Klaus-Peter Müller

**Praktische
Oberflächentechnik**

Aus dem Programm

Fertigungstechnik

Umformtechnik
von K. Grüning

Spanlose Fertigung: Stanzen
von W. Hellwig und E. Semlinger

Handbuch Klebstoffe 1994/1995
vom Industrieverband Klebstoffe (Hrsg.)

Fertigungsmeßtechnik
von E. Lemke

Fertigungstechnik mit Kleb- und Dichtstoffe
von W. Endlich

Praktische Oberflächentechnik
von K.-P. Müller

Zerspantechnik
von E. Paucksch

Schweißtechnik
von H.-J. Fahrenwaldt

Schweißtechnisches Konstruieren und Fertigen
von V. Schuler (Hrsg.)

Vieweg

Während andere Robots noch
lernen, arbeiten unsere bereits

Gebrüder NETZSCH Maschinen-
und Anlagenbau GmbH
Produktbereich Robotertechnik
Gebrüder-Netzsch-Straße 19
D-95100 Selb
Telefon 09287/75-691
Telefax 09287/75699

NETZSCH
ROBOTTECHNIK

OBERFLÄCHLICH

Wie man's auch dreht und wendet - auf die richtige Oberflächen-technik kommt es an.

Es gibt viele Möglichkeiten der Oberflächenbearbeitung. Wollen Sie jedoch einen besonders hohen technischen Leistungsstandard, Wirtschaftlichkeit und optimale Umweltverträglichkeit, dann entscheiden Sie sich für die souveräne Spitzentechnologie von **KIESS**.

**ANLAGEN ZUM STRAHLEN,
FÖRDERN, ENTSTAUBEN UND
BESCHICHTEN.**

KIESS

KIESS GmbH & Co. KG, Wiehagen 25, 45472 Mülheim/Ruhr, Tel.: (0208) 49 58-0, Fax: (0208) 49 82 62, Telex: 8 56 413
NL Leipzig: Ingenieur Heinz Kieß GmbH, Rosenowstr. 24, 04357 Leipzig, Tel.: (0341) 6014279/95, Fax: (0341) 6070382

Perfekte Pulverbeschichtung mit System.

Die komplette Technologie vom Spezialisten für Oberflächentechnik.

Wenn's um perfekte Oberflächen geht, muß einfach alles stimmen: Applikations-, Steuer- und Bewegungstechnik, aber auch Pulverlogistik und -Rückgewinnung. Wagner-ESB bietet Ihnen die komplette Technologie aus einer Hand – zugeschnitten auf Ihre individuellen Bedürfnisse. Unser jahrzehntelanges Know-how als

Systemlieferant in der Oberflächentechnik garantiert, daß nur kompromißlos gute Qualität in unseren Pulverbeschichtungssystemen entsteht.

Interessiert?
Unsere Spezialisten beraten Sie gerne.

**Technik fürs Lackieren
und Beschichten**

**J. Wagner GmbH
Werksanschrift
Wagner-ESB**

Dr.-Zimmermann-Straße 18
D-88709 Meersburg
Telefon 0 75 32/8 03-0
Telefax 0 75 32/8 03-190

**J. Wagner GmbH
Lohnergasse 1**

A-1210 Wien
Telefon 02 22-27 07 78 10
Telefax 02 22-2 78 84 30

**Wagner
International AG**

Industriestraße 22
CH-9450 Altstätten
Telefon 0 71/76 22 44
Telefax 0 71/76 23 23

wurster

Oberflächentechnik

abwasserfrei, abfall- und lösemittelarm!

Wurster hat einen weiteren Schritt zu einer sauberen Umwelt verwirklicht: mit einer **neuen Konzeption** für abwasserfreie, lösemittel- und abfallarme Vorbehandlungs-, Pulverbeschichtungs- und Lackieranlagen. **Perfekte Oberflächenqualität** und ein rationeller Betrieb sind bei dieser fortschrittlichen Technik selbstverständlich. Wurster ist Ihr **kompetenter Partner** für den gesamten Bereich der Oberflächentechnik. Wir bieten Ihnen **kreative Problemlösungen** von der Planung bis zur Montage. Besonders anspruchsvolle Aufgaben wie Kunststofflackier- und Kataphoreseanlagen sind unsere Stärke. Wurster-Anlagen sind **Investitionen für die Zukunft**.

