

T. W. Jelinek

Praktische Galvanotechnik

Lehr- und Handbuch

LEHRBUCHREIHE GALVANOTECHNIK

Praktische Galvanotechnik

Ein Lehr- und Handbuch
Bearbeitet von Dipl.-Chem. T. W. Jelinek

Siebte, aktualisierte Auflage mit 171 Abbildungen,
96 Tabellen im Text, einem speziellen Tabellen-Anhang und einer Übersicht
„Chemikalien für die Galvanotechnik“



Fachverlag für

- Oberflächentechnik – Galvanotechnik
- Produktion von Leiterplatten und Systemen

Alle Rechte, einschließlich das der Übersetzung und der Veranstaltung einer fremdsprachlichen Ausgabe, sind den Inhabern der Verlagsrechte vorbehalten.

Der Nachdruck, auch auszugsweise, ist verboten. Dieses Werk darf auch nicht in Teilen ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Printed in Germany · Imprimé en Allemagne

2013

ISBN 978-3-87480-277-2

EUGEN G. LEUZE VERLAG KG · D-88348 BAD SAULGAU

Erste Auflage	1958
Zweite Auflage	1970
Dritte Auflage	1975
Unveränderter Nachdruck	1988
Vierte Auflage	1984
Unveränderter Nachdruck	1988
Fünfte Auflage	1997
Sechste Auflage	2005
Siebte Auflage	2013

Gesamtherstellung: Eugen G. Leuze Verlag KG, D-88348 Bad Saulgau
Druck: druckhaus köthen GmbH, D-06366 Köthen

Vorwort zur 7. Auflage

Die Notwendigkeit, die „Praktische Galvanotechnik“ in der nunmehr schon 7. Auflage zu verlegen, beweist, dass das Konzept, mit dem sie vor beinahe sechzig Jahren ins Leben gerufen wurde, nach wie vor Gültigkeit hat. Den Initiatoren schwebte damals vor, ein Buch zu schaffen, das dem Galvanotechniker nicht nur in Aus- und Fortbildung das wichtigste Wissen in verständlicher Form vermittelt. Es sollte ihn auch danach im Berufsleben als ein Hand- und Nachschlagebuch begleiten, in dem man sich schnell über wichtige Probleme informieren kann. Schließlich sollte es nicht nur in galvanischen Betrieben, sondern auch bei Anwendern galvanischer Überzüge zu einem Art „Standardwerk“ werden, das Information und damit die Zusammenarbeit zum Vorteil von Produktion und Entwicklung fördert.

Diese Aufgabe hat die „Praktische“ in nunmehr nahezu sechzig Jahren – immer in der jeweils ergänzten oder überarbeiteten Form – schon bei mehreren Generationen erfolgreich erfüllt. Dieses Ziel strebt auch die 7. Auflage an, die die Anbindung von Theorie und Praxis durch Überarbeitung einiger Kapitel noch mehr hervorhebt sowie die Angaben da, wo es notwendig erschien – beispielsweise in der Normung – dem aktuellen Stand anpasst.

In diesem Sinne wünsche ich der 7. Auflage der „Praktischen Galvanotechnik“, sie möge Galvanotechnikern in Ausbildung und Beruf sowie allen Mitarbeitern in Betrieben, die Zulieferer oder Kunden galvanischer Betriebe sind, weiterhin als nützliches Lehr-, Hand- und Informationsbuch dienen.

Bad Saulgau, April 2013

Sylvia Leuze-Reichert
Eugen G. Leuze Verlag KG

Inhalt

1 Galvanische Verfahren in der Praxis	25
1.1 Anwendung galvanischer Überzüge	25
1.1.1 Das Erzeugen bestimmter Eigenschaften der Oberfläche	25
1.1.2 Galvanisches Abscheiden dicker Schichten	27
1.1.3 Erzeugen von Werkstoffen durch galvanische Verfahren	28
1.1.4 Voraussetzungen für das Herstellen galvanisch erzeugter Metall- schichten.....	28
1.2 Arbeitsgänge beim Galvanisieren.....	30
1.2.1 Allgemeiner Verfahrensablauf	32
1.2.2 Arbeitsgänge für Produktgruppen.....	33
1.3 Galvanische Bäder.....	35
1.3.1 Elektrolytzusammensetzung.....	35
1.3.2 Badansatz	36
1.3.3 Korrektur der Elektrolyte	38
1.3.4 Abscheidungsbedingungen.....	38
1.3.5 Kommerzielle Verfahren.....	38
1.4 Verfahrenstechnische Hinweise.....	39
1.4.1 Lösungen, Elektrolyte, Bäder	39
1.4.2 Wasser und seine Bedeutung bei der Metallabscheidung.....	39
1.4.2.1 Leitungswasser	39
1.4.2.2 Enthärtetes Wasser	40
1.4.2.3 Vollentsalztes Wasser	40
1.4.2.4 Wasser hoher Reinheit.....	40
1.4.3 Herstellung von Prozesslösungen	40
1.4.3.1 Lösen eines Salzes in Wasser.....	41
1.4.3.2 Verdünnen und Vermischen.....	41
1.5 Fehlersuche (trouble shooting)	42
1.5.1 Charakterisierung des Fehlers.....	43
1.5.2 Lokalisierung des Fehlers	46
1.5.3 Kontrolle des Verfahrensablaufes	46

2	Abscheidung von Metall mit äußerer Stromquelle	48
2.1	Die elektrolytische Dissoziation	48
2.2	Abläufe, Begriffe	50
2.2.1	Die Elektrolyse	50
2.2.1.1	Abscheidung und Auflösung von Metallen	50
2.2.1.2	Faradaysche Gesetze	52
2.2.1.3	Wirkungsgrad (Stromausbeute)	52
2.2.1.4	Stromdichte	53
2.2.1.5	Abscheidungsgeschwindigkeit	53
2.2.2	Elektrodenreaktionen	54
2.2.2.1	Kathodenreaktionen	54
2.2.2.2	Anodenreaktionen	55
2.2.2.3	Elektrolysereaktionen	55
2.2.2.4	Polarisation	55
2.2.3	Strom- und Schichtdickenverteilung	57
2.2.3.1	Deckfähigkeit	57
2.2.3.2	Streuungsfähigkeit (Makrostreuung)	58
2.2.3.3	Glanztiefenstreuung	59
2.2.3.4	Mikrostreuung (Einebnung)	60
2.2.4	Struktur galvanischer Überzüge	60
3	Abscheidung von Metall ohne äußere Stromquelle	62
3.1	Ionenaustauschverfahren	62
3.2	Kontaktverfahren	65
3.3	Reduktionsverfahren	66
4	Galvanotechnische und andere oberflächentechnische Sonderverfahren	67
4.1	Galvanoformung (Elektroformung)	67
4.1.1	Spezifische Vorgänge bei der Galvanoformung	67
4.1.2	Formenbau	68
4.1.3	Pressmatrizen für Schallplatten	68
4.1.4	Aufkupfern von Tiefdruckzylindern	69
4.1.5	Vernickeln von Stereotypieplatten	69
4.1.6	Andere Anwendungen der Galvanoformung (Elektroformung)	69
4.2	Galvanisieren im Durchlaufverfahren	70
4.2.1	Anwendung des Durchlaufverfahrens	71
4.3	Galvanische Schichten zum Schutz beim Einsatzhärten	72
4.4	Tampongalvanisieren	73
4.5	Mechanisches Plattieren	75
4.5.1	Allgemeines	75
4.5.2	Verfahren und Anlagentechnik	76

4.5.3	Verfahrensablauf.....	76
4.5.4	Eigenschaften der Schichten.....	77
4.6	Diffusionsschichten.....	77
4.7	Physikalische Verfahren	78
5	Galvanische Anlagen und technische Ausrüstungen	80
5.1	Galvanisieren auf Gestellen.....	80
5.1.1	Gestelle und ihr Einfluss auf die Metallverteilung	80
5.1.2	Die Warenträger	83
5.2	Galvanisieren von Massenteilen	83
5.2.1	Galvanisieren in der Glocke	84
5.2.2	Trommelgalvanisieren	84
5.3	Behälter und ihre Ausrüstung	89
5.3.1	Behälterausführungen.....	89
5.3.1.1	Schutzüberzüge für Stahlbehälter	90
5.3.1.2	Kunststoffbehälter.....	91
5.3.1.3	Wahl der Behälter.....	91
5.3.1.4	Wartung und Reparatur von Behältern	92
5.3.2	Heizung und Kühlung.....	93
5.3.2.1	Dampf- und Heißwasserheizung	94
5.3.2.2	Elektrische Heizung.....	94
5.3.2.3	Elektrolytkühlung	95
5.3.2.4	Einrichtungen zur Temperaturregelung.....	96
5.3.2.5	Schutzpolarisierung von Heiz- und Kühlschlangen aus Titan	96
5.3.3	Anoden- und Kathodenschienen (Leitungsarmatur)	97
5.3.4	Werkstück- und Elektrolytbewegung	97
5.3.5	Dunstabsaugung	98
5.4	Handbediente galvanische Anlagen.....	99
5.5	Mechanisierte Anlagen und Galvanoautomaten	100
5.5.1	Mechanisierte Anlagen	100
5.5.1.1	Ringbäder.....	100
5.5.1.2	Wanderbäder	100
5.5.1.3	Kettenförderanlagen	100
5.5.1.4	Anlage zum Verchromen von Massenteilen	101
5.5.2	Automatische Galvanisieranlagen	101
5.5.2.1	Bühnenautomaten in runder oder gestreckter Bauart	101
5.5.2.2	Rundautomaten.....	102
5.5.2.3	Langautomaten	102
5.5.2.4	Transportwagenautomaten.....	103

5.5.3	Be- und Entladen der Automaten	110
5.5.4	Automatische Steuerung bei Transportwagenautomaten	113
5.6	Anlagen zum Galvanisieren im Durchlaufverfahren	115
5.6.1	Anlagentechnik zum kontinuierlichen Galvanisieren	115
5.6.2	Zusatzeinrichtungen zu Durchlaufanlagen	119
5.7	Zubehör für galvanische Anlagen	120
5.7.1	Filtergeräte für die Elektrolyte	120
5.7.1.1	Scheibenfilter.....	120
5.7.1.2	Tiefenfiltration (Kerzenfilter).....	120
5.7.1.3	Anschwemmfiltration.....	122
5.7.2	Selektives Reinigen von Nickelelektrolyten	123
5.7.3	Anoden und ihre Anwendung.....	123
5.7.3.1	Anoden.....	123
5.7.3.2	Sparanodenhalter	124
5.7.3.3	Anodenkästen	124
5.7.3.4	Anodensäcke, Diaphragmen	125
5.7.4	Gestelleinhängetechnik	126
5.7.5	Trocknen der Werkstücke.....	127
5.7.6	Gleichrichter.....	128
6	Energiewirtschaft – Möglichkeiten der Energiekostensenkung	132
6.1	Der Energiekauf	132
6.2	Maßnahmen zur Kosteneinsparung	133
6.3	Maßnahmen zur Verbrauchsminderung	133
6.4	Heizsysteme	134
6.5	Kühlsysteme.....	134
6.6	Wärmerückgewinnung	135
6.6.1	Wärmerückgewinnung bei Bädern	135
6.6.2	Wärmerückgewinnung bei der Be- und Entlüftung von Hallen.....	136
6.6.3	Wärmepumpen	137
6.6.4	Kraft-Wärme-Kopplung	139
7	Vor- und Zwischenbehandlung der Ware	140
7.1	Schleifen und Polieren.....	140
7.1.1	Schleifmittel	140
7.1.2	Schleifscheiben.....	141
7.1.3	Schleifpasten	146
7.1.4	Allgemeines zum Schleifen, Kratzen und Vropolieren.....	146
7.1.5	Polieren.....	148
7.1.6	Poliermittel	149

7.1.7	Polierpasten und -emulsionen	149
7.1.8	Schleif- und Poliermittelträger.....	151
7.1.9	Maschinen zum Schleifen und Polieren	154
7.1.10	Die Staubbekämpfung	158
7.1.11	Gleitschleiftechnik	159
7.1.12	Elektrolytisches Entgraten.....	163
7.1.13	Anodisches Schleifen (Elysieren).....	164
7.1.14	Elektrolytisches Polieren und chemisches Glänzen	164
7.1.15	Schlussbetrachtung zum Schleifen und Polieren.....	166
7.2	Entfetten und Reinigen.....	167
7.2.1	Allgemeines.....	167
7.2.2	Verunreinigungen der Oberfläche.....	167
7.2.3	Entfettung, Benetzung und Galvanisierbarkeit	169
7.2.3.1	Anforderungen an Entfettungs- und Reinigungslösungen ..	169
7.2.3.2	Die Oberflächenspannung.....	172
7.2.3.3	Die Grenzflächenspannung.....	173
7.2.4	Entfetten mit chlorierten Lösemitteln	176
7.2.4.1	Entfettungsvorgang mit chlorierten Lösemitteln.....	177
7.2.5	Entfetten in halogenfreien Lösemitteln.....	178
7.2.6	Entfetten in wässrigen Lösungen	181
7.2.6.1	Handreinigung	182
7.2.6.2	Entfetten in alkalischen Lösungen (Abkochentfettung)	182
7.2.6.3	Emulsionsreiniger.....	182
7.2.6.4	Kaltreiniger.....	183
7.2.6.5	Spritzentfetten.....	183
7.2.6.6	Beizentfetten.....	183
7.2.6.7	Elektrolytisches Entfetten	183
7.2.6.8	Elektrolytisches Entzundern in alkalischer Lösung.....	184
7.2.6.9	Elektrolytisches Entzundern in saurer Lösung	184
7.2.6.10	Ultraschallreinigung	185
7.2.7	Gebrauchswertprüfung beim Entfetten	185
7.3	Beizen, Brennen und Entrosten	187
7.3.1	Korrosionsprodukte auf Eisen und Stahl.....	187
7.3.2	Beizen in Salzsäure.....	188
7.3.3	Beizen in Schwefelsäure	188
7.3.4	Beizen in Salpetersäure.....	188
7.3.5	Beizen in Flusssäure	189
7.3.6	Beizen in Phosphorsäure.....	189
7.3.7	Beizsprödigkeit und ihre Verhinderung.....	189

