereiche,
- Lagerbereiche,
- Wartungs- und Werkstattbereiche.

(12 A/S) Inbetriebnahme/ Betriebsdauer:

Aufgrund der Toxizität (Schwermetalle) ist die Dauer des gesamten Betriebszeitraumes relevant. Von einem Abbau von Schadstoffen der Schwermetallparameter ist nicht auszugehen.

(18) Sohlage zum Grundwasser:

Wenn keine Kenntnis über den tiefsten Schadstoffpunkt vorhanden ist, gilt als Bezugspunkt die Tiefe von unterirdischen Anlagen wie z.B. der Abwasserkanäle oder unterirdische Produktionsbereiche.

Tab. 9: Einordnung in Branchenschlüssel und Gefährdungsklasse, SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1997)

Branchenschlüssel	Branche	Gefährdungsklasse
0630	Oberflächenveredlung, Härtung	35
2240	Galvano-Technik, Galvano-Anstalten	45

2.3.2 Historische Erkundung und Bewertung (Beweisniveau 1)

Die Historische Erkundung ist nach der Sächsischen Altlastenmethodik SALM für die Schutzgüter Boden, Grundwasser und Oberflächenwasser (in Vorbereitung) durchzuführen. Zur Auswertung ist das Programm GEFA (aktuelle Version V3.0) heranzuziehen, SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 a), SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b), SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT

(in Vorbereitung a und b), SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1998), SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung).

Die Stoffgefährlichkeitswerte sind pfadabhängig aus SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung) zu entnehmen.

Stoffgefährlichkeit r_0 :

Tab. 10: Zuordnung der branchenspezifischen Gefährdung, SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b)

Branchenschlüssel	Branche	r_0 -Wert
0630	Oberflächenveredlung, Härtung	0,5 – 5,5
2240	Galvano-Technik, Galvano-Anstalten	0,5 - 4,0

Eine hohe Einstufung ($r_0 = 5,0 - 5,5$) ergibt sich bei Verdacht/Vorhandensein von LHKW bzw. Arsen oder bei ökotoxischer Bewertung eines Galvanikstandortes.

Tab. 11: Zuordnung anfallender Abfälle zur Stoffgefährlichkeit, WEKA ABFALLARTENKATALOG (1997), SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1998)

LAGA-Code	LAGA-Bezeichnung	EWC-Code	EWC-Bezeichnung	Stoffgefährlichkeit r_0 (humantox.)
51101	Cyanidhaltiger Galvanikschlamm	110101	cyanidhaltige (alkalische) Abfälle mit Schwermetallen ohne Chrom	3,0
51101	Cyanidhaltiger Galvanikschlamm	110102	cyanidhaltige (alkalische) Abfälle ohne Schwermetalle	3,0
51102	Chrom- (VI)-haltiger Galvanikschlamm	110103	cyanidfreie Abfälle, die Chrom enthalten	3,0
51103	Chrom- (III)-haltiger Galvanikschlamm	110103	cyanidfreie Abfälle, die Chrom enthalten	3,0
51104	Kupferhaltiger Galvanikschlamm	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	2,0
51105	Zinkhaltiger Galvanikschlamm	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	1,0
51106	Cadmiumhaltiger Galvanikschlamm	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	3,5
51106	Nickelhaltiger Galvanikschlamm	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	3,0
51108	Kobalthaltiger Galvanikschlamm	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	3,5
51111	Blei- oder Zinnhaltiger Galvanikschlamm	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	3,0
51112	Sonstige Galvanikschlämme	110104	cyanidfreie Abfälle, die kein Chrom enthalten	
51113	Sonstige Metallhydroxid-schlämme	190201	Metallhydroxidschlämme und andere Schlämme aus der Metallfällung	
51511	Salzbadabfälle	060399	Abfälle a.n.g.	

Bei Schwermetallen spielt die Ökotoxizität eine besondere Rolle. Sie können die gesamte Biozönose erheblich stören. Dabei erfolgen die Exposition und der Transport in den Schutzgütern Grundwasser und Oberflächenwasser sowie die Adsorption bzw. Akkumulation im Schutzgut Boden. Die r_0 -Werte für die

Ökotoxizität sind SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung) zu entnehmen.