Wurster Oberflächentechnik GmbH
71691 Freiberg, Harteneckstr. 23
Telefon 0 71 41/70 07-0
Telefax 0 71 41/7 50 06
Telex 7 264 579 wulu d

**Saubere Werkstücke.
Saubere Umwelt.
Saubere Leistung.**

PERO-Reinigungsanlagen sind technisch hochentwickelt und dennoch einfach zu bedienen. Sie sind servicefreundlich und langlebig. Sie arbeiten auf wässriger Basis oder mit Lösemittel. Sie schonen die Umwelt... und sie kosten nicht die Welt.

Mit dieser Investition, ob Handgerät oder automatische Großanlage, holen Sie für sich und die Umwelt einiges sauber heraus. Wir sagen Ihnen wie. Sprechen Sie mit uns.

pero

REINIGUNGSANLAGEN

Pero KG
Hunnenstraße 18
86343 Königsbrunn
Telefon (0 82 31) 60 11-0
Telefax (0 82 31) 60 11-10

Klaus-Peter Müller

Praktische Oberflächentechnik

Vorbehandeln · Beschichten · Prüfen

Mit 436 Bildern und 69 Tabellen

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Müller, Klaus-Peter:

Praktische Oberflächentechnik: mit 69 Tabellen /

Klaus-Peter Müller. – Braunschweig; Wiesbaden:

Vieweg, 1995

ISBN 978-3-528-06562-1

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1995

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1995

Der Verlag Vieweg ist ein Unternehmen der Bertelsmann Fachinformation GmbH.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 978-3-528-06562-1

ISBN 978-3-322-88815-0 (eBook)

DOI 10.1007/ 978-3-322-88815-0

Vorwort des Autors

Die letzte Bearbeitungsstufe in einem Fertigungsprozeß befaßt sich mit der Bearbeitung der Oberfläche des Werkstücks. Man faßt alle dabei stattfindenden Vorgänge als Oberflächentechnik zusammen. Die oberflächentechnische Produktbearbeitung gibt dem fertigen Werkstück erst seine Funktionalität und damit seinen Verkaufswert. Die Kenntnisse über dieses Fachgebiet haben steigende Bedeutung gewonnen, seit die Menschen gelernt haben, sich von einer Wegwerfgesellschaft zu einer Gesellschaft zu wandeln, in der die Langlebigkeit der Güter und die Fertigung unter Beachtung ökologischer Aspekte dominieren.

Die Literatur zu einzelnen Themen der Oberflächentechnik ist in den letzten Jahren lawinenartig angewachsen, so daß es selbst dem Fachmann, aber erst recht dem Auszubildenden, nicht mehr möglich ist, einen Überblick zu behalten. Das vorliegende Buch versucht, diesen Mangel zu beheben. Es entstand aus einer Vorlesungsreihe, die der Autor dieses Buches, Professor für Oberflächentechnik an der Märkischen Fachhochschule in Iserlohn, 1991 und 1992 an der TH Karl Schorlemmer in Merseburg (jetzt Zweig der Universität Halle) im Rahmen der Hilfe nach der Wiedervereinigung Deutschlands hielt. Das Buch ist kein Nachschlagewerk für einzelne Spezialgebiete.