7.3.8	Beizen von Kupfer und Kupferlegierungen.....	190
7.3.9	Elektrolytisches Beizen	194
7.4	Besondere Vorbehandlungsverfahren.....	195
7.4.1	Vorbehandeln von Aluminium und seinen Legierungen	195
7.4.2	Vorbehandeln von Magnesium	196
7.4.3	Vorbehandeln von Zinkdruckguss.....	197
7.4.4	Vorbehandeln von Edelstahl	198
7.4.5	Vorbehandeln von Gusseisen, Temperguss und Gusslegierungen	198
7.4.6	Vorbehandeln von Nickel und Nickellegierungen.....	199
7.4.7	Vorbehandeln von weniger gebräuchlichen Metallen	199
7.5	Spülen, Dekapieren, Neutralisieren	200
7.5.1	Spülen.....	200
7.5.2	Dekapieren	201
7.5.3	Neutralisieren	202
8	Galvanisch hergestellte Metallüberzüge	203
8.1	Blei.....	203
8.1.1	Eigenschaften und Anwendung von Bleiüberzügen.....	203
8.1.2	Galvanisches Abscheiden von Bleiüberzügen.....	204
	8.1.2.1 Bleifluoroboratelektrolyt	204
	8.1.2.2 Bleifluorosilicatelektrolyt.....	204
8.1.3	Anoden	205
8.1.4	Praktische Hinweise.....	205
8.1.5	Abscheiden von Bleilegierungen	205
8.2	Cadmium.....	205
8.2.1	Eigenschaften und Anwendung von Cadmiumüberzügen.....	206
8.2.2	Galvanisches Abscheiden von Cadmiumüberzügen	206
	8.2.2.1 Alkalischer cyanidhaltiger Cadmiumelektrolyt	206
	8.2.2.2 Schwefelsaurer Cadmiumelektrolyt.....	208
	8.2.2.3 Cadmiumfluoroboratelektrolyt	208
8.2.3	Anoden	209
8.2.4	Praktische Hinweise.....	209
8.3	Chrom.....	210
8.3.1	Eigenschaften und Anwendung von Chromüberzügen	210
8.3.2	Galvanisches Abscheiden von Chromüberzügen aus chrom(VI)haltigen Lösungen	211
	8.3.2.1 Elektrolyte zum Verchromen.....	212
	8.3.2.2 Eigenschaften der Elektrolyte	212
	8.3.2.3 Einfluss der Elektrolytzusammensetzung	216
	8.3.2.4 Eigenschaften der Niederschläge	218

8.3.3	Andere Chromelektrolyte	221
8.3.3.1	Elektrolyt auf der Grundlage von Chrom(III)- verbindungen	221
8.3.3.2	Tetrachromatelektrolyte	221
8.3.4	Glanzverchromen	222
8.3.4.1	Chromschichten als Korrosionsschutz	223
8.3.5	Schwarzverchromen	225
8.3.6	Hartverchromen und Porösverchromen	225
8.3.6.1	Doppelhartchromverfahren	227
8.3.6.2	Porösverchromen	227
8.3.7	Praktische Hinweise	228
8.4	Eisen	229
8.4.1	Eigenschaften und Anwendung von Eisenüberzügen	229
8.4.2	Galvanisches Abscheiden von Eisenüberzügen	230
8.4.2.1	Sulfathaltige Elektrolyte	231
8.4.2.2	Chloridhaltige Elektrolyte	231
8.4.3	Anoden	231
8.4.4	Praktische Hinweise	231
8.5	Gold und Goldlegierungen	232
8.5.1	Eigenschaften und Anwendung von Goldüberzügen	232
8.5.2	Galvanisches Abscheiden von Gold und Goldlegierungen	234
8.5.3	Elektrolyte zum Vergolden	235
8.5.3.1	Alkalisch-cyanidhaltige Goldelektrolyte	235
8.5.3.2	Neutrale Goldelektrolyte	236
8.5.3.3	Saure Goldelektrolyte	236
8.5.3.4	Elektrolyte auf Basis von Kaliumtetracyanoaurat	237
8.5.4	Weiterentwicklung beim galvanischen Vergolden	238
8.6	Kupfer und Kupferlegierungen	240
8.6.1	Anwendung von Kupferüberzügen	240
8.6.2	Elektrolyte zum Verkupfern	241
8.6.2.1	Schwefelsaure Matt- und Glanzelektrolyte zum Verkupfern	241
8.6.2.2	Kupferfluoroboratelektrolyte	245
8.6.2.3	Kupferpyrophosphatelektrolyte	246
8.6.2.4	Cyanidhaltige Kupferelektrolyte	247
8.6.2.5	Cyanidhaltige Kupferelektrolyte mit Kaliumnatriumtartrat	249
8.6.2.6	Cyanidhaltige Glanzkupferelektrolyte	250
8.6.2.7	Sonstige Kupferelektrolyte	251
8.6.3	Abscheidebedingungen beim galvanischen Verkupfern	253
8.6.4	Anoden für Kupferelektrolyte	255

8.6.5	Ansatz und Wartung von Kupferelektrolyten	256
8.6.6	Verunreinigungen und ihre Beseitigung.....	256
8.6.7	Überzüge aus Kupferlegierungen	258
8.6.7.1	Galvanisches Abscheiden von Kupfer-Zink (Messing)	258
8.6.7.2	Galvanisches Abscheiden von Bronze.....	261
8.6.8	Eigenschaften von Kupferüberzügen	262
8.7	Nickel.....	268
8.7.1	Eigenschaften von Nickel	268
8.7.2	Elektrolyte zum Vernickeln.....	269
8.7.2.1	Sulfatelektrolyte.....	271
8.7.2.2	Chloridelektrolyte	272
8.7.2.3	Nickelsulfamatelektrolyte	272
8.7.2.4	Nickelfluoroboratelektrolyte	274
8.7.2.5	Andere Elektrolyte	274
8.7.3	Eigenschaften von Nিকেlelektrolyten	274
8.7.3.1	Wirkungsgrad (Stromausbeute)	274
8.7.3.2	Mikro- und Makrostreufähigkeit.....	275
8.7.4	Glanzvernickeln.....	276
8.7.4.1	Theorie der Abscheidung glänzender Nickelniederschläge ...	276
8.7.4.2	Glanznickelelektrolyte	278
8.7.4.3	Abscheidebedingungen beim Glanzvernickeln.....	282
8.7.5	Halbglanzvernickeln.....	283
8.7.5.1	Halbglanznickelelektrolyte	283
8.7.5.2	Abscheidebedingungen beim Halbglanzvernickeln.....	284
8.7.5.3	Eigenschaften von Halbglanznickelniederschlägen	285
8.7.6	Mattvernickeln.....	285
8.7.6.1	Abscheiden aus feindisperser Lösung	285
8.7.6.2	Abscheiden mit suspendierten Feststoffen	286
8.7.6.3	Abscheiden mit Zwischenschichten.....	286
8.7.6.4	Abscheiden aus Emulsionen	286
8.7.6.5	Andere Verfahren	287
8.7.7	Vernickeln von Massenteilen	287
8.7.8	Schwarzvernickeln	288
8.7.9	Dickvernickeln (Hart- und Starkvernickeln).....	289
8.7.10	Dispersionsvernickeln	290
8.7.11	Galvanoplastik und Galvanoformung.....	291
8.7.12	Eigenschaften von Nickelüberzügen.....	292
8.7.12.1	Härte und Verschleißfestigkeit	292
8.7.12.2	Zugfestigkeit.....	292

8.7.12.3	Innere Spannungen	292
8.7.12.4	Bruchdehnung (Elongation).....	295
8.7.12.5	Porosität und Rissigkeit.....	296
8.7.12.6	Struktur.....	296
8.7.12.7	Kohlenstoff-, Schwefel-, Wasserstoff- und Sauerstoffgehalt von Nickelüberzügen	298
8.7.12.8	Haftfestigkeit	299
8.7.13	Vernicklung und Korrosionsschutz.....	299
8.7.13.1	Beständigkeit einfacher Nickelschichten	301
8.7.13.2	Mehrfachschichten und ihre Schutzwirkung.....	301
8.7.14	Instandhaltung von Nিকেlelektrolyten	305
8.7.14.1	Filtration	305
8.7.14.2	Selektivreinigung	306
8.7.14.3	Aktivkohlebehandlung.....	307
8.7.14.4	Andere Behandlungen.....	307
8.7.15	Praktische Hinweise.....	308
8.7.15.1	Anoden.....	308
8.7.15.2	Waren-, Elektrolyt- und Luftbewegung	309
8.7.15.3	Einfluss des Grundmaterials	309
8.7.15.4	Entnicken.....	310
8.8	Platinmetalle	310
8.8.1	Rhodium	311
8.8.1.1	Eigenschaften und Anwendung von Rhodiumschichten	311
8.8.1.2	Elektrolyte zum galvanischen Abscheiden von Rhodium....	311
8.8.2	Palladium.....	314
8.8.2.1	Eigenschaften und Anwendung von Palladiumschichten ...	314
8.8.2.2	Elektrolyte zum galvanischen Abscheiden von Palladium ..	315
8.8.3	Platin.....	317
8.8.3.1	Anwendung von Platinschichten	317
8.8.3.2	Elektrolyte zum galvanischen Abscheiden von Platin	317
8.8.4	Ruthenium	318
8.8.4.1	Elektrolyte zum galvanischen Abscheiden von Ruthenium ..	319
8.9	Silber.....	320
8.9.1	Anwendung von Silberüberzügen.....	320
8.9.2	Elektrolyte zum Versilbern.....	321
8.9.2.1	Cyanidhaltige Silberelektrolyte	321
8.9.2.2	Cyanidfreie Silberelektrolyte	324
8.9.3	Abscheidebedingungen cyanidhaltiger Silberelektrolyte	325
8.9.4	Eigenschaften cyanidhaltiger Silberelektrolyte	326
8.9.5	Anoden für Silberelektrolyte.....	327

8.9.6	Praktische Hinweise.....	328
8.9.6.1	Vorbehandlung.....	328
8.9.6.2	Entfernen von Carbonat aus dem Elektrolyten	329
8.9.6.3	Nachbehandeln	330
8.9.7	Eigenschaften galvanischer Silberniederschläge	330
8.9.8	Besteckversilberung	333
8.10	Zink und Zinklegierungen	334
8.10.1	Eigenschaften und Anwendung von Zinküberzügen.....	334
8.10.2	Galvanisches Abscheiden von Zinküberzügen.....	336
8.10.3	Elektrolyte zum Verzinken.....	336
8.10.3.1	Elektrolyteigenschaften im Vergleich.....	336
8.10.3.2	Alkalische Elektrolyte zum Verzinken	339
8.10.3.3	Saure Elektrolyte zum Verzinken	342
8.10.3.4	Andere Elektrolyte zum Verzinken.....	343
8.10.4	Praktische Hinweise.....	344
8.10.4.1	Verzinken von Gestell- und Massenteilen	344
8.10.4.2	Vorbehandlung beim galvanischen Verzinken.....	345
8.10.4.3	Ansatz und Wartung der Elektrolyte.....	345
8.10.4.4	Nachbehandlung verzinkter Teile.....	346
8.10.5	Entzinken.....	347
8.10.6	Die Abscheidung von Zinklegierungen	347
8.10.6.1	Zink-Cobalt-Legierungsschichten	348
8.10.6.2	Zink-Nickel-Legierungsschichten	349
8.10.6.3	Zink-Eisen-Legierungsschichten	351
8.10.6.4	Anwendung der Zink-Legierungsschichten	352
8.11	Zinn und Zinnlegierungen	353
8.11.1	Eigenschaften und Anwendung von Zinnüberzügen.....	353
8.11.2	Elektrolyte zum galvanischen Verzinnen	355
8.11.2.1	Schwefelsaure Zinnelektrolyte (Zinnsulfatelektrolyte).....	355
8.11.2.2	Zinnfluorboratelektrolyte.....	356
8.11.2.3	Natriumstannatelektrolyte.....	356
8.11.2.4	Kaliumstannatelektrolyte.....	357
8.11.3	Glanzzinnüberzüge.....	358
8.11.4	Überzüge aus Zinnlegierungen	358
8.11.4.1	Zinn-Blei-Legierungsüberzüge.....	358
8.11.4.2	Zinn-Zink-Legierungsüberzüge.....	359
8.11.4.3	Zinn-Nickel-Legierungsüberzüge.....	361
8.11.4.4	Zinn-Cadmium-Legierungsüberzüge.....	362
8.11.4.5	Zinn-Cobalt-Legierungsüberzüge.....	362

8.12	Galvanisches Abscheiden weniger gebräuchlicher Metalle	363
8.12.1	Antimon.....	363
8.12.2	Indium	363
8.12.3	Cobalt	364
8.12.4	Wolfram.....	365
8.12.5	Rhenium	365
8.12.6	Wismut	366
8.12.7	Mangan.....	366
8.12.8	Aluminium	366
9	Galvanisieren von Kunststoffen	368
9.1	Allgemeines	368
9.2	Vorteile durch Galvanisieren von Kunststoffen	369
9.3	Galvanisierfähige Kunststoffe	370
9.4	Herstellung galvanisierfähiger Kunststoffteile	373
9.5	Gestelltechnik	374
9.5.1	Praxis des Kunststoffgalvanisierens	374
9.5.2	Vorbehandlung.....	375
9.5.2.1	Vorquellen.....	375
9.5.2.2	Beizen	375
9.5.2.3	Aktivieren	376
9.5.2.4	Beschleunigen.....	377
9.5.3	Chemische (außenstromlose) Metallabscheidung auf Kunststoffen ..	377
9.5.4	Elektrolytische Weiterbehandlung	378
9.6	Sonderverfahren	379
9.6.1	Galvanisieren von Massenteilen aus Kunststoff.....	379
9.6.2	Partielle Galvanisierung von Kunststoffteilen	380
9.7	Qualitätsprüfung galvanisierter Kunststoffteile.....	382
9.7.1	Temperaturwechseltest	382
9.7.2	Bestimmen der Haftfestigkeit	382
9.7.3	Schocktest.....	382
9.7.4	Feiltest	382
10	Herstellen von Leiterplatten.....	383
10.1	Vorlagenerstellung	383
10.2	Basismaterial für Leiterplatten	384
10.3	Mechanisches Bearbeiten von Leiterplatten.....	385
10.4	Bildauftrag	386
10.4.1	Photodruck	386
10.4.2	Siebdruck.....	387