Örtliche Bedingungen, m-Werte:

Schadstoffabhängige Faktoren werden im folgenden eingegrenzt. Die spezifischen Standortbedingungen sind stets einzelfallbezogen und nutzungsspezifisch zu bewerten.

Grundwasser m_I :

- Lage zum Grundwasser: Generell ist $m_I = 1,2$ mit Ausnahme von Produktionsbereichen oder anderen relevanten unterirdischen Anlagen (z.B. Abwasserkanäle) oder Ablagerungen von Galvanikschlamm anzunehmen, die im Grundwasser oder im Grundwasserwechselbereich liegen.
- Oberflächenabdeckung: In den meisten Fällen sind die kontaminierten Bereiche versiegelt oder anderweitig gegen Austrag in den Boden geschützt (Betonplatte, Asphalt); $\Delta m = \pm 0$. Bei abgelagerten Galvanikschlamm ist auf die ordnungsgemäße Abdeckung zu achten. Ist diese nicht vorhanden und ein Schutz gegen Windverwehungen somit nicht gegeben, ist anzusetzen $\Delta m = 0,1$.
- Oberflächenabdichtung: Die Produktionsbereiche, Lager und Werkstattbereiche sind überdacht und umbaut. Damit ist der Schutz gegen Auswaschung durch Niederschlagswasser gegeben. Sind diese Faktoren vorhanden, kann $\Delta m = -0,1$ angesetzt werden. Bei abgelagerten Galvanikschlamm ist eine wirksame Oberflächenabdichtung meist nicht vorhanden. Hier ist die Art der Deponierung zu prüfen.

Grundwasser m_{II} :

- Sorbierbarkeit: Die gelösten Schwermetallsalze (Beizsalze) werden bei hohen geogenen Tongehalten weitestgehend immobilisiert, da Ionen aus dem Tongerüst durch Schwermetallionen verdrängt werden und sich somit die Stabilität des Tongerüsts erhöht. Diese Verdrängung besteht auch unter den Schwermetallen, so dass bei einer in vielen Fällen vorhandenen Vorbelastung der Tonminerale Schwermetalle aus dem Tongerüst gelöst werden können, wenn andere Schwermetalle eine höhere Stabilität darstellen, $\Delta m = \pm 0$ bis $0,1$.
- Acidität: Bei sauren Milieubedingungen werden Metalle und bei basischen Milieubedingungen die sauren organischen Verbindungen mobilisiert. Bei vorliegenden organischen Säuren bilden sich lösliche Metallkomplexe (siehe auch Lösungsvermittler), $\Delta m = 0,1$.
- Lösungsvermittler: Für Kohlenwasserstoffe sind die Lösungsvermittler die in der Galvanik verwendeten Entfetter und Lösungsmittel (Trichlorethylen, Perchlorethylen). Ein Auftreten von PCB ist erfahrungsgemäß eher unwahrscheinlich, $\Delta m = 0,1$.
- Abbaubarkeit: Die Abbaubarkeit der Schwermetalle bei galvanotechnischen Altstandorten ist im allgemeinen zu verneinen. Kohlenwasserstoffe sind abbaubar. Langkettige KW besitzen gegenüber kurzkettigen KW eine höhere Persistenz, $\Delta m = 0,1$.

Grundwasser m_{III} :

- Abbaubarkeit: Die Kontaminanten galvanischer Prozesse werden im allgemeinen kaum abgebaut.

Grundwasser m_{IV} :

- Aufbereitungsmöglichkeit: i.A. für galvanotechnische Kontaminationen nicht vorhanden, $\Delta m = \pm 0$.

Boden m_I :

- Fallzuordnung: Erfahrungsgemäß werden von den vier genannten Fallarten Fall 1 (Boden der Altlast $m_I = 1,0$) und Fall 2 (Boden der Umgebung der Altlast $m_I = 0,6$) für die Bewertung herangezogen.

Der Schadstoffaustrag jeweiliger Kontaminanten ist je nach Fall zu spezifizieren:

- Abdeckung: analog der GW- Bewertung.
- Löslichkeit oder Flüchtigkeit: Löslichkeit oder Flüchtigkeit spielen bei unterirdischen seitlichen Ausbreitungen mit Vernachlässigung der Erosion eine Rolle.