Das Buch ist ein Lehrbuch, bei dem es darauf ankam, dem Fachmann einen Überblick über das Fachgebiet zu verschaffen und ihn anzuregen, seinen eigenen Betrieb fachlich zu überprüfen. Insbesondere soll dieses Buch dem Fachmann aus der Industrie auch die Möglichkeit geben, sich Kenntnisse über alle jene Produktionsverfahren zu verschaffen, die nicht im eigenen Betrieb durchgeführt werden. Nur wenige Betriebe sind heute noch in der Lage, alle oberflächentechnische Bearbeitungen im eigenen Haus ausführen zu können. Vielfach werden Einzelschritte der Bearbeitung an Lohnarbeiter vergeben, über deren Tätigkeit der Auftraggeber kaum noch Bescheid weiß. Diese Lücke zu schließen ist ein weiteres Anliegen dieses Buches.

Das Buch richtet sich aber auch an Studierende an Universitäten und Fachhochschulen der Fachrichtung Maschinenbau oder Werkstoffkunde, deren Tätigkeit im Berufsleben vielfach bei Betreuung der oberflächentechnischen Endbearbeitung oder die Konstruktion von Werkstücken, die auch einer oberflächentechnischen Bearbeitung unterzogen werden sollen, oder den Bau oberflächentechnischer Behandlungsanlagen einschließt. Eine hochwertige Qualität der Oberfläche ist Kennzeichen für hochwertige Waren. Nur mit solchen Waren ist ein industrialisiertes Land wie das unsrige auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig. Das gilt heute aber besonders auch in der Zukunft. Deshalb soll dem Studenten die Möglichkeit eröffnet werden, sich in das Fachgebiet Oberflächentechnik einzuarbeiten und im Rahmen seiner Ausbildung die Produktionsverfahren der Oberflächentechnik und die Besonderheiten einer oberflächentechnischen Bearbeitung auch z.B. aus konstruktiver Sicht kennenzulernen.

Das Buch ist in seinem Umfang begrenzt. Manche Techniken werden ausführlicher als andere behandelt. Der Umfang, in dem ein Einzelkapitel abgefaßt wurde, richtete sich auch danach, in welchem Umfang die Technik in der Praxis eingesetzt wird. So wird zum Beispiel dem Lackieren ein weit größerer Teil des Buches gewidmet als den PVD-Verfahren, weil die weitaus größere Zahl der Arbeitsplätze, an denen die Leser tätig sind, im Lackierbereich liegen.

Es werden natürlich Hochtechnologiebereiche ebenfalls mit Ernsthaftigkeit behandelt. Der Autor wendet sich mit diesem Buch insbesondere an Leser aus den metallverarbeitenden Berufen. Deshalb ist dieses Buch weitgehend frei von Rezepturen. Umweltschutz, die Vermeidung von Umweltbelastungen, aber auch Belege für die Aussage, daß ökologisch verantwortungsbewußt Produzieren oft auch ökologisch günstiger Produzieren bedeutet, sind ein weiteres Anliegen des Buches.

Das Buch enthält außer vielen Erfahrungen, die der Autor in seinem Berufsleben erwarb, eine bislang unveröffentlichte, neuartige Berechnung des Spülwasserbedarfs von Spülen aller Art, und die ebenfalls bislang unveröffentlichten Ergebnisse von Versuchen zur Vereinfachung des Aufwandes bei der Zinkphosphatierung.

Mit aufgenommen wurde eine Zusammenstellung bekannter Fehler, soweit sie zugänglich waren. Oberflächenfehler werden an vielen Stellen der Literatur beschrieben, jedoch sind derartige Angaben dadurch sehr weit gestreut, so daß ein Überblick ebenfalls heute sehr erschwert ist. Der Fachmann kennt die bei ihm auftretenden Fehler, nicht jedoch die Fehler, die in seinem Zulieferbetrieb produziert werden. Das Buch versucht, auch hier Abhilfe zu schaffen und der Produktion eine Hilfe zu geben.

Abgerundet wird das Buch mit einem Kapitel, in dem DIN-Vorschriften zusammengestellt wurden. Zu einzelnen auch nicht genormten Vorschriften werden Anmerkungen gegeben.