10.5	Subtraktivtechnik zum Herstellen von Leiterplatten	388
10.5.1	Chemisches Verfahren bei der Subtraktivtechnik.....	389
10.5.1.1	Entfetten.....	390
10.5.1.2	Konditionieren	390
10.5.1.3	Anbeizen.....	390
10.5.1.4	Aktivieren	390
10.5.1.5	Beschleunigen.....	391
10.5.1.6	Chemisches Verkupfern	391
10.5.2	Galvanische Verfahren bei der Herstellung von Leiterplatten	392
10.5.2.1	Verkupfern von Leiterplatten	392
10.5.2.2	Verzinnen von Leiterplatten	394
10.5.2.3	Blei-Zinn-Legierungsüberzüge für Leiterplatten.....	394
10.5.2.4	Vernickeln von Leiterplatten.....	395
10.5.2.5	Vergolden von Steckverbindungen.....	395
10.6	Tentingtechnik zum Herstellen von Leiterplatten.....	396
10.7	Additivtechnik zum Herstellen von Leiterplatten.....	398
10.8	Semiadditivtechnik.....	399
10.9	Ätzen von Leiterplatten	400
10.10	Aufschmelzen	402
10.11	Bestücken und Löten von Leiterplatten	402
11	Oberflächenbehandlung von Aluminium	403
11.1	Böhmit-Verfahren	404
11.2	Chemische Oxidation.....	404
11.3	Saure Chromatierungs- und Phosphatierungsverfahren	404
11.4	Chrom(VI)freie Passivierungen	405
11.4.1	Chromfreie Verfahren	405
11.4.2	Chrom(III)haltiges Passivieren	406
11.5	Anodische Oxidation.....	407
11.6	Färben von anodischen Oxidschichten	409
11.6.1	Färben mit organischen Farbstoffen.....	409
11.6.2	Färben mit anorganischen Stoffen.....	411
11.6.3	Farbanodisierverfahren.....	412
11.6.3.1	Einstufen-Anodisierverfahren	412
11.6.3.2	Zweistufen-Farbanodisierverfahren.....	413
11.6.3.3	Mehrstufige Färbeverfahren	416
11.7	Hartanodisieren.....	416
11.8	Chromsäureanodisieren.....	417
11.9	Sonderverfahren.....	418

11.10	Glänzen von Aluminium.....	418
11.11	Verdichten (Sealen)	420
11.12	Prüfen anodischer Oxidschichten.....	421
11.13	Galvanisieren von Aluminium.....	421
11.14	Oberflächenbehandlung von Magnesium.....	421
12	Außenstromlos (chemisch) hergestellte Metallüberzüge.....	423
12.1	Besonderheiten der außenstromlosen (chemischen) Herstellung von Metallüberzügen.....	423
12.2	Vor- und Nachteile der außenstromlosen Beschichtung.....	424
12.3	Die außenstromlose (chemische) Vernicklung	424
12.3.1	Vergleich mit der elektrolytischen Vernicklung	424
12.3.2	Chronologische Entwicklung	425
12.3.3	Bäder zur chemischen Vernicklung.....	427
12.3.4	Bäder auf Hypophosphitbasis	427
12.3.4.1	Schwachsaure Hypophosphitbäder	429
12.3.4.2	Alkalische Hypophosphitbäder.....	429
12.3.5	Bäder mit borhaltigen Reduktionsmitteln	430
12.3.6	Nickelabscheidung aufHydrazinbasis.....	432
12.3.7	Abscheidung von Legierungsschichten	432
12.3.8	Stromlose Abscheidung von Dispersionsüberzügen	433
12.3.9	Die Praxis der stromlosen Vernicklung	435
12.3.9.1	Der Grundwerkstoff und seine Vorbehandlung	435
12.3.9.2	Badparameter, ihre Überwachung und ihr Einfluss	436
12.3.9.3	Regenerierung der Nickelbäder.....	437
12.3.9.4	Thermische Nachbehandlung	437
12.3.10	Wichtige funktionelle Schichteigenschaften	438
12.4	Andere stromlos abgeschiedene Metallschichten	439
12.4.1	Die stromlose Verkupferung	439
12.4.2	Die stromlose Vergoldung.....	440
12.4.3	Die stromlose Palladiumabscheidung.....	441
12.4.4	Die stromlose Abscheidung von Cobalt	441
12.4.5	Die stromlose Zinnabscheidung.....	441
12.4.6	Stromloses Versilbern	442
13	Chemisch erzeugte Schutzschichten	444
13.1	Phosphatieren.....	444
13.1.1	Anwendung des Phosphatierens	444
13.1.2	Grundlagen des Phosphatierens.....	446

13.1.3	Verfahrensablauf beim Phosphatieren	447
13.1.4	Eigenschaften der Phosphatschichten	448
13.2	Chromatieren.....	448
13.2.1	Chromatieren von Zink und Cadmium.....	449
13.2.1.1	Bildung der Chromatschicht auf Zink	449
13.2.1.2	Eigenschaften der Chromatschichten auf Zink und Cadmium.....	452
13.2.1.3	Verfahren zum Chromatieren von Zink- und Cadmiumschichten	454
13.2.2	Chromatieren von Silber.....	457
13.3	Färben von Metallen.....	458
13.3.1	Färben von Kupfer und seinen Legierungen	458
13.3.1.1	Färben mit Schwefelleber.....	459
13.3.1.2	Goldschwefellösung	459
13.3.1.3	Schwarzfärbung (Persulfatverfahren)	459
13.3.1.4	Lüstersudfärbung	459
13.3.1.5	Patinafärbung.....	460
13.3.1.6	Messing-Braunfärbung	460
13.3.1.7	Färbung in Salzschnmelzen	460
13.3.2	Färben von Stahl	461
13.3.2.1	Färben von Stahl durch Anlauffarben.....	461
13.3.2.2	Brünieren von Stahl in heißen Laugen.....	462
13.3.2.3	Schwarzfärbung von Stahl	463
13.3.3	Färben von Silber.....	463
13.3.3.1	Altsilberfärbung.....	463
13.3.4	Nachbehandlung beim Färben von Metallen.....	464
14	Entmetallisieren	465
14.1	Chemisches Entmetallisieren	465
14.2	Elektrolytisches (anodisches) Entmetallisieren	466
14.3	Vorbehandlung entmetallisierter Oberflächen vor der Galvanisierung.....	466
14.4	Entmetallisieren in der Praxis.....	467
15	Wasser, Abwasser und Recycling in der Galvanotechnik	470
15.1	Wasserversorgung	470
15.1.1	Wasserarten und -eigenschaften.....	470
15.1.1.1	Wasserverunreinigungen	470
15.1.1.2	Wasserhärte.....	471
15.1.2	Auswirkung der Wasserverunreinigungen beim Galvanisieren	471

15.1.3	Das Aufbereiten von Wasser	472
15.1.3.1	Enthärten von Wasser	472
15.1.3.2	Wasserentsalzung.....	472
15.1.3.3	Herstellen von Reinstwasser	473
15.2	Abwasser in der Galvanotechnik	473
15.2.1	Abwasserarten	473
15.2.2	Abwassermengen.....	474
15.2.2.1	Spülwasser	474
15.2.2.2	Konzentrate und Halbkonzentrate	474
15.3	Möglichkeiten zum Verringern der Abwassermenge	475
15.3.1	Verbessern des Spüleffektes.....	476
15.3.1.1	Standspüle.....	476
15.3.1.2	Mehrfachverwendung des Spülwassers.....	478
15.3.1.3	Kaskadenspüle	478
15.3.1.4	Intensivieren der Spültechnik.....	479
15.3.1.5	Spülwasserkreislaufführung über Ionenaustauscher	479
15.3.2	Verlängern der Standzeit von Prozesslösungen.....	481
15.3.2.1	Verlängern der Standzeit von Entfettungsbädern	482
15.3.2.2	Verlängern der Standzeit von galvanischen Elektrolyten	483
15.3.2.3	Verlängern der Standzeit von Chromatierungslösungen	483
15.3.3	Rückführen von Prozesslösungen	484
15.3.3.1	Aufkonzentrieren von Spülwässern und Elektrolyten durch Verdunsten und Verdampfen.....	484
15.3.3.2	Zurückführen der Prozesslösung durch Elektrodialyse	487
15.3.3.3	Reinigen der zurückgeführten Lösungen	488
15.3.4	Rückgewinnen von Wertstoffen	489
15.3.4.1	Herstellen einer konzentrierten Kupfersulfatlösung.....	490
15.3.4.2	Rückgewinnen von Chromsäure	490
15.3.4.3	Zurückgewinnen von Nickelhydroxid.....	490
15.3.4.4	Rückgewinnen von Schichtmetallen (Kupfer, Nickel) durch Elektrolyse	491
15.3.4.5	Rückgewinnen von Edelmetallen.....	492
15.3.4.6	Rückgewinnen von Lösemitteln.....	492
15.4	Verfahren zum Entgiften und Neutralisieren	493
15.4.1	Allgemeines.....	493
15.4.2	Entgiften von Cyaniden	495
15.4.3	Chromsäurereduktion	496
15.4.4	Neutralisieren und Ausfällen der Metalle.....	496
15.4.5	Anlagen zur Abwasserbehandlung.....	497
15.4.6	Die Schlammbehandlung.....	499
15.4.7	Mess-, Regel- und Steuertechnik	500

16 Betriebsüberwachung	502
16.1 Allgemeines	502
16.2 Kontrolle der Zusammensetzung von Behandlungslösungen	502
16.2.1 Analytische Untersuchung von Elektrolytproben	502
16.2.2 Kontrolle der Elektrolyte mit Testzellen.....	503
16.2.3 Automatische Korrektur der Elektrolytzusammensetzung	503
16.3 Bestimmen der Oberflächengröße der Werkstücke.....	504
16.4 Zähler zur Kontrolle galvanischer Prozesse	505
16.4.1 Messen der Elektrizitätsmenge	505
16.4.2 Messen des Metallgewichtes.....	506
16.5 Bestimmen des Wirkungsgrades	506
16.6 Einstellen der Stromdichte beim Galvanisieren.....	507
16.6.1 Örtliche und mittlere Stromdichte	507
16.6.2 Kontrolle der Stromdichte mit Messsonden.....	507
16.6.3 Konstanzhaltung der Stromdichte durch Kennlinienanpassung.....	508
16.6.4 Stromdichtekonstanzhaltung durch Stromregelung auf einen flächenabhängigen Sollwert	508
16.6.5 Weitere Möglichkeiten zur Stromeinstellung.....	508
16.7 Kontrolle der Schichtdicke im Anschluss an die Abscheidung	509
16.8 Kontrolle der Schichtdicke während der Abscheidung	509
16.8.1 Schichtdickenkontrolle durch Integration der Stromdichte.....	510
16.8.2 Schichtdickenkontrolle durch Ultraschall-Laufzeitmessung	510
16.8.3 Schichtdickenkontrolle mit Hilfe einer Messkathode	510
16.8.4 Gravimetrische Schichtdickenkontrolle.....	510
16.8.5 Schichtdickenkontrolle durch Bestimmung der Abscheidungs- geschwindigkeit.....	510
16.9 Kontrolle weiterer Prozessdaten	511
16.9.1 Kontrolle der Elektrolyttemperatur	511
16.9.2 Kontrolle der Höhe des Elektrolytspiegels	511
16.9.3 Kontrolle der Elektrolytfiltration	511
16.9.4 Kontrolle der Bewegung des Elektrolyten.....	511
16.10 Kontrolle der Eigenschaften von Grundwerkstoff	512
16.10.1 Identifizierung von Metallen	512
16.10.2 Bestimmung der Oberflächenrauheit	512
16.10.3 Messung der Schichtdicke	512
16.10.4 Messung der Härte	512
16.10.5 Prüfung auf Oberflächenfehler	512
16.10.6 Prüfung der Korrosionsbeständigkeit	512
16.10.7 Prüfung sonstiger Eigenschaften von Überzügen	513

17 Unfall- und Gefahrenschutz in galvanischen Betrieben	514
17.1 Erste Hilfe	514
17.1.1 Grundbegriffe zur Ersten Hilfe	514
17.1.2 Wunden und Wundversorgung	515
17.1.2.1 Mechanische Ursachen von Wunden	515
17.1.2.2 Chemische Ursachen von Wunden	516
17.1.2.3 Thermische Ursachen von Verletzungen	517
17.1.3 Vergiftungen	518
17.1.4 Stromunfälle	520
17.1.5 Sonstige lebensbedrohliche Zustände	522
17.1.5.1 Bewusstlosigkeit	522
17.1.5.2 Atemstillstand	523
17.2 Ausstattung eines Erste-Hilfe-Kastens für den Galvanobetrieb	523
17.3 Sonstige Schutzausrüstungen im Betrieb	524
17.3.1 Persönliche Ausrüstung	524
17.3.2 Sicherheitseinrichtungen	524
17.3.3 Überwachung der Schadstoffkonzentrationen	525
17.4 Belehrung der Mitarbeiter	525
18 Kalkulation in der Galvanotechnik	530
18.1 Kostenerfassung	530
18.2 Kostenstellenabgrenzung	530
18.2.1 Kostenstellenplan	531
18.2.2 Hauptkostenstelle	531
18.2.3 Gruppenkostenstelle	531
18.2.4 Einzel- oder Verfahrenskostenstelle	532
18.2.5 Kostenstellenschlüssel	532
18.3 Oberflächengröße	533
18.4 Umlegeverfahren	533
18.4.1 Materialkosten	533
18.4.2 Lohnkosten	534
18.4.3 Platzkosten	534
18.4.4 Auswertung	534
19 Wichtige Normen und technische Regeln in der Galvano- und Oberflächentechnik	536
19.1 Messtechnik	537
19.1.1 Allgemeines, Begriffe	537
19.1.2 Oberflächen, Geometrie und Rauheit	538
19.1.3 Physikalische und chemische Eigenschaften	540

19.2	Unbeschichtete Werkstoffe und Bauteile, Chemikalien.....	541
19.2.1	Anforderungen und Festlegungen	541
19.2.2	Allgemeine Prüfnormen	542
19.3	Schichten und beschichtete Bauteile	543
19.3.1	Anforderungen und Festlegungen.....	543
19.3.2	Verfahren zur Beschichtung/Verfahren zur Oberflächenbehandlung...	547
19.3.3	Prüfung physikalischer und mechanischer Schichteigenschaften	558
19.3.4	Schichtdickenmessung	565
19.4	Klimate – Korrosion – Verschleiß.....	568
19.4.1	Allgemeines.....	568
19.4.2	Klima- und Korrosionsprüfungen.....	570
19.5	Umwelt – Umwelttechnik – Arbeitssicherheit	575
19.5.1	Allgemeines.....	575
19.5.2	Abwasser	577
19.5.3	Abluft.....	579
19.6	Qualitätssicherung	580
19.7	Nanotechnologie	582
20	Chemikalien für die Galvanotechnik.....	583
21	Tabellen-Anhang.....	593
	Literatur.....	608
	Stichwortverzeichnis	625

1 Galvanische Verfahren in der Praxis

1.1 Anwendung galvanischer Überzüge

Galvanische Schichten werden abgeschieden, um einer Metall- oder Nichtmetalloberfläche bestimmte Eigenschaften zu verleihen, die diese selbst nicht besitzt, oder um bestimmte Werkstücke oder Teile herzustellen.