- Sorption: analog der GW- Bewertung.
- Lösungsvermittler: Erfahrungsgemäß ist bei galvanischen Altstandorten das Vorhandensein von Lösungsvermittlern gering zu bewerten; $\Delta m = \pm 0$.

Boden m_{III} :

- Abbaubarkeit: Schwermetalle sind im allgemeinen nicht abbaubar; $m_{III} = 1,0$.
- Toxische Abbauprodukte: Bei fehlendem Abbau der Kontaminanten sind toxische Reaktionsprodukte auszuschließen.
- Verweilzeit im Boden: Erfahrungsgemäß sind Schwermetalle in einer Bodentiefe bis 35 cm akkumuliert und besitzen dadurch eine große Verweilzeit im Boden; $\Delta m = \pm 0$.
- Sorption/ Bindungsstärke: Die Bioverfügbarkeit bei Schwermetallen ist nach dem DVWK- Merkblatt 212 Teil I, Tafeln 4, 5, 6 für die Abschätzung der Bindungsstärke vorzunehmen.
- Wirkung: Sobald eine definitive Wirkung der Kontaminanten auf Pflanzen oder Lebewesen beobachtet wird, ist eine Erhöhung $\Delta m = 0,2$ realisierbar.

2.3.3 Technische Erkundung (Beweisniveau 2 und 3)

Die Orientierende und die Detailuntersuchung sind nach Sächsischer Altlastenmethodik durchzuführen und zu bewerten. Prüf- und Maßnahmen- sowie Orientierungswerte für die Orientierende Untersuchung sind SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung) zu entnehmen.

Boden: Für die Bodenuntersuchungen werden Proben aus verschiedenen Schichten unterschiedlicher Teufen entnommen und analytisch untersucht. Für galvanotechnische Altstandorte sind Proben aus den ersten 50 cm für Schwermetalluntersuchungen repräsentativ. Dennoch sollten die Endteufen bis zum Anschnitt des Grundwassers bzw. Schichtenwassers reichen. Proben sind bei organoleptischen Auffälligkeiten, bei geologischem Schichtenwechsel und im GW-Anschnittbereich, jedoch mindestens eine Probe pro Meter zu entnehmen, DIN 4022 (1987), DIN 4023 (1984).

Bodenluft: Aufgrund der Verwendung von Lösungsmitteln zur Oberflächenvorbehandlung (Entfetten) ist eine Bodenluftuntersuchung auf LHKW und BTEX durchzuführen. Hierbei können die abgeteufte Bodensondierungen als temporäre Gaspegel für die Bodenluftbeprobung genutzt werden. Ein Abpackern des Pegels vermindert den Einfluss atmosphärischer Luft.

Bei den Summenparametern AOX (GW, Eluat) oder EOX (Feststoff) sind die Änderungen gegenüber der Hintergrundkonzentration entscheidend.

Mit den Kenntnissen der standortspezifischen Schadstoffe aus der Orientierenden Untersuchung besteht die Möglichkeit einzelne Kontaminanten durch eine Verengung des Sondierasters mittels einer Erweiterung des Grundwassermessstellennetzes detaillierter zu untersuchen, z.B. starke Chrom-(VI)-Kontaminationen.

2.5 Sanierung

Bei galvanotechnisch bedingten Kontaminationen des Bodens mit Schwermetallen (Chrom, Nickel, Zink) sind On-site- und Off-site-Verfahren der Bodenwaschanlagen oder thermische Bodenaufbereitung denkbar. Die LHKW-belastete Bodenluft kann in-situ über Bodenluftreinigung mit Aktivkohlefilter gefahren werden. Bei GW- Kontaminationen mit organischen Schadstoffen (TRI) ist ein Abpumpen und Reinigen über Aktivkohlefilter gängige Praxis.

Im Allgemeinen ist der Einsatz aller Sanierungsverfahren möglich. In-situ-Verfahren sind für die Sanierung galvanotechnischer Betriebsteile nur für den Teil der Bodenluft anwendbar. Für Kontaminationen des Bodens und des Grundwassers sollten daher die nach dem Stand der Technik gängigen on-site- und off-site- Verfahren betrachtet werden.