Iserlohn, im September 1994

Klaus Peter Müller

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	IV
1 Oberflächentechnik - Anwendung und Gliederung	1
2 Mechanische Verfahren der Oberflächentechnik	3
2.1 Schleifen und Polieren metallischer Werkstücke	3
2.2 Besonderheiten beim Schleifen und Polieren von Kunststoffen	4
2.3 Schleif- und Poliermittel	5
2.4 Schleif- und Poliermaschinen und -verfahren.....	12
3 Oberflächenbehandlung durch Strahlen	17
3.1 Der Arbeitsvorgang.....	17
3.2 Strahlanlagen.....	18
4 Öle und Fette in der Industrie.....	25
4.1 Eigenschaftsgrößen von Schmierstoffen	25
4.2 Chemische Komponenten des Schmierstoffaufbaus und ihre Bewertung aus Sicht des Oberflächentechnikers.....	26
4.3 Anforderungen und Auftragsmengen der Schmierstoffe und Korrosionsschutzöle in der Blechbearbeitung.....	30
4.4 Festschmierstoffe.	32
5 Reinigen und Entfetten.....	35
5.1 Theorie der Reinigung	35
5.2 Stabilität der Waschflotte als kolloidchemischer Vorgang.	36
5.3 Produkte zum industriellen Reinigen.....	37
5.4 Reinigungsverfahren.	42
5.4.1 Reinigen mit und ohne Lösemitteln	42
5.4.2 Reinigen mit wässrigen Lösungen und Emulsionen	44
5.4.3 Niederdruck-Plasmareinigen.....	64
5.5 In-Process-Recycling von Reinigungsbädern	65
6 Phosphatieren	79
6.1 Systematik der Phosphatierungen.....	79
6.2 Theorie der Phosphatschichtbildung.....	81
6.3 Die Eisenphosphatierung	82
6.3.1 Eigenschaften von Eisenphosphatschichten	82
6.3.2 Eisenphosphatierv Verfahren.....	84
6.4 Zinkphosphatierungen	86
6.4.1 Grundlagen der Zinkphosphatierung.....	86
6.4.2 Zinkphosphatierv Verfahren.....	91
6.5 Manganphosphatierungen	99

7 Chromatierverfahren und Brünierungen	101
7.1 Gelbchromatierung, Transparentchromatierung	101
7.2 Blauchromatierung	102
7.3 Grün- oder Olivchromatierung	103
7.4 Schwarzchromatierungen	104
7.5 Verwendung und Korrosionsschutzwert von Chromatierungen	104
7.6 Brünieren	105
8 Beizen und Entrosten	107
8.1 Beizen von unlegiertem und legiertem Stahl	107
8.2 Beizen von Buntmetallen	110
8.3 Beizen von Zink- und Aluminium-Werkstoffen	111
8.4 Beizen von Kunststoffen	114
8.5 Inhibitoren und Beizbeschleuniger	114
8.6 Beisanlagen	116
8.7 Beizsäureregenerierung	116
9 Spültechnik nach Vorbehandlungen	121
9.1 Spülen nach einem alkalischen Reinigungsprozeß	121
9.2 Spülen nach Phosphatierprozessen	122
9.3 Spülen nach sauren Beizprozessen	123
9.4 Spülwassertemperaturen	124
9.5 Spülwasserrecycling	124
9.6 Berechnung der Spülwassermengen	126
10 Angewandte Vorbehandlungsverfahren	137
10.1 Oberflächenvorbehandlung von Draht	137
10.2 Vorbehandlungsverfahren in der Stahlblechemaillierung	141
10.2.1 Vorbehandlung für konventionelle Emaillierverfahren im Spritz-, Tauch-, elektrostatischem Spritz- oder Pulverauftrag	142
10.2.2 Vorbehandlungsverfahren bei einer Direktweiß- Emaillierung (DWE)	146
10.2.3 Vorbehandlung vor einer elektrophoretischen Tauchemaillierung (ETE)	147
10.3 Vorbehandlung vor dem Lackieren von Stahlblech	148
11 Auftragsschichten	151
11.1 Anwendungen	151
11.2 Verknüpfung der Herstellung von Auftragsschichten mit der Vorbehandlung	152
12 Organische Beschichtungen - Farben und Lacke	155
12.1 Bestandteile organischer Beschichtungen	155
12.2 Herstellung von Farben und Lacken	161
12.3 Verarbeitung lösungsmittelhaltiger Farben und Lacke	170
12.3.1 Auftragsverfahren und -hilfsmittel	171
12.3.1.1 Auftragsgeräte	171