1.1.1 Das Erzeugen bestimmter Eigenschaften der Oberfläche

Aus metallischen oder nichtmetallischen Werkstoffen hergestellte Teile unterliegen beim Gebrauch bestimmten Beanspruchungen. Zug, Druck, Verformung oder Verdrehung beanspruchen die mechanischen Eigenschaften des Grundwerkstoffes und die Konstruktion des Teiles, während die Beanspruchungen auf Korrosion, Erosion, Reibung oder Verschleiß die Werkstückoberfläche betreffen. Die Funktionstüchtigkeit von Werkstücken und Teilen ist daher nur gewährleistet, wenn sowohl der Werkstoff als auch seine Oberfläche bestimmte Eigenschaften haben.

In vielen Fällen erfüllt der Werkstoff die an ihn gestellten Forderungen bezüglich seiner mechanischen und der anderen geforderten Oberflächeneigenschaften nicht gleichzeitig. Der Grund dafür kann technischer, verfahrenstechnischer oder wirtschaftlicher Art sein. So kann ein Teil zum Beispiel nicht aus korrosionsbeständigem Chrom-Nickel-Stahl gefertigt werden, weil dessen mechanische Eigenschaften die erforderliche Umformung nicht zulassen. Man wählt daher Tiefziehstahl, dessen Oberfläche vernickelt und verchromt wird.

Weitere Beispiele: Ein Solarabsorber wird aus Kupfer gefertigt, da dieses Metall gut wärme- und elektrisch leitfähig ist. Die Kupferoberfläche hat aber keine genügenden Absorptionseigenschaften für das einfallende Sonnenlicht, deshalb scheidet man auf der Oberfläche eine Schwarzchromschicht ab, die diese Eigenschaften hat. Ein kompliziertes Teil wird sehr kostengünstig durch Spritzen oder Gießen aus Kunststoff hergestellt, der aber eine weiche und nicht abriebfeste Oberfläche hat. Die Erzeugung des Werkstückes aus Stahl durch spanabhebendes Bearbeiten ist sehr teuer. Die Lösung bietet eine Hartchromschicht, die der Kunststoffoberfläche die entsprechende Widerstandsfähigkeit gegen reibende Beanspruchung verleiht.

Metallische Schichten, die für diese Zwecke galvanisch abgeschieden werden, sind dünn und kaum dicker als 50 µm. Das Abscheiden solcher Schichten bezeichnete man früher als

Galvanostegie (zum Unterschied von der Galvanoplastik, womit die Abscheidung dicker Schichten gekennzeichnet wurde). Dieser Ausdruck ist im deutschen Sprachgebrauch nicht mehr üblich, man unterscheidet dagegen zwischen dekorativen und funktionellen Schichten und benutzt daher auch die Begriffe *dekorative* und *funktionelle* Galvanotechnik.

Einen Überblick über die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten galvanisch abgeschiedener Schichten aufgrund ihrer Eigenschaften geben die Beispiele in *Tabelle 1*.

Das galvanische Abscheiden von Metallüberzügen wendet man nicht nur wegen der Schichteigenschaften an, auch die Eigenschaften des Verfahrens werden genutzt. Die Innenwände von Bohrungen bei gedruckten Schaltungen werden zum Beispiel durch eine galvanisch abgeschiedene Kupferschicht leitend gemacht (Durchkontaktieren), wobei die gute Tiefenstreuung der Kupferelektrolyte ausgenutzt wird, um gleich dicke Kupfer-

Tabelle 1: Übersicht über einige wichtige Eigenschaften galvanisch abgeschiedener Überzüge und die entsprechenden Anwendungen

<i>Eigenschaft</i>	<i>Anwendungszweck</i>	<i>Beispiel</i>
Farbe	gutes Aussehen	vermessingte Leuchten, Möbelbeschläge
Glanz	dekoratives Aussehen Reflexionsvermögen	verchromte Armaturen, versilberte Spiegel
Härte/Verschleißfestigkeit	Erhöhung der Standzeit	hartverchromte Werkzeuge
Gleitfähigkeit	Verbesserung der Trocken- gleiteigenschaften	Blei-Zinn-Kupfer-Legierungen für Gleitlager
Chemische Beständigkeit	Schutz gegen Chemikalien- einwirkung	Blei-Zinn-Schichten als Ätzresist bei gedruckten Schaltungen
Korrosionsbeständigkeit	Schutz gegen die atmosphärische Korrosion	Zinkschichten auf Werkstücken aus Stahl
Elektrische Leitfähigkeit	Leitung des elektrischen Stromes auf der Oberfläche	Leiterbahnen auf gedruckten Schaltungen
Wärmeleitfähigkeit	Verbesserter Wärmeübergang auf der Oberfläche	verkupferte Böden von Töpfen für Elektroherde
Zerspanbarkeit	Formgebung durch span- ab-hebendes Bearbeiten	Kupferschichten auf Tiefdruck- zylindern
Magnetische Eigenschaften	Erhöhung der Koerzitivkraft*)	Cobalt-Nickel-Legierungen auf Magnetspeichern
Lötbarkeit	Löten ohne aggressive Flussmittel	Zinn-Blei-Schichten auf Leiter- bahnen gedruckter Schaltungen
Haftfähigkeit	Verbesserung der Haftung	Messingschichten auf Reifen- einlegedraht
Schmierfähigkeit	Verbesserung der Verformbarkeit	Verkupfern beim Drahtziehen

*) Koerzitivkraft = Kraft, mit der ein Stoff versucht, die einmal angenommene Magnetisierung zu behalten

schichten in der ganzen Bohrung zu erzeugen. Es wird aber auch die schlechte Tiefenstreuung eines Elektrolyten bei der elektrolytischen Herstellung von Feilen durch Verchromen genutzt. Auf den Spitzen der Feile wird mehr Chrom abgeschieden als in den Vertiefungen.

1.1.2 Galvanisches Abscheiden dicker Schichten

Galvanoplastik und Galvanoformung

Zum Unterschied von galvanisch abgeschiedenen dünnen Schichten, welche dem Grundmetall die Eigenschaften des Überzugmetalles verleihen, schließt die Abscheidung dicker Schichten zwei Aufgabengebiete ein. Unter *Galvanoplastik* versteht man schlechthin das Herstellen dicker Schichten auf galvanischem Wege, während bei der *Galvanoformung* (oder *Elektroformung*) die Form (der Kern) nach dem Galvanoformen durch chemische Auflösung oder mechanisches Abtrennen entfernt wird. Das Werkstück wird also vollständig auf galvanischem Wege hergestellt.

Einige Beispiele mögen dies kurz erläutern. Das genaue Abkopieren vom Original mittels der Galvanoformung nutzt man bei der Schallplattenherstellung (nach dem neuesten DMM (Direct Metal Mastering)-Verfahren werden die Schallrillen direkt in eine galvanisch aufgebrauchte Kupferschicht geschnitten, um das Klangbild zu verbessern), beim Erzeugen komplizierter Formen für das Spritzen von Kunststoffteilen und beim Herstellen von komplizierten Einzelteilen, wie zum Beispiel Wellenleitern oder Teilen für die Raumfahrt.

Beim Abscheiden dicker Schichten (Galvanoplastik) werden zum Beispiel auf Tiefdruckzylinder Kupferschichten aufgetragen, die einige Millimeter dick sein können, in welche das Druckbild eingätzt oder eingraviert wird. Auch das Instand setzen verschlissener Teile gehört hierzu, wie zum Beispiel das Dickvernickeln und Hartverchromen von Kurbelwellen, Achsen und anderen Teilen. Schließlich nutzt man das galvanische Abscheiden dicker Schichten beim Verbinden von Teilen, die wegen der Gefahr des Entstehens von Spannungsrissen weder geschweißt, gelötet oder genietet werden können. Diese Anwendung nutzt man auch in der Raumfahrt und beim Herstellen des Space Shuttle. Die Galvanoplastik findet auch im Kunstgewerbe beim Galvanisieren von Blumen, Pflanzen und Insekten Anwendung. Das Verkupfern von Babyschuhen zählt ebenfalls dazu. Über das galvanische Abscheiden dicker Schichten siehe auch *Kapitel 4.1* und *8.7.11*.

Ein weiteres interessantes Anwendungsgebiet für dicke galvanische Schichten ist die Sieberstellung. Sehr fein perforierte Folien für Trockenrasierer werden so hergestellt, dass die Oberfläche der Vorlage mit feinen nichtleitenden Teilchen beschichtet wird, die beim Vernickeln nicht überdeckt werden.

Herstellen von Metallpulver

Die Eigenschaft elektrolytischer Verfahren, dass bei extrem hohen Stromdichten keine zusammenhängenden Überzüge mehr erhalten werden, nutzt man bei der Herstellung von Metallpulver. Auf Kathoden geringer Fläche (z.B. Drähten) wird ein Metall bei so hoher Stromdichte abgeschieden, dass es in Pulverform anfällt und nach dem Trocknen, zum Beispiel bei der Herstellung von Sintermetall, verwendet wird.

1.1.3 Erzeugen von Werkstoffen durch galvanische Verfahren

Zu den Werkstoffen, die sich nur auf elektrolytischem Wege erzeugen lassen, gehören:

- Legierungen, die auf schmelzmetallurgischem Wege nicht herstellbar sind, das heißt hauptsächlich solche, die keine Mischkristalle und kein Eutektikum bilden
- Werkstoffe, in denen das Metall als Träger auftritt, zum Beispiel in Metallband eingebaute Halbleiter

Als Verbundwerkstoffe werden auch alle Materialien verstanden, die durch die Kombination Basiswerkstoff und Schicht beziehungsweise Schichten entstehen. Diese Kombinationen werden auch als Werkstoffverbunde bezeichnet.

1.1.4 Voraussetzungen für das Herstellen galvanisch erzeugter Metallschichten

Leitende Oberflächen

Die erste Voraussetzung besteht darin, dass Oberflächen, die galvanisiert werden sollen, leitend sein müssen. Ist die Oberfläche des Grundwerkstoffes nichtmetallisch, also nichtleitend, so muss sie zuerst leitend gemacht werden.

Das Leitend machen von Kunststoffoberflächen ist in *Kapitel 9* beschrieben. Glas oder Keramik können mit silber- oder graphithaltigen Leitlacken vorbehandelt werden, oder man scheidet auf ihnen mittels eines chemisch arbeitenden Verfahrens eine Metallschicht ab (*Kap. 12*).

Ein Beispiel für das Galvanisieren von Glasoberflächen ist die Herstellung beheizter Heckscheiben für Autos. Die Stellen, auf denen die Kupferleiterbahnen galvanisch abgeschieden werden, macht man vorher durch Auftragen eines anorganischen Silberemails leitend. Auf diese Weise werden auch die Metalleinrahmungen von Kfz-Ausstellfenstern hergestellt. Das Leitend machen durch stromlose (chemische) Metallabscheidung ist auch die Grundlage bei der Herstellung gedruckter Schaltungen.

Größe und Gestalt der Teile

Die Größe der Teile bestimmt das Verfahren, das beim Galvanisieren angewandt wird. Größere und sperrige Teile werden auf Gestellen befestigt, kleine Massenteile in Trommeln oder Glocken behandelt (*Kap. 5*).

Im Tauchverfahren werden auch große Hohlteile galvanisiert, die in so einem Falle zum Behälter umfunktioniert werden. Ein Beispiel ist das Dickvernickeln von chemischen Reaktionsgefäßen, deren Wände kathodisch geschaltet werden, während die Anoden innen angeordnet sind.

Große Teile, die nicht transportiert werden können oder nur an bestimmten Stellen galvanische Überzüge erhalten sollen, können im Tamponverfahren behandelt werden (*Kap. 4.4*).

Die Gestalt der zu galvanisierenden Werkstücke ist wichtig, da das Streuvermögen der Elektrolyte gewisse Grenzen setzt. Bei außergewöhnlich starker Profilierung oder bei Überschneidungen und Abblendungen können, selbst bei der Anwendung von Hilfsanoden, an schlecht zugänglichen Stellen nur sehr dünne Schichten abgeschieden werden oder die Metallabscheidung kann unter Umständen ganz ausbleiben. In so einem Falle lassen sich durch das Tamponverfahren auch dort Schichten aufbringen.