Die Bodenluftsanierungen auf galvanotechnischen Altstandorten wurden in der Vergangenheit in-situ durchgeführt aber für eine Komplettsanierung sind sie nicht zu empfehlen.

Neben den Dekontaminationsverfahren sind auch die Sicherungsmaßnahmen Oberflächenabdichtung, Einkapselung und hydraulische Sicherung der Sanierungsobjekte möglich.

Nachfolgend wird die Grobeinteilung der gängigen Verfahrensarten dargestellt:

- Oberflächenabdichtung,
- Einkapselung,
- Auskoffern und Deponierung,
- In-situ-Verfahren,
- Ex-situ-Verfahren.

2.5.1 Sicherungstechniken - Oberflächenabdeckung und Einkapselung

Stand der Technik

Oberflächenabdichtung wird durch das Aufbringen bindiger Deckschichten mit Geotextileinlagerungen oder Bentonitgewebe realisiert.

Einkapselung: - Einbringung von Dichtwandsystemen (Spundwände, Schlitzwände mit eingestellter Spundwand) maximale Tiefe bis 35 m; Abteufung bis in den GW-Stauer
 - Einbringung von Bentonit in ein Grabensystem um den Altlastkörper
 - Basisabdichtung im Jet-Ground-Verfahren

Eignung/ Anwendung

Sicherungsmaßnahmen sind für kleinere, mittelstark belastete Galvanikstandorte geeignet.

Wirkungsgrad und Kosten

- Keine Dekontamination, nur Sicherung der Altlast; Gefährdungspotential bleibt bestehen.
- Bei möglicher Wasserhaltung fallen Betriebskosten an.
- Mittlere Kosten wurden für die Oberflächenabdichtung ca. 16 DM/m² für Geotextil und zusätzlich 12 DM/m³ für bindiges Material sowie 80 DM/m² für die Bauleistung mit Renaturierung abgeschätzt.

2.5.2 Thermische Sanierungsverfahren für Böden

Eignung/ Anwendung

Thermische Maßnahmen können für Bodenverunreinigungen an Galvanikstandorten mit:

1. flüchtigen Stoffen (Lösungsmittel, KW) und
2. halogenierte KW (PCB, Dioxine, Furane, LHKW, TRI, PER)

angewendet werden.

- zu 1. Temperatur < 500 °C; Bildung von Cyaniden, die erst bei ca. 950 °C zerstört werden,
- zu 2. Temperatur mindestens 1000 °C für den Zerfall der halogenierten Stoffe; Neubildung von Dioxinen und Furanen bei Abkühlung im Rauchgasreinigungsprozess.

Eine Anwendung thermischer Maßnahmen für nichtflüchtige Stoffe (Schwermetalle) ist, bis auf Ausnahmen (z.B. Hg), nicht möglich.

Wirkungsgrad und Kosten

- Niedertemperaturverfahren sind bei vergleichbarer Reinigungsleistung gegenüber den Hochtemperaturverfahren energieärmer und schonender.
- Abgasreinigung fordert neue Schadstoffe bzw. Abfälle.
- Thermische Verfahren besitzen einen hohen Wirkungsgrad, einen hohen Energieverbrauch und dadurch höhere mittlere Kosten.

2.5.3 Extraktions- und Waschverfahren für Böden

Eignung/ Anwendung

Die Grenze des Verfahrens liegt in der Korngröße des Bodens. Ein hoher Schluffanteil ist technisch beherrschbar, aber die Durchsatzleistung sinkt erheblich ab. Erfahrungen bei Schwermetallkontaminationen und leichtlöslichen organischen Bestandteilen sind vorhanden.

Wirkungsgrad und Kosten

- Der mittlere Wirkungsgrad ist stark abhängig von der Bodenfraktion.
- Böden mit über 30 % anfallenden Reststoffen sind aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten nicht empfehlenswert.
- Die mittleren Kosten werden mit ca. 250 DM/t, je nach Schadstoffart und -anfall, geschätzt.