12.3.1.2 Auftragskabinen	177
12.3.1.3 Lackversorgung	183
12.3.2 Abdunsten und Trocknen	184
12.3.3 Abluftentsorgung	189
12.3.4 Die Entlackung	196
12.4. Wasserhaltige Lacke	202
12.4.1 Wasserlacke	202
12.4.2 Elektro-Tauchlacke (ETL)	208
12.4.2.1 Prinzip der anaphoretischen und der kataphoretischen Tauchlackierung	208
12.4.2.2 Technische Elektrotauchlackierungen	210
12.5 Pulverlackierung	215
12.5.1 Pulverlacke	215
12.5.2 Pulverlackauftrag und -kabinen	217
12.5.3 Wirbelsintern und Flammgespritzten von Pulverlacken	231
12.5.4 Weitere organische Beschichtungen und ihre Verarbeitung	233
12.5.4.1 Autophoreselacke	233
12.5.4.2 High-Solid-Lacke	234
12.5.4.3 Überkritische Sprühlacke (SCF-Lacke)	236
12.5.4.4 Verpackungslacke	237
12.5.4.5 Folienüberzüge von Bandmaterial	238
12.5.5 Das Bedrucken von Metallen	239
12.5.5.1 Siebdruck	240
12.5.5.2 Tampondruck	242
13 Das Emaillieren	245
13.1 Emails und Emaillierungen	245
13.2 Die Herstellung von Emails	249
13.3 Emaillierfähiger Stahl	255
13.4 Emaillierverfahren	259
13.4.1 Naßemaillierung	260
13.4.2 Naßauftrag von Emailschlickern	262
13.4.3 Die Trocknung	268
13.5 Pulveremail und -auftrag auf Stahlblech	269
13.6 Der Emailleinbrand	272
13.7 Emaillieren von Bandstahl	279
13.8 Gußeisenemaillierung - Puderemaillierung	280
13.9 Dekoremail, Effektemail	281
14 Chemisches Metallisieren	283
14.1 Austauschmetallisieren	287
14.2 Chemisch reduktives Metallisieren	288
14.2.1 Reduktion mit Formaldehyd	288
14.2.2 Reduktion mit Borwasserstoff-Derivaten	289
14.2.3 Reduktion mit Hypophosphit $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	292
14.2.4 Weitere Reduktionsmittel	293
14.3 Chemisch vernickeln	294

14.3.1 Anforderungen an den Grundwerkstoff	294
14.3.2 Badparameter und ihr Einfluß auf die Schichteigenschaften	295
14.4 Eigenschaften der Ni-P-Schichten	300
14.5 Anlagen zum chemischen Vernickeln	304
14.6 Chemisch Metallisieren von Kunststoffen	306
14.7 Dispersionsschichten	308
15 Galvanisches Metallisieren	311
15.1 Theoretische Grundlagen	311
15.2 Galvanotechnische Anlagen	319
15.3 Sonderverfahren	327
15.3.1 Hochgeschwindigkeits-Strömungszellen	327
15.3.2 Jet-Plating	328
15.3.3 Tampongalvanik	329
15.3.4 Dispersionsschichten	331
15.3.5 Galvanoformung	332
15.3.6 Pulse-Plating	333
15.3.7 Elektropolieren und Strippen	333
15.4 Spezielle galvanische Verfahren	333
15.4.1 Kupferschichten	334
15.4.2 Nickelschichten	336
15.4.3 Zinkschichten	337
15.4.4 Zinnschichten	340
15.4.5 Chromschichten	341
15.4.6 Legierungsschichten	346
15.5 Stoff- und Energiebilanz galvanotechnischer Anlagen	347
16 Schmelztauchschichten	353
16.1 Feualuminieren	353
16.2 Feuerverbleien	354
16.3 Feuerverzinnen	354
16.4 Feuerverzinken	355
16.4.1 Stückverzinkung	355
16.4.2 Verzinken von Bandstahl	360
17 Diffusionsschichten	369
17.1 Härten	369
17.2 Aufkohlen	375
17.3 Carbonitrieren	378
17.4 Nitrieren	379
17.5 Borieren	382
17.6 Silizieren	384
17.7 Alitieren	385
17.8 Inchromieren	386
17.9 Sherardisieren	387