Galvanisiergerechtes Konstruieren

Beim galvanisiergerechten Konstruieren der Teile sind bestimmte Grundsätze zu beachten. Vor allem sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

1) *Wahl des Werkstoffes oder einer Werkstoffkombination:* Bei Stahl kann ein zu hoher Kohlenstoffgehalt oder eine zu hohe Materialhärte die Haftfähigkeit galvanisch aufgebrachtener Überzüge negativ beeinflussen. Eine zu geringe Materialhärte erlaubt es nicht, die bei der Hartverchromung gewünschten Oberflächeneigenschaften zu erreichen. Die Werkstoffart oder die Kombination verschiedener Werkstoffe beeinflussen den einzuschlagenden Arbeitsgang (Stahl und Kupfer erfordern zum Beispiel verschiedene Vorbehandlungen). Sehr wichtig ist die Wahl des Werkstoffes auch bei Aluminium, da verschiedene Legierungen unterschiedliche Farben und Eigenschaften der anodisch erzeugten Schichten zur Folge haben.

Beachtet werden muss auch die Auswirkung der galvanischen Behandlung auf die Materialeigenschaften. Besonders wichtig ist der Einfluss der kathodischen Wasserstoffentwicklung auf die Festigkeitswerte von federhartem oder hochfestem Stahl.

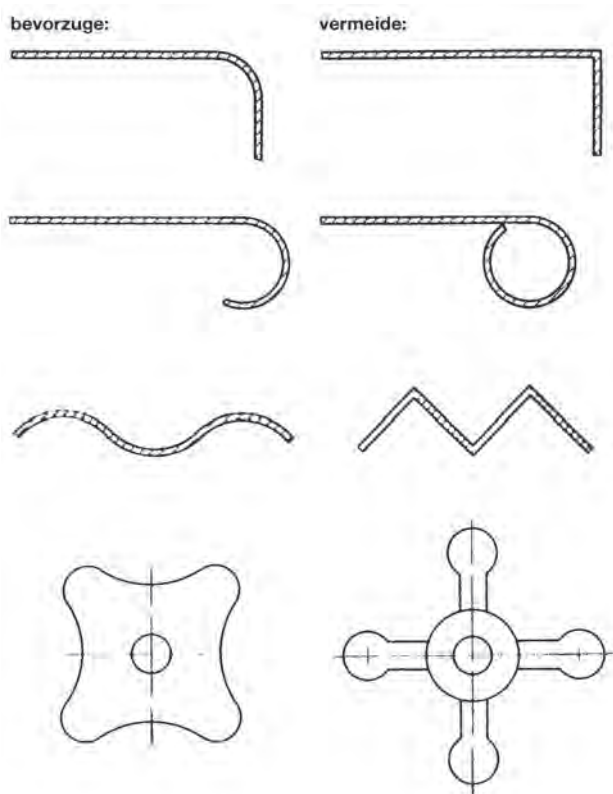


Abb. 1: Zu bevorzugende und zu vermeidende Konstruktionen
(siehe Galvanisiergerechtes Konstruieren von der International Nickel Co., Kap. 5.1.1)

2) *Bei der Form der Teile* muss auf die Auswirkung von Kanten, Ecken und Bohrungen auf den galvanischen Überzug, vor allem auf die Schichtdickenverteilung geachtet werden (*Abb. 1*). Überlappungen, Bördelungen oder Nietverbindungen können nicht nur ein unterschiedliches, fleckenförmiges Aussehen der galvanischen Schichten zur Folge haben, sie können auch ein einwandfreies Spülen verhindern und bewirken, dass aggressive Restlösungen nachträglich *ausblühen*. Wenn nach dem Galvanisieren genaue Endmaße einzuhalten sind, muss die Konstruktion eventuell Untermaße vorsehen. Die einzelnen Flächen müssen für die vorgesehenen Behandlungen zugänglich sein (z.B. auch beim Schleifen und Polieren). Sollen nur bestimmte Flächen galvanisiert werden, muss eine Abdeckung der restlichen Stellen auf einfachem Wege möglich sein.

3) *Bei der Herstellung von Teilen und Werkstücken* ist darauf zu achten, dass das Herstellungsverfahren die Möglichkeit des Galvanisierens nicht negativ beeinflusst. So können sich zum Beispiel Schwierigkeiten bei der Vorbehandlung ergeben, wenn rohe, spanabhebend bearbeitete und verformte Flächen nebeneinander liegen. Innere Spannungen, die durch starke Verformung entstanden sind, fördern die Wasserstoffversprödung. Unebene Oberflächen (aufgeraute Schweißnähte u.ä.) können Knospen- oder Wulstbildung bei der Abscheidung zur Folge haben.

4) *Die Wahl des Werkstoffe und der Konstruktion* beeinflusst die Wirtschaftlichkeit der galvanischen Behandlung oft in sehr hohem Maße. Es empfiehlt sich daher, bei der Lösung der Probleme der Werkstoffwahl, Konstruktion, Herstellung und Oberflächenbehandlung gleich zu Beginn alle beteiligten Fachleute hinzuziehen und sich vor Anfang der Arbeit Klarheit über alle Fragen zu schaffen, die mit der Möglichkeit einer wirtschaftlichen Herstellung zusammenhängen.

1.2 Arbeitsgänge beim Galvanisieren

Das Festlegen von Verfahrensabläufen und Arbeitsgängen ist eine wichtige Voraussetzung bei der Planung von neuen Galvaniken. Die Wahl und Berechnung der erforderlichen Anlagentechnik gewährleistet Qualität und Wirtschaftlichkeit der eigentlichen Produktion. Sie setzt die Kenntnis folgender Angaben voraus:

- Erforderliche Qualität der galvanisierten Werkstücke
- Anzahl, Beschreibung und Reihenfolge der Verfahrensschritte, die notwendig sind, um die Qualität zu gewährleisten
- Benötigte Rohstoffe, Chemikalien, Wasser und andere Hilfsmittel
- Energiebedarf (elektrischer Strom, Dampf) insgesamt und für die einzelnen Verfahrensschritte
- Möglichkeiten des internen oder externen Recycling und der Entsorgung von Abfällen beziehungsweise Abwasser (Auflagen, Vorschriften, Gesetze)
- Vorschriften über die Kontrolle, Gütesicherung und Wartung (Eingangs-, Zwischen- und Endkontrolle; Bedienungsanleitungen)

Der Goldgehalt der Schichten (Feingehalt) wird in Tausendteilen oder in Karat angegeben:

- 24 Karat = 1000,00/1000 Feingold
- 18 Karat = 750,00/1000 Feingold
- 14 Karat = 585,00/1000 Feingold
- 12 Karat = 500,00/1000 Feingold
- 8 Karat = 333,33/1000 Feingold

8.5.3 Elektrolyte zum Vergolden [102 - 106]

Grundlage der meisten heute verwendeten Goldelektrolyte ist der Cyanokomplex des einwertigen Goldes, der in Form von Kaliumdicyanoaurat(I) den Elektrolyten zugesetzt wird, das mit 67 bis 68 % Gold ein handelsübliches Produkt ist. Daneben sind in geringerem Umfang Elektrolyte in Gebrauch, die den Cyanokomplex des dreiwertigen Goldes (Kaliumtetracyanoaurat(III)) oder Gold als Sulfitokomplex enthalten.

Nach ihrer Zusammensetzung kann man die Elektrolyte in verschiedene Gruppen einteilen:

- a) Alkalisch-cyanidhaltige Elektrolyte
- b) Neutrale cyanidhaltige Elektrolyte
- c) Saure cyanidhaltige Elektrolyte
- d) Elektrolyte auf der Basis von Kaliumtetracyanoaurat(III)
- e) Sulfito-Goldelektrolyte

8.5.3.1 Alkalisch-cyanidhaltige Goldelektrolyte

Die alkalisch-cyanidhaltigen Elektrolyte sind die ältesten überhaupt. Eine typische Zusammensetzung ist folgende:

Gold (als Kaliumdicyanoaurat)	2 - 20 g/L
Freies Cyanid (als Kaliumcyanid)	6 - 30 g/L
Natriumhydrogenphosphat	0 - 20 g/L
Natriumcarbonat	0 - 20 g/L
Temperatur	45 - 70 °C
Stromdichte	bis 0,6 A/dm ²

Ein solcher Elektrolyt liefert matte, duktile Niederschläge, die, wenn man höhere Schichtdicken erreichen will, zwischengekratzt und abschließend poliert werden müssen.

Aus Elektrolyten dieses Typs werden die auch heute noch weit verbreiteten 18karätigen Gold-Kupfer-Cadmium-Niederschläge abgeschieden. Hierzu eignet sich folgende Zusammensetzung:

Gold (als Kaliumdicyanoaurat)	2 - 6 g/L
Kupfer (als Kaliumcyanokuprat(I))	35 - 60 g/L
Cadmium (als Kaliumcyanocadmat)	0,25 - 0,60 g/L
freies Cyanid (als Kaliumcyanid)	5 - 20 g/L
Stromdichte	0,7 - 1,5 A/dm ²
Temperatur	60 °C

Dieser Elektrolyt liefert goldfarbige Niederschläge mit etwa 75 % Gold, 20 % Kupfer und 5 % Cadmium und mit Vickershärten bis zu 350 HV. Bei niedrigen Stromdichten werden die Niederschläge wegen des höheren Cadmiumgehalts gelblich, bei höheren Stromdichten rötlicher. Der Cadmiumgehalt ist ziemlich niedrig und muss durch ständige Zugabe von Kaliumcyanocadmat aufrechterhalten werden. Vorteilhaft ist, dass nur ein einziger Komplexbildner für alle drei Legierungselemente vorhanden ist. Für die Elektrolytführung ist deshalb die Überwachung des freien Cyanids wichtig. Anstelle des früher viel benutzten Glanzzusatzes Türkisch-Rotöl (sulfoniertes Rizinusöl) verwendet man heute als Glanzbildner hochmolekulare Zusätze wie Alkylpolyglykoläther. Auch anorganische Zusätze wie Antimon oder Selen wirken glanzbildend.

Der Elektrolyt kann mit Gold- oder Gold-Kupfer-Legierungsanoden betrieben werden, oder es können unlösliche Anoden aus platinierter Titan verwendet werden. Lösliche Anoden haben den Vorteil, dass das an der Kathode freigesetzte Cyanid bei der anodischen Auflösung des Goldes gebunden wird; andererseits haben sie den Nachteil hoher Kapitalkosten. Zu den Legierungen, die man aus Elektrolyten dieses Typs abscheiden kann, gehören auch die Gold-Silber-Legierungen.

8.5.3.2 Neutrale Goldelektrolyte

Diese enthalten kein freies Cyanid. Damit wird die Mischkristallbildung des Goldes mit den Legierungselementen erleichtert und die Anlaufbeständigkeit der Niederschläge verbessert. Da kein freies Cyanid zugegen ist, wird mit unlöslichen Anoden, zum Beispiel aus platinierter Titan, gearbeitet. Roséfarbige Gold-Kupfer-Schichten erhält man mit folgender Zusammensetzung:

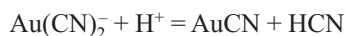
Gold (als Kaliumdicyanoaurat)	7 g/L
Kupfer (als Kaliumcyanokuprat(I))	7 g/L
Natriumhydrogenphosphat	28 g/L
pH-Wert	6,8 - 7,5
Temperatur	65 - 75 °C
Stromdichte	0,5 - 1 A/dm ²

Ein anderer Elektrolyt dieses Typs zum Abscheiden rötlicher, harter und abriebfester Gold-Kupfer-Niederschläge enthält zweiwertiges Kupfer in Form eines EDTE-Komplexes. Durch eine Wärmebehandlung bei 300 bis 400 °C kann man diese Schichten homogenisieren und damit anlaufbeständiger machen.

Größere Bedeutung haben die neutralen Elektrolyte neuerdings gewonnen zum Abscheiden von Feingoldschichten, wie sie in der Elektronik gefordert werden. Durch Zugabe geringer Mengen an Arsen, Blei, Thallium und anderer Elemente gelingt es, glatte (aber nichtglänzende) Niederschläge mit hoher elektrischer Leitfähigkeit herzustellen.

8.5.3.3 Saure Goldelektrolyte

Die Entwicklung der sauren Goldelektrolyte wurde durch die Entdeckung von *Rinker* und *Duva* ermöglicht. Diese Autoren erkannten, dass der Kaliumdicyanoaurat-Komplex bis herab zu pH 3 stabil ist. Bei noch tieferen pH-Werten zersetzt sich der Cyano-Komplex unter Bildung von Goldecyanid und Blausäure:



Als Legierungselemente für saure Goldelektrolyte erwiesen sich die Metalle der Eisen-Gruppe als besonders geeignet (Eisen, Cobalt, Nickel). Handelsübliche Elektrolyte verwenden meist Cobalt oder Nickel als Legierungselement. Eine typische Zusammensetzung ist z.B.:

Gold (als Kaliumdicyanoaurat)	8 g/L
Cobalt oder Nickel	0,25 g/L
Zitronensäure	100 g/L
Kaliumhydroxid	40 g/L
pH-Wert	3,5 - 5
Temperatur	35 °C
Stromdichte	1 A/dm ²
Anoden	platinisiertes Titan oder rostbeständiger Stahl

Ein solcher Elektrolyt ermöglicht das Abscheiden glänzender Goldlegierungsniederschläge mit 98 bis 99 % Gold und Vickershärten zwischen 140 bis 200 HV. Die Niederschläge enthalten relativ große Mengen nichtmetallischer Fremdstoffe, die einerseits die hohe Härte verursachen, andererseits aber die Duktilität verringern.

8.5.3.4 Elektrolyte auf Basis von Kaliumtetracyanoaurat

Goldelektrolyte dieses Typs enthalten (im Gegensatz zu den vorstehend beschriebenen) dreiwertiges Gold als Kaliumtetracyanoaurat(III). Dieser Komplex ist auch noch in stark sauren Lösungen beständig und ermöglicht den Ansatz von Elektrolyten mit pH-Werten zwischen 0 und 1. In solchen lassen sich schwierig zu beschichtende Grundmetalle, wie rostbeständige Stähle, ohne vorherige Aktivierung haftfest vergolden. Auch das Abscheiden von Legierungen, zum Beispiel mit Cobalt, ist möglich. Ein Beispiel für die Zusammensetzung lautet:

Gold (als Kaliumtetracyanoaurat)	8 g/L
Cobalt (als Sulfat)	1 g/L
Phosphorsäure 85%ig	75 g/L
Temperatur	25 °C
Stromdichte	1 - 2 A/dm ²

Wegen des niedrigen Wirkungsgrades werden aus diesem Elektrolyten nur dünne Goldschichten als Haftvermittler abgeschieden, die anschließend in einem anderen Elektrolyten auf Basis von Kaliumcyanoaurat(I) verstärkt werden. Das Gold darf in diesen Elektrolyten nur in Form von Kaliumdicyanoaurat(III) ergänzt werden.