2.5.4 Biologische Verfahren der Dekontamination von Böden

Eignung/ Anwendung

Biologische Verfahren sind für Schwermetallkontaminationen nicht relevant. Diese sind u.U. für Galvanikstandorte mit Lösungsmittelhavarien (TRI, PER MKW [kurzkettig], BTEX) anwendbar aber im allgemeinen werden andere Dekontaminationsverfahren eingesetzt.

Wirkungsgrad und Kosten

- Im Gegensatz zu anderen Verfahren mit vergleichbarem Wirkungsgrad erfordern biologische Maßnahmen einen hohen Zeitaufwand und Platzbedarf.
- Die mittleren Kosten werden auf ca. 160 DM/t geschätzt.

2.5.5 Hydraulische Maßnahmen zur GW- Sanierung

Stand der Technik

Für Schwermetalle sind nachfolgende Verfahren Stand der Technik:

- direkte Verfahren: Ionenaustauscher,
- indirekte Verfahren: Fällung durch pH-Wert-Verschiebung,
Oxidative Fällung,
Reduktive Fällung,
Sulfidfällung (nicht sehr effektiv).

Bei organischen Belastungen ist die Reinigung durch Adsorption mit Aktivkohlefilter denkbar.

Eignung/ Anwendung

Die Verfahren der Schwermetalldekontamination stammen aus der Abwasseraufbereitung, es liegen somit praxisorientierte Erfahrungen vor.

Wirkungsgrad und Kosten

- Mittlere Kosten entstehen mit dem Aufwand und können nicht allgemein abgeschätzt werden
- Ein hoher Wirkungsgrad ist anzusetzen.

2.5.6 Sanierungsüberwachung

Eine fachtechnische Überwachung bei Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen in kontaminierten Bereichen ist aufgrund komplexer Schadstofffrachten aus arbeitsschutzrechtlichen Belangen zwingend vorzuschreiben.

Nach der Sanierung wird ein Altlastenmonitoring zur Überwachung der Einhaltung der Sanierungsziele empfohlen.

2.5.7 Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung

Firmen und Einrichtungen, die sich mit der Behandlung von Altlasten beschäftigen, sind dem Anbieterverzeichnis von Leistungen zur Altlastenbehandlung im Freistaat Sachsen zu entnehmen. Informationen aus diesem Verzeichnis sind über die IHK- Niederlassungen Sachsens bzw. deren Internet-Adressen erhältlich:

- <http://www.chemnitz.ihk.de>,
- <http://www.leipzig.ihk.de> und
- <http://www.dresden.ihk.de>.

Weiterhin sind in Fachzeitschriften (z.B. Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, Wasser & Boden, Korrespondenz Abwasser, Umwelt News, Altlastenspektrum, Altlasten-Aktuell), Publikationen über innovative Altlastenbehandlungen und Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung recherchierbar.

In Arbeit ist eine Publikation mit Referenzobjekten zu den branchenbezogenen Altlasten, die im Rahmen des Sächsischen Altlastenfachinformationssystems "SALFA-WEB" im Internet (<http://www.lfug.de>) und auf CD-ROM veröffentlicht werden.

3 Literaturhinweise

AWV PLAUE (1995): HE - Feuerverzinkerei Fa. Hentschel Oberroderwitz, Analytik und Wasserchemie Vogtland GmbH, Plauen.

BERGHOF ANALYTIK UND UMWELTENGINEERING GMBH (2014): Pilotstudie PFC in der Altlastenerfassung; AG Landratsamt Sigmaringen, 14.11.2014

BURKHARDT, W.; LÜPKE, I. I. G.; THEILIG, W. (1967): VEM-Handbuch Galvanotechnik, VEG Galvanotechnik Leipzig, VEB Verlag Technik Berlin.

DR. EISELE ING.- GMBH (1997): HE und OE - Galvanikbetrieb Agricolastr. 9 in Zwickau, Dr. Eisele, Ingenieurgesell. mbH, Leipzig, 26.02.1997.

DIN 4022 (1987): Baugrund und Wasserbohrungen, DIN- Taschenbuch 91 , Bohrarbeiten, Brunnenbauarbeiten, Wasserhaltungsarbeiten, Beuth Verlag GmbH Berlin, Köln.