18 Metallische Dickschichten	389
18.1 Dickschichtauftrag durch Schweißen	389
18.2 Plattieren	393
18.3 Metallspritzen	394
19 Dünnschichttechnologie	401
19.1 CVD-Verfahren	402
19.2 PVD-Verfahren	408
19.3 Der Kunststoff und das Vakuumbedampfen von Kunststoffen	421
19.4 TiC-, TiN-, TiAlN- und andere Schichten	424
20 Chemische und anodische Oxidschichtbildung bei Aluminium	429
20.1 Chemische Schichtbildung	429
20.2 Anodisieren von Aluminium	429
20.3 Einfärben von Oxidschichten auf Aluminium	436
21 Behandlungsgerechtes Konstruieren	439
22 Korrosion metallischer Oberflächen	445
22.1 Korrosionserscheinungen	445
22.2 Die elektrochemische Ursache der Korrosion	446
22.3 Anlaufen metallischer Schichten	447
23 Reibung und Verschleiß	449
24 Grundzüge der Abwasserbehandlung im oberflächentechnischen Betrieb	457
24.1 Chemische Reaktionen bei einer Abwasserbehandlung	459
24.2 Abwasseraufbereitung im mittelständischen Betrieb	465
25 Beschichtungsfehler und ihre Ursachen	469
25.1 Schleif- und Polierfehler bei metallischen Werkstücken	469
25.2 Vorbehandlungsfehler	471
25.3 Lackierfehler	473
25.4 Emaillierfehler	478
25.5 Fehler beim chemisch Metallisieren	484
25.6 Fehler beim galvanischen Beschichten	485
25.6.1 Chromschichten	485
25.6.2 Kupferschichten	486
25.6.3 Nickelschichten	487
25.6.4 Silberschichten	488
25.6.5 Fehler bei Zinkschichten	488
25.6.6 Zinnschichten	490
26 Anmerkungen zu Prüfmethoden. Die wichtigsten DIN-Vorschriften	493
26.1 Rauigkeitsmeßmethoden	493
26.2 Prüfungen bei Korrosionsschutzölen, Schmiermitteln und Emulsionen	495

26.3	Prüfungen an Entfettungsbädern	496
26.4	Prüfungen im Phosphatierbereich	497
26.5	Prüfungen beim Beizen	498
26.6	Prüfungen beim Lackieren	499
26.7	Prüfungen bei emaillierten Schichten	507
26.8	Prüfungen an metallischen Schichten	507
26.9	Prüfungen an Hartstoffschichten	508
26.10	Wichtige DIN-Vorschriften und Prüfmethoden	511
26.10.1	Rauhigkeitsmessungen, Messungen des Oberflächenprofils	511
26.10.2	Schichtdickenmessungen	513
26.10.3	Korrosionsschutzprüfungen	514
26.10.4	Prüfungen an organischen Schichten	517
26.10.5	Prüfungen an Emailschichten	519
26.10.6	Prüfung anorganischer, nichtmetallischer Schichten außer Emails	520
26.10.7	Prüfung metallischer Schichten	521
26.10.8	Verschleißprüfungen und anderweitige Prüfmethoden	521
27	Literatur	523
28	Bildquellennachweis	535
29	Stichwortverzeichnis	539