Goldsulfitoelektrolyte

Seit einigen Jahren sind Elektrolyte in Gebrauch, die Gold nicht als Cyanokomplex, sondern als Sulfitokomplex des einwertigen Goldes enthalten. Solche Elektrolyte besitzen eine ausgezeichnete Makrostreufähigkeit und liefern Schichten von hervorragender Duktilität. Nachteilig ist der höhere Preis des Goldkomplexes, bedingt durch seine schwierige Herstellung, und die Neigung des Elektrolyten zur Selbstzersetzung. Auf Sulfitobasis

lassen sich Legierungen herstellen, die sich in cyanidhaltigen Elektrolyten nicht herstellen lassen, wie Gold-Palladium-Kupfer-Legierungen. Eine typische Zusammensetzung ist folgende:

Gold (als Alkaligoldsulfit)	10 g/L
Natriumsulfit	50 - 80 g/L
pH-Wert	8,5 - 10,5
Temperatur	45 - 65 °C
Stromdichte	0,3 - 0,6 A/dm ²

Neben den sulfidischen Reingoldelektrolyten werden Legierungselektrolyte für dekorative, roséfarbene und weiße Goldschichten eingesetzt. Als Legierungselemente kommen Palladium, Kupfer, Cadmium und Nickel in Frage.

Zur Herstellung von roséfarbenen Überzügen, welche die von den Verbrauchern beliebte Farbe des Doublé aufweisen, eignet sich folgende Zusammensetzung:

Gold (als Alkaligoldsulfit)	8 - 12 g/L
Palladium (als Aminchlorid)	1,5 - 2 g/L
Kupfer (als Sulfat)	0,1 g/L
Arsen (als Arsenit)	30 mg/L
pH-Wert	7 - 8
Temperatur	50 - 65 °C
Stromdichte	0,25 - 1,25 A/dm ²

Sulfidische Weißgoldschichten werden auch als Basisvergoldung vor dem Rhodinieren verwendet. Das Schichtsystem Weißgold/Rhodium besitzt eine weitaus bessere Korrosionsbeständigkeit als das System Nickel/Rhodium, bei dem bekanntlich die Gefahr der Lochfraßkorrosion besteht. Als Legierungselemente für Weißgoldschichten eignen sich Cadmium, Zink und Indium. Zum Abscheiden der Schichten werden schwach alkalische Elektrolyte eingesetzt, die beispielsweise 8 bis 12 g/L Gold, 5 bis 6 g/L Zink und 1 g/L Indium enthalten.

8.5.4 Weiterentwicklung beim galvanischen Vergolden

Hochgeschwindigkeitsabscheidung

Das galvanische Vergolden von elektrischen Kontakten wird heute vielfach in Durchlaufanlagen mit hohen Stromdichten vorgenommen. Für die Hochgeschwindigkeitsabscheidung mussten besondere Goldelektrolyte entwickelt werden. Diese haben für das schnelle Abscheiden einen hohen Goldgehalt (8 bis 40 g/L), arbeiten bei erhöhter Temperatur (40 bis 80 °C) und sehr starker Elektrolytbewegung [110]. Dadurch kann die Stromdichte bis auf 200 A/dm² gesteigert werden, wobei Abscheidegeschwindigkeiten bis zu 2 µm/s erzielt werden.

Selektivabscheidung

Es ist sinnvoll, Goldschichten nur dort einzusetzen, wo sie unbedingt erforderlich sind. Mit Hilfe besonderer Vorrichtungen (Abdeckmasken, Spritzzellen, Schwimmergestelle) ist es

Tabelle 23: Einsparmöglichkeiten durch die Anwendung von Goldlegierungen

Legierung	Feingehalt Tausendteile	Dichte (g/cm ³)	Flächengewicht für 1 µm (mg/dm ³)	Einsparung gegenüber Feingold
Feingold	1000	19,3	193	–
AuCo	998	18,0	180	6,7
AuCuCd18 Kt.	750	15,0	113	41,5
AuCuCd 16 Kt.	667	14,0	93,4	51,6
AuCuCd 14 Kt.	585	13,0	76,1	60,6
AuAg 12 Kt.	500	12,7	63,5	67,1

möglich, Goldschichten auf eng begrenzten Flächen abzuscheiden [120]. Auch das Tampogalvanisieren ermöglicht ein selektives Vergolden [121].

Einsparen von Gold

Der hohe Goldpreis hat viele Hersteller veranlasst, die Goldschichtdicken immer mehr zu verringern, doch sind hier naturgemäß Grenzen gesetzt. Es sind große Anstrengungen gemacht worden, den Goldverbrauch zu reduzieren [111 - 115]. Die Möglichkeit, Gold einzusparen ist schon durch die Verwendung von Goldlegierungsüberzügen anstelle von Feingold oder hochkarätigen Legierungen möglich. In *Tabelle 23* sind die Einsparungsmöglichkeiten zusammengestellt, die sich durch die Verwendung niedrigkarätiger Legierungen ergeben.

Allgemein nimmt die Korrosionsbeständigkeit einer galvanischen Goldschicht ab, wenn ihr Feingehalt verringert wird. Der Verringerung sind deshalb Grenzen gesetzt. Dagegen ist es möglich und üblich, zuerst eine niedrigkarätige und anschließend eine höherkarätige Schicht abzuscheiden. Beispielsweise werden Uhrgehäuse zuerst mit 10 bis 15 µm einer 16- bis 18karätigen Goldschicht versehen, auf die eine 3 bis 10 µm starke Hartgoldschicht folgt.

Es gibt noch weitere Möglichkeiten zum Einsparen von Gold:

- Überwachen durch Kontrolle des Elektrolyten, der Abscheidebedingungen und der Schichtdicke
- Wahl der günstigsten Anlagentechnik wie Korbtechnik (*Kap. 10*), Trommelvergoldung oder Durchlaufvergoldung
- Galvanisiergerechtes Gestalten der zu vergoldenden Teile
- Die Metallverteilung ist beeinflussbar beispielsweise durch Elektrolytzusammensetzung, Anodenanordnung, selektives Galvanisieren, partielles Eintauchen, Spritztechnik
- Andere Techniken sind auf eventuelle Vorteile zu überprüfen, zum Beispiel Optimierung der Elektrolytbewegung, Pulse-Plating [116], Ultraschall [117]

Auf die Möglichkeit des Ersatzes von Goldschichten durch andere Überzüge, zum Beispiel Ruthenium, Palladium, Palladium-Nickel, soll hingewiesen werden [118, 119]. Gold ist jedoch kaum vollständig zu ersetzen, da es in vieler Hinsicht einzigartige Eigenschaften hat, die andere Metalle nicht besitzen.

8.6 Kupfer und Kupferlegierungen

Ordnungszahl	29
Relative Atommasse	63, 54
Oxidationszahl	1,2
Dichte	8,96 g/m ³
Normalpotenzial	
mit Oxidationszahl 1 (1wertig)	+0,52 V
mit Oxidationszahl 2 (2wertig)	+0,34 V
Elektrochemisches Äquivalent	
mit Oxidationszahl 1 (1wertig)	2,371 g/Ah
mit Oxidationszahl 2 (2wertig)	1,185 g/Ah
Schmelzpunkt	1083 °C

Das galvanische Abscheiden von Kupfer kann als das älteste galvanotechnische Verfahren bezeichnet werden. *Jacobi* [122] brachte bereits im Jahre 1838 in St. Petersburg Kupfer aus Sulfatlösungen auf elektrolytischem Wege zur Abscheidung. Die Verkupferung aus cyanidhaltigen Elektrolyten setzte erst später ein; das erste Patent auf diesem Gebiet dürfte das US-Pat 34640 aus dem Jahre 1862 sein [123].

Kupfer ist ein duktiles, mechanisch leicht zu bearbeitendes weiches Metall von rötlicher Farbe und ein sehr guter Leiter für den elektrischen Strom und für Wärme. Kupfer ist gegen Wasser, Salzlösungen und Säuren beständig unter der Voraussetzung, dass diese keinen gelösten Sauerstoff enthalten oder oxidierend wirken.

8.6.1 Anwendung von Kupferüberzügen

Niederschläge aus Kupferelektrolyten werden für viele Gebrauchsartikel der Automobil-, der Haushalts- und Büroindustrie abgeschieden. Bauelemente der Elektrotechnik, Kunstgegenstände und auch Nichtleiter werden verkupfert. Bei gedruckten Schaltungen und Kunststoffen hat die Verkupferung ein neues, zukunftsreiches Anwendungsgebiet gefunden.

Galvanisch abgeschiedene Kupferüberzüge finden folgende Anwendungen [124-126]:

- Als Zwischenschicht vor dem Vernickeln und Verchromen von Stahloberflächen zum Zwecke der Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit und zur Abscheidung glatter Niederschläge bei verminderter mechanischer Vorarbeit. Während früher matte Kupferüberzüge mechanisch poliert wurden, um eine glatte Oberfläche zu erzielen, kann dieser Arbeitsgang heute infolge der Einebnungswirkung der sauren Hochglanz-Kupferelektrolyte entfallen
- Zum Vorverkupfern von Zinkdruckguss, dessen Oberflächenporen durch Abscheidung von Kupfer aus Kupferelektrolyten mit hoher Mikrostreueung (Einebnung) geschlossen werden, wodurch die Korrosionsanfälligkeit des galvanischen Schichtsystems vermindert wird [125-128]
- Zum Abscheiden dicker Schichten auf Tief- und Textildruckzylindern zur Erhöhung der Härte und Verschleißfestigkeit beim Drucken sowie als Grundwerkstoff zum Ätzen und Gravieren [129, 130]

9 Galvanisieren von Kunststoffen

9.1 Allgemeines

Das Beschichten von nichtleitenden Stoffen ist in der Galvanotechnik schon lange bekannt. Der Grundwerkstoff wurde hierbei jedoch von den galvanischen Schichten nur umhüllt, ohne einen Verbund aufzuweisen. Erst die ABS-Kunststoffe ergaben in Verbindung mit einem gezielten Anbeizen beim Auftragen einer galvanisch abgeschiedenen Metallschicht einen Verbundwerkstoff mit ausreichenden Haftfestigkeitswerten.

Während bei den frühen Verfahren zum Kunststoffgalvanisieren sowohl die Teile als auch die Gestelle beschichtet wurden, gelang es mit der Durchfahrttechnik, diese Schwachstelle zu vermeiden. Damit stand auch einer weiteren Automatisierung der Kunststoffgalvanisierverfahren nichts mehr im Wege.



Abb. 120: Elektronik im Kraftfahrzeug [28]

Die rasche Verbreitung des Kunststoffgalvanisierens war das Ergebnis von Vorteilen, die der neue Verbundwerkstoff bot. Galvanisierte Kunststoffteile sind leichter als vergleichbare Metallteile. Das in einer Form gespritzte Kunststoffteil wird vom Anguss getrennt und ist fertig zum Galvanisieren. Es können auch sehr kompliziert geformte Teile hergestellt werden, jedoch sollte auch hier der Bereich des galvanisiergerechten Konstruierens beachtet werden.

Ein wesentlicher Grund für das Galvanisieren vieler Kunststoffteile ist die Verbesserung des dekorativen Aussehens, das Kunststoffteil erhält einen metallischen Charakter. Die Kombination leichter Kunststoff plus Metallüberzug bringt aber auch auf dem technischen Sektor Vorteile. Erwähnt seien Abschirmungseffekte gegenüber Störwellen, Schutz vor UV-Strahlung, Verhinderung elektrostatischer Aufladung und Verbesserung der Abriebfestigkeit.

Besondere Bedeutung haben galvanische Schichten zur Abschirmung von Gehäusen elektronischer Bauteile erlangt [452]. Die zahlreichen Anwendungen zum größten Teil abzuschirmender elektronischer Bauteile in Automobilen illustriert *Abbildung 120*.

9.2 Vorteile durch Galvanisieren von Kunststoffen

Galvanisierte Kunststoffteile sind leichter als Metallteile. Diese Gewichtsvorteile sind interessante Aspekte für die Automobilindustrie. Hier werden zahlreiche dekorative Teile, wie Kühlergrill, Zierleisten und Embleme, aus galvanisiertem ABS hergestellt. Aber auch für häufig manuell bewegte Erzeugnisse, wie zum Beispiel transportable Fernsehgeräte oder Kofferradios und Kassettenrecorder, ist das geringere Gewicht galvanisierter Kunststoffteile von Vorteil.

Wegfall der mechanischen Vorbehandlung. Es bedarf keiner der bei Metallteilen üblichen Schleif- oder Poliervorgänge. Dies ist ein wesentlicher, Kosten beeinflussender Faktor. Das Wegfallen des Polierens ist besonders bei der Herstellung geometrisch komplizierter Teile von Vorteil (*Kap. 9.5.1*).

Schnellere Herstellung größerer Stückzahlen. Zahlreiche Kunststoffe, wie zum Beispiel ABS, zeichnen sich durch ein gutes Formfüllungsvermögen aus. Dadurch besteht die Möglichkeit, kleinere Kunststoffteile in Mehrfachformen zu spritzen, so dass 10 und mehr Teile auf einmal hergestellt werden können. Die Kunststoffteile werden zum Teil mit Anguss- und Verteilerkanälen gemeinsam galvanisiert und erst danach von diesen getrennt.

Kunststoffe sind preiswerter. Unabhängig von Art und Größe des Teiles ist das Gewicht Kosten entscheidend. Im Vergleich zweier gleicher Teile aus Kunststoff und Metall wiegt das galvanisierte Kunststoffteil 3,4 kg, wohingegen das Metallteil ein Gewicht von 8,0 kg hat [425]. Der günstigere Preis des Kunststoffes ist allerdings in Abhängigkeit von den Rohmaterialkosten zu sehen, die sich ändern können.