DIN 4023 (1984): Baugrund und Grundwasser, Teil 1 bis 3, DIN- Taschenbuch 91 , Bohrarbeiten, Brunnenbauarbeiten, Wasserhaltungsarbeiten, Beuth Verlag GmbH Berlin, Köln.

FISCHER & KÖCHLING (1993): WEKA Praxis Handbuch, Altlastensanierung, WEKA- Verlag, Augsburg.

GEINFORM PROJEKT (1992): Orientierende Erkundung der RENAK-Werke Reichenbach, GiP Geoinform-Projekt, Gesellschaft für Umwelt + Geologie, Gera, 17.09.1992.

HOFFMANN, R. (1988): Chemie für die Galvanotechnik, Eugen G. Leuze Verlag, Saulgau.

JESSBERGER + PARTNER (1997): OE und DE - Kleingalvanik Holzhäuser Str. 121/123 in Leipzig, Jessberger + Partner Büro Leipzig GmbH, Januar und März 1997.

NOHSE, W. (1985): Tabellenbuch Galvanotechnik, Eugen G. Leuze Verlag, Saulgau.

RAHMEN-ABWASSER VWV (1994): Rahmen-Abwasser VwV-Allgemeine Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer, 1992, Novellierung von 1994 (Bezug: GMBI. Nr. 19/20, S. 494 - 544 und GMBI. Nr. 19/20, S. 545 - 547).

RÖDER, M. (1968): Arbeitsschutz in der Galvanotechnik, Verlag Tribüne Berlin, Berlin.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1996): Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Bd. 1/1996, Radebeul.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998): Probenahme bei der Technischen Erkundung von Altlasten, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Dresden.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung): Empfehlungen zur Handhabung von Orientierungs-, Prüf- und Maßnahmenwerten, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Dresden (erscheint 2000)

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 4, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1997): Verdachtsfallerkennung und formale Erstbewertung, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 2, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1998): Historische Erkundung von altlastenverdächtigen Flächen, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Band 4/98, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1999): Sanierungsuntersuchung, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 8, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 5, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung b): Gefährdungsabschätzung, Pfad Luft. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 6, Dresden.

SOMMER & PARTNER (1991): HE - MAN Plamag, Plauen, Grundbauinstitut Prof. Dr.-Ing. Sommer und Partner, Darmstadt, Mai 1991.

TOX CONSULT (1992): Bericht zur analytischen Bewertung des Galvanikbetriebes Niedercunnersdorf Werk III Stern GmbH, TOX Consult, Grampa.

TZO LEIPZIG (1996): HE und OE - Galvanik Bär, Paul-Gruner-Str. 29 in Leipzig, TZO Leipzig GmbH, 28.08.1996.

UMWELTBÜRO GMBH VOGTLAND (1992): Historische und Orientierende Erkundung von Altlastverdachtsflächen auf dem Objekt Löbtauer Straße 63 der Vereinigten Elektromotoren Antriebstechnik AG (VEM), Umweltbüro GmbH Vogtland.

UMWELTBÜRO GMBH VOGTLAND (1993): Gutachten zur Altlastverdachtsfläche Reissstraße 5 (ehemals VEB Metallplast), Umweltbüro GmbH Vogtland.

UMWELTBÜRO GMBH VOGTLAND (1998): Historische Erkundung Schaltgeräte Bad Muskau, Umweltbüro GmbH Vogtland.

UWAT-INSTITUT (1996): HE - Wiegel Neusalza Feuerverzinkerei GmbH, UWAT- Institut, Ebersbach.

VOGLÄNDISCHES UMWELTBÜRO/ DRESDNER GRUNDWASSERFORSCHUNGSZENTRUM (1992): Gutachten zur Freigabe einer Altlastverdachtsfläche für die Schlossermeisterei Gert Weißbach in Chemnitz (ehemals RFT Galvanik Chemnitz), Vogtländisches Umweltbüro/ Dresdner Grundwasserforschungszentrum.

WEKA ABFALLARTENKATALOG (1997): WEKA Praxis Handbuch, Abfallartenkatalog 1997 nach EAK und LAGA, WEKA- Verlag, Augsburg.