Galvanisierte Kunststoffe sind schöner. Ein wesentlicher Grund für das Galvanisieren vieler Kunststoffteile ist die Verbesserung des dekorativen Aussehens. Verchromte Teile

sprechen den Käufer in stärkerem Maße an als unbehandelte Teile. Die vielfältigen galvanotechnischen Möglichkeiten für ein interessanteres Oberflächenfinish, sei es nun ein Vergolden, Versilbern, oder eine antike Färbung, geben dem Kunststoffteil einen metallischen Charakter und damit in den Augen vieler Abnehmer einen höheren Wert.

Technische Vorteile. Die Kombination von Kunststoff plus Metallüberzug bringt in einigen Fällen auch technische Vorteile; so beispielsweise Abschirmungseffekte bei Funksprechgeräten, Schutz vor UV-Strahlung, Verhinderung der elektrostatischen Aufladung und Verbesserung der Abriebfestigkeit (Abb. 121). Eine interessante Entwicklung nutzt die Reflexion der metallischen Überzüge bei Einfall von kurzwelligigen Strahlen aus [426].

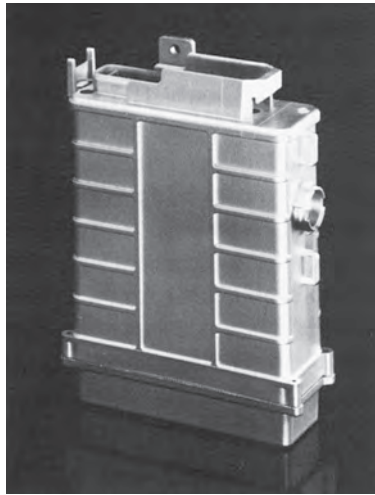


Abb. 121: Gehäuse für einen elektronisch gesteuerten Vergaser aus galvanisiertem, glasfaserverstärktem Polyamid

9.3 Galvanisierfähige Kunststoffe

Das Galvanisieren von Kunststoffen bedeutet derzeit im Wesentlichen die Behandlung von speziellen ABS-Kunststoffen. Im Zusammenhang mit der Entwicklung zur funktionellen Anwendung galvanischer Schichten scheint sich auch eine Verschiebung zu anderen Kunststoffen anzudeuten. Hier sind vor allem technisch höherwertige Materialien von Bedeutung [453].

ABS-Kunststoffe

ABS ist ein Kunststoff auf der Basis von Acrylnitril-Butadien-Styrol. Bei dem besonders für das Galvanisieren geeigneten Material handelt es sich um ein Styrol-Acryl-Nitril-

Gerüstpolymerisat, in welchem das Butadien eingelagert ist. Es wird als Pfropfpolymerisat bezeichnet [427]. Auf der unterschiedlichen Beständigkeit der beiden Phasen gegenüber der Beize resultiert der Haftmechanismus: Beim Beizvorgang wird die Butadienphase weitgehend selektiv aus dem Harzgerüst herausgelöst [428]. Die hierdurch entstehenden Kavernen oder Hohlräume bilden die Basis für die Haftung der galvanischen Schichten (Abb. 122).

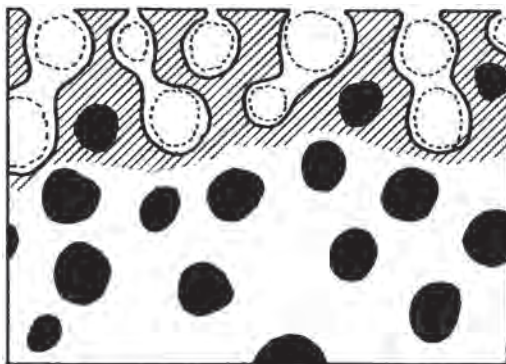


Abb. 122: Vereinfachte Darstellung einer gebeizten ABS-Oberfläche.
Der Beizbereich ist schraffiert

Polypropylen

Wichtige Vorteile des Polypropylens sind die höhere Temperaturbelastbarkeit und die im Vergleich zu ABS 2 bis 3 mal höhere Haftfestigkeit [429].

Die Haftfestigkeit beruht auf folgenden Kriterien: Das Polypropylen besteht aus amorphen und quasi-kristallinen Bereichen. Eine speziell modifizierte Beize greift verstärkt den amorphen Bereich an und führt so zu einer Aufrauung im Sinne einer Kavernenbildung (Abb. 123) [430].

Kopolymere

Durch Umsetzung zweier Kunststoffe kann man eine Kombination der Eigenschaften der Ausgangskunststoffe erzielen. So weist z.B. ein Kopolymer aus Polykarbonaten und ABS eine wesentlich gesteigerte Wärmeformbeständigkeit bis zu fast 130 °C auf [431]. Weitere Vorteile sind verbesserte Steifheit, Schlagzähigkeit und Härte.

Direkt galvanisierfähige Kunststoffe

Diese Kunststoffe enthalten in fein verteilter Form leitfähige Stoffe, die eine Stromübertragung vom Gestell zur Kunststoffoberfläche ermöglichen. Die Basis eines derartigen Kunststoffes kann beispielsweise Polypropylen sein [432], es kann sich jedoch auch um eine andere Kunststoffmischung oder Harzverbindung handeln [433]. Bei diesen Kunststoffen kann die gesamte in Kapitel 9.5.2 beschriebene Vorbehandlung entfallen. Nach dem alkalischen Reinigen und Säuretauchen kann direkt galvanisiert werden, wobei vor-

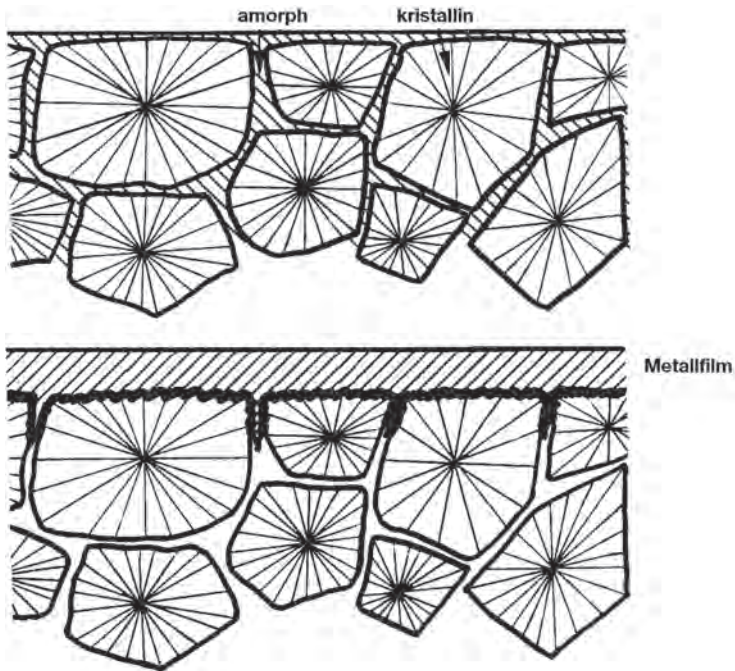


Abb. 123: Haftmechanismus bei galvanisierfähigem Polypropylen

zugsweise Nickel-Eisen abgeschieden wird [434]. In den letzten Jahren hat auch die Anwendung von selbstleitenden, d.h. intrinsisch leitfähiger Polymeren Eingang gefunden [454].

Polyamide

In jüngster Zeit zeichnen sich auch beim Galvanisieren von Polyamiden (Nylon) praktische Erfolge ab. Insbesondere glasfaserverstärkte Nyloarten weisen sehr interessante technische Eigenschaften auf, wie zum Beispiel die hervorragende Kerbschlagzähigkeit. Die spritztechnische Herstellung ist jedoch schwieriger, da Nylon eine höhere Schrumpfung als ABS aufweist und hierdurch die Gefahr von Einfallstellen stärker gegeben ist. Der Beizvorgang unterscheidet sich deutlich von dem bei ABS. So kann es zum Beispiel erforderlich sein, in Lösungen mit Zusatz von Trichloressigsäure anzulösen [435].

Weitere galvanisierbare Kunststoffe

In der Literatur wird über zahlreiche Kunststoffe berichtet, die sich ebenfalls, zum Teil mit komplizierten Vorbehandlungsstufen, galvanisieren lassen. So wird über das Galvanisieren von Epoxidharzen berichtet [436] oder über das Metallisieren von Duroplasten [437]. Der Einsatz, insbesondere der zuletzt genannten Kunststoffgruppen, wird sich vorläufig nur auf ganz spezielle Anwendungsgebiete beschränken. Dies liegt nicht zuletzt an der mangelnden Integrierbarkeit der Vorbehandlungsgänge in vorhandene Automaten.

9.4 Herstellung galvanisierfähiger Kunststoffteile

Die überwiegende Mehrzahl aller Teile wird durch Spritzgießen hergestellt. Die Teile sollen den Grundsätzen des galvanisiergerechten Konstruierens entsprechen, worauf schon bei der Konstruktion des Spritzlings zu achten ist. Zusätzlich zu den für Metallteile geltenden Anforderungen gibt es bei Kunststoffteilen noch einige spezielle Gesichtspunkte, die besonders in Verbindung mit dem Aufstecken der Teile auf die Gestelle zu sehen sind. Das Teil muss so konstruiert sein, dass eine gute und sichere Kontaktgabe gewährleistet ist. Es kann beispielsweise bei dünnwandigen Teilen leicht zu Verformungen in der 60 °C heißen ABS-Beize kommen. Die Verformung wird durch die aufgebracht galvanischen Niederschläge irreversibel fixiert. In einigen Fällen können mitgespritzte Hilfsstege einen Verzug verhindern. Diese Stege werden nach dem Galvanisieren entfernt.

Teile, die aus extrudierten Platten tiefgezogen oder gepresst werden, verhalten sich beim Galvanisieren meist problemlos, da sie weitgehend spannungsfrei sind. Spritzgegossene Teile hingegen können häufig Bereiche mit höherer Spannung aufweisen, die sich nur ungenügend anbeizen lassen. Es ist nachgewiesen, dass 50 % aller fehlerhaften galvanischen Überzüge auf Fehler im Spritzguss zurückzuführen sind [438]. Bei Fehlern am Kunststoffrohling unterscheiden wir optisch klar erkennbare Fehler und solche, die zunächst nicht sichtbar sind und sich erst im Verlaufe des Galvanisierens oder bei der abschließenden Prüfung bemerkbar machen.

Zu den sichtbaren Fehlern gehören:

Einfallstellen: Dieser Fehler kann durch Materialanhäufung verursacht sein und erfordert oft eine Änderung der Spritzgussform. Häufig ist der Fehler jedoch auch durch die Erhöhung des Spritz- beziehungsweise Nachdruckes zu beseitigen.

Fließmarkierungen: Sie haben ihre Ursache häufig in einer falschen Angusslage oder falschen Ausführung des Angusses.

Matte Oberflächenbereiche: Dieser Fehler, der häufig in Angussnähe zu beobachten ist, deutet auf einen zu engen Anguss hin.

Oberflächenrauheiten: Treten Pickel- oder Porenester an der gleichen Stelle des Kunststoffteiles auf, so liegt meist ein Fehler in der Spritzform vor. Unregelmäßig auftretende Pickel können durch Verunreinigung der Kunststoffform durch Abrieb beim Entformen (Gewinde) entstehen.

Wesentlich unangenehmer als die vorgenannte Fehlerart ist die zweite Gruppe der Fehler, die nicht direkt sichtbar sind. Hierzu zählen in allererster Linie *innere Spannungen* sowie *Einschlüsse von Luft beziehungsweise Feuchtigkeit*.

Die Anhäufung innerer Spannungen lässt sich durch den Eisessigtest ermitteln. Hierbei werden die Kunststoffteile in Eisessig getaucht und es findet im Bereich erhöhter Spannungen eine weißliche Verfärbung statt. Dieser Test dient jedoch nur zur Orientierung und ist nicht quantitativ. Eine quantitative Prüfung ist das Galvanisieren mit anschließender Temperaturwechselprüfung. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse führen oft zur Änderung der Spritzbedingung.

17 Unfall- und Gefahrenschutz in galvanischen Betrieben

Die chemische Industrie ist mit weniger als 5 % an den Gesamtunfällen beteiligt und nimmt eine untergeordnete Stellung in der Jahresstatistik der gewerblichen Berufsgenossenschaften ein. Verletzungen innerhalb der chemischen Fertigung zeichnen sich weniger durch mechanische Einflüsse, als vielmehr durch chemische und thermische Auswirkungen auf den menschlichen Organismus aus.

17.1 Erste Hilfe

Aufgabe der Ersten Hilfe ist es, Erkrankungen, Verletzungen und vor allem lebensbedrohliche Störungen der Atmung und Herz/Kreislauf schnell und richtig zu erkennen und die erforderlichen Maßnahmen durchzuführen. Dieses Kapitel gibt dem Betriebspraktiker einige Anregungen und Verhaltensratschläge, die aber keinen praktischen Erste-Hilfe-Lehrgang ersetzen. Erste-Hilfe-Maßnahmen können nur dann schnell und richtig angewendet werden, wenn sie immer wieder geübt wurden.

Die Unfallverhütungsvorschriften (UVV-VBG 1 und VBG 109) über die Erste Hilfe regeln die Anzahl der im Betrieb notwendigen ausgebildeten Ersthelfer. Für Fertigungsbetriebe ist eine Quote von 10 % der Gesamtbelegschaft vorgeschrieben.

Am Schluss dieses Kapitels befindet sich eine Musterempfehlung zur Ausrüstung einer Unfall- und Betriebsapotheke. Die Pflege und Wartung dieser Einrichtungen obliegt dem zuständigen Leiter der Galvanik.

17.1.1 Grundbegriffe zur Ersten Hilfe

Den Ablauf von erforderlichen Maßnahmen zur Ersten Hilfe zeigt *Abbildung 167*.

Innerhalb der Rettungskette ist das erste Glied *Sofortmaßnahmen* von besonderer Bedeutung. Bei Notfallpatienten, bei denen lebenswichtige Körperfunktionen ausgefallen sind oder auszufallen drohen, können diese lebensrettenden Sofortmaßnahmen aus Zeitgründen nur vom unmittelbar anwesenden Arbeitskollegen oder Ersthelfer durchgeführt werden. Die Zeitspanne bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes ist fast immer zu groß (*Abb. 168*).

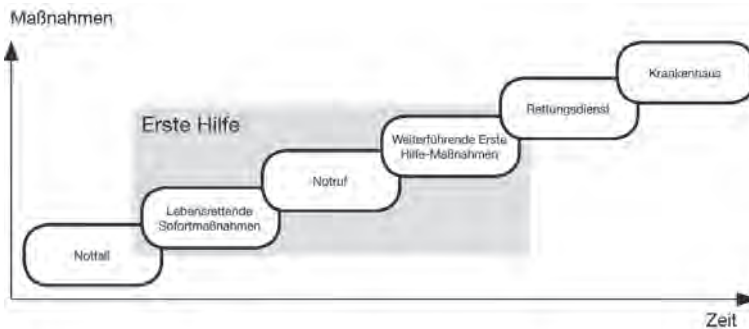


Abb. 167: Rettungskette in der Ersten Hilfe



Abb. 168: Ziel von Sofortmaßnahmen beim Notfall

Unmittelbar nach der Durchführung von Sofortmaßnahmen ist eine Notfallmeldung an die zuständige Rettungsleitstelle oder Polizei abzugeben. Daraufhin wird das Rettungsmittel zur Notfallstelle entsendet. Bei der Notfallmeldung ist auf die fünf *Ws* zu achten:

- Was ist passiert?
- Wo ist es passiert?
- Wie viel Verletzte?
- Welche Verletzungen?
- Wer meldet (Betrieb, Straße, Tor, Pforte, Gebäude)?

17.1.2 Wunden und Wundversorgung

17.1.2.1 Mechanische Ursachen von Wunden

Nach den unterschiedlichen Entstehungsursachen werden unter anderem Schnittwunden, Quetschwunden, Risswunden oder auch Fremdkörperverletzungen unterschieden. Das

Ausmaß der Gewebeerstörung hängt von der Art und Intensität der Einwirkung ab. Als Komplikationen treten Schmerz (kann über neurogene Reaktionen zur Ohnmacht führen), Blutverlust und Infektion auf. Besonders bei stark verschmutzten Wunden ist mit Störungen im Wundheilungsverlauf zu rechnen (z.B. Schmieröle, chemische Stoffe, Rost). Bei der Wundversorgung sind folgende Maßnahmen zu beachten:

- Wunden niemals mit den Händen berühren (Infektionsgefahr)
- Wunden niemals mit Wasser, Salben, Puder behandeln (Infektionsgefahr)
- Wunden bei der Ersten Hilfe immer trocken und mit keimfreiem Verbandsmaterial versorgen
- Großflächige, tiefe oder stark verschmutzte Wunden grundsätzlich von einem Arzt weiterversorgen lassen

Zur Versorgung von kleinen Wunden eignen sich Pflaster, Mullbinden und Verbandspäckchen. Auch die üblichen atmungsaktiven Sprühverbände können bei kleineren Verletzungen verwendet werden. Sie sind wasserunlöslich, was in der Galvanik wichtig ist.

Desinfektionsmittel können bei kleineren Wunden, die nicht ärztlich versorgt werden, Verwendung finden (*Ausstattung der Unfallapotheke*). Befinden sich noch Fremdkörper in der Wunde, wie Metallspäne oder Glassplitter, soll der Ersthelfer diese nicht entfernen, sondern nur mit sauberem Verbandsmaterial umlagern (Ringpolsterung). Anschließend wird die Ringpolsterung mit einer Binde ohne zusätzlichen Druck fixiert.

17.1.2.2 Chemische Ursachen von Wunden

Die Einwirkung von Säuren und Laugen führt zu Zerstörungen im Gewebereich. Neben lokal begrenzten Hautverletzungen oder Blasenbildungen können auch allgemeine Störungen, wie Kreislaufbeschwerden, Nierenversagen oder Leberstörungen auftreten. Laugen- und Säureverätzungen unterscheiden sich grundsätzlich voneinander. Säureverätzungen führen im Organismus zur Eiweißfällung und zur Ausbildung oberflächlicher Ätzwunden. Das typische Erkennungszeichen von Säureverätzungen ist die Ausbildung eines Ättschorfes (Salpetersäure gelber Schorf, Schwefelsäure schwarzer Schorf und Salzsäure weißer Schorf).

Laugeverätzungen führen zu tiefgehenden Gewebeerstörungen (Auflösungsnekrosen). Das Gewebe fühlt sich bei Berührung *seifig* an. Bei Laugenverätzungen können tiefer liegende Organe und Gefäße angegriffen werden.

Die Aufnahme von chemischen Stoffen kann über die Schleimhäute, die Haut, den Magen-Darm-Trakt, die Augen und die Atemwege erfolgen.

Oberstes Gebot bei allen Verätzungen ist das Bestreben, die schädigenden Chemikalien durch Verdünnung mit Leitungswasser möglichst vollständig vom Körper zu entfernen. Hierdurch kann das Ausmaß der Gewebeschädigung wesentlich verringert werden.

In der Nähe von Behältern mit Chemikalien, Prozesswannen, Abfüllarbeitsplätzen, Chemikalienlagerplätzen und im Betriebslabor sollen deshalb Augenspülflaschen und Körperduschen bereitstehen. Die in diesem Bereich tätigen Mitarbeiter sind auf Gefahren und die vorhandenen Sicherheitsvorschriften beim Umgang mit gefährlichen Arbeitsstoffen und die Sofortmaßnahmen bei Verätzungen hinzuweisen. Bei allen Arbeiten mit ätzenden Stoffen sind Gummihandschuhe, Gummischürze und Sicherheitsbrille, soweit notwendig,

Tabelle 93: Erste Hilfe-Maßnahmen bei Verätzungen in der Galvanik

<i>Aufnahme</i>	<i>Gefahren</i>	<i>Symptome</i>	<i>Maßnahmen</i>
Haut	Zerstörung der Haut, Infektion, Hautnekrosen Schockgefahr	Rötung der Haut, Blasenbildung, Ätzschorf (Säure). Unfallhergang	Kleider entfernen, Abspülen mit Wasser, Wundabdeckung mit keimfreiem Material
Oral	Zerstörung des Verdauungstraktes, Perforation des Magens und der Speiseröhre, Schockgefahr	Starke Schmerzen, Übelkeit, Erbrechen Kreislaufschwäche Unfallhergang, Ätzschorf (Säure)	Kein Erbrechen provozieren, Wasser in kleinen Schlucken trinken lassen, evtl. Seitenlage bei Bewusstlosigkeit
Augen	Zerstörung der Hornhaut, Erblindung	Starke Schmerzen, Rötung des Auges, Sehbeschwerden	Sofort mit Wasser spülen (Augenspülflasche), keimfreie Bedeckung des verätzten Auges
Atmung	Zerstörung der Atemwege und der Lungenbläschen, Atemstörungen, Spätfolge: toxisches Lungenödem Schockgefahr	Übelkeit, Erbrechen, Atemnot bis zum Atemstillstand, Blauverfärbung, Unruhe, Bewusstlosigkeit	Verletzten an die frische Luft bringen, beengende Kleidungsstücke öffnen, Verletzten beruhigen, evtl. Seitenlage, evtl. Atemspende, bei Atemnot Oberkörperhochlage

auch Schutzhelm zu tragen. Erkennungsmerkmale von Verätzungen und Erste Hilfe-Maßnahmen sind in *Tabelle 93* zusammengefasst.

17.1.2.3 Thermische Ursachen von Verletzungen

Durch thermische Einwirkungen verursachte Wunden unterscheiden sich in der Pathophysiologie nicht wesentlich von Verätzungen. Erkennungszeichen sind: Schmerz, Rötung, Blasenbildung und Verkohlung bzw. Verkochung des Gewebes. Es werden folgende Hauptursachen für thermische Schädigungen unterschieden:

- Offene Flamme, Feuer
- Heißes Wasser, heiße Flüssigkeiten
- Flüssige Metalle
- Dampf
- Elektrischer Strom

Verbrennungen von mehr als 15 % der Körperoberfläche führen zu lebensbedrohlichen Zuständen. Die Berechnung der verbrannten Körperoberfläche erfolgt mit Hilfe der Neuner-Regel (*Abb. 169*).

Als Erste Hilfe kommt heute bei Verbrennungen die Kaltwasserbehandlung zur Anwendung, durch die sofort eine Schmerzlinderung und eine Reduzierung der Gewebezerrstörung erzielt wird. Insgesamt sollten folgende Maßnahmen beachtet werden:

- Brennende Kleidung löschen (Wasser, nasse Decken, Pulverlöscher)
- Kleidung soweit möglich entfernen

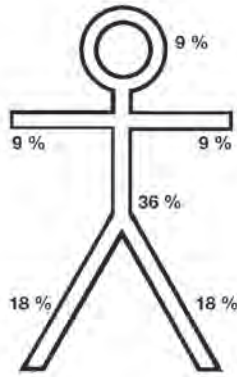


Abb. 169: *Neuner-Regel* zur Beurteilung der Anteile der Körperoberfläche.
Die Handinnenfläche entspricht etwa 1 % Körperfläche

- Verbrannte Körperstellen mindestens 15 Minuten lang mit kaltem Wasser übergießen
- Sterile Abdeckung mit Brandwundenverbandstuch
- Bei bewusstseinsklaren Verletzten: Zufuhr von verdünnter Salzlösung (1 Teelöffel Salz auf 1 Liter Wasser)
- Wärmeerhaltung durch Überlegen einer Decke oder einer metallbedampften Isolierfolie
- Rettungsdienst verständigen

Das Ausmaß einer Verbrennung hängt im Wesentlichen von der schnellen und sachgerechten Erstversorgung am Notfallort ab.

17.1.3 Vergiftungen

In der Galvanotechnik wird eine Reihe gefährlicher Arbeitsstoffe verwendet, die bereits in kleinen Mengen zu schweren Vergiftungen führen können (*Tab. 94*). Besonders gefährlich ist die Aufnahme von Cyaniden oder cyanidhaltigen Lösungen durch den Mund. Unter Einwirkung der Salzsäure im Magen entsteht Cyanwasserstoff, der im Körper resorbiert wird. Das Cyanidion bindet sich an das dreiwertige Eisen in den zellulären Atmungssystemen und blockiert die innere Atmungskette. Der an das Hämoglobin gebundene Sauerstoff kann nicht mehr aktiviert und an die Zellen abgegeben werden. Die Zellatmung des Menschen kommt zum Stillstand und ein allgemeiner Sauerstoffmangel im gesamten Körper ist die Folge. Der klinische Tod tritt wenige Minuten nach der Giftaufnahme ein. Noch akuter und dramatischer verläuft die Vergiftung, wenn die Giftaufnahme durch Inhalation über die Atemwege erfolgt.

Grundsätzlich können Giftstoffe durch die Schleimhäute und die Haut, durch den Magen-Darm-Trakt und über die Atemwege in den Körper gelangen.

Der Verzehr von Lebensmitteln, Getränken, Genussmitteln usw. ist innerhalb einer galvanischen Werkstätte nicht zulässig. Das Ausmaß einer Vergiftung hängt wesentlich von der

Tabelle 94: Tödliche Dosen von gefährlichen Arbeitsstoffen in der Galvanotechnik^{*)}

Blausäure, Cyanide	0,7 mg/kg Körpergewicht
Chlorgas	0,2 mg/L Luft
Phosgen	0,05 mg/L Luft
Natronlauge 15%ig	15,0 mL bei oraler Aufnahme
Ammoniak konz.	ca. 4,0 mL bei oraler Aufnahme
Essigsäure konz.	ca. 50,0 mL bei oraler Aufnahme
Oxalsäure	ca. 5,0 g bei oraler Aufnahme
Salpetersäure 65%ig	ca. 10,0 mL bei oraler Aufnahme
Salzsäure 33%ig	ca. 20,0 mL bei oraler Aufnahme
Schwefelsäure 96%ig	ca. 5,0 mL bei oraler Aufnahme

^{*)} Die Mengenangaben beziehen sich auf einen Erwachsenen mit durchschnittlichem Körpergewicht Typ

sachgerechten Ersten Hilfe durch Arbeitskollegen ab. Entgegen einer breiten Meinung in der Öffentlichkeit sind nur wenige direkte Gegenmittel gegen toxische Substanzen verfügbar. In den meisten Fällen muss sich deshalb die Therapie auf die Entfernung der Substanzen und auf eine nachfolgende symptomatische Behandlung beschränken.

In der Ersten Hilfe müssen neben der Beseitigung der aufgenommenen Giftstoffe vor allem die Versorgung von lebensbedrohlichen Zuständen (Atemstillstand und Bewusstlosigkeit) im Vordergrund stehen. Sind verletzte Mitarbeiter aus einem Gefahrenbereich zu retten, müssen geeignete Selbstschutzmaßnahmen, wie das Tragen von Gummischürzen, Gummihandschuhen und Schutzbrillen, ergriffen werden. Bei der Rettung aus verseuchten Atmosphären sind Frischluftgeräte oder Pressluftatemgeräte einzusetzen. Atemfiltergeräte dürfen ohne Frischluftzufuhr nur bis zu einer maximalen Schadstoffkonzentration von 1 % verwendet werden (*Tab. 95* und *Abb. 170*).

Die Schadstoffkonzentrationen können mit handelsüblichen Prüfgeräten einfach und schnell ermittelt werden. Diese Prüfgeräte sind auch zur Überwachung der MAK-Werte am Arbeitsplatz geeignet.

Die in Frage kommenden Vergiftungsfälle und die erforderlichen Erste-Hilfe-Maßnahmen sind in *Tabelle 96* zusammengefasst.

Tabelle 95: Filtertypen für Atemfilter^{*)}

Typ	Kennfarbe	Anwendungsbereich
A	Braun	Organische Dämpfe
B	Grau	Anorganische Dämpfe
C	Gelb	Schwefeldioxid, Chlorwasserstoff
D	Grün	Ammoniak

^{*)} Quelle: Dräger-Werk Lübeck