

Dr. Uta Schumacher • Thomas Feist • Dennis Lehmann

# LERNBUCH LACKIER TECHNIK



BESSER  
LACKIEREN

Dr. Uta Schumacher

Thomas Feist

Dennis Lehmann

# **Das Lernbuch der Lackiertechnik**

**Grundlagen, Aufgaben und Prüfungsfragen  
für Verfahrensmechaniker/innen  
der Beschichtungstechnik**

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen  
Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet  
über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Dr. Uta Schumacher, Thomas Feist, Dennis Lehmann  
Das Lernbuch der Lackiertechnik  
8. Auflage  
unveränderter Nachdruck  
Hannover: Vincentz Network, 2024  
(BESSER LACKIEREN)

© 2018/2024 Vincentz Network GmbH & Co. KG, Hannover  
Vincentz Network, P.O. Box 6247, 30062 Hannover, Germany  
Das Werk einschließlich seiner Einzelbeiträge aus Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt.  
Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urhebergesetzes ist ohne Zustimmung des  
Verlages unzulässig und strafbar.  
Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die  
Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Das Verlagsverzeichnis schickt Ihnen gern:  
Vincentz Network, Plathnerstr. 4c, 30175 Hannover, Germany  
Tel. +49 511 9910-033, Fax +49 511 9910-029  
E-Mail: [buecher@vincentz.net](mailto:buecher@vincentz.net)  
[www.besserlackieren.de](http://www.besserlackieren.de)

Produktion: PrintMediaNetwork, Oldenburg  
Printed in Europe

ISBN 978-3-86630-713-1

Umschlagbilder:  
© Maksim Vivtsaruk – [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com)  
© Casther – [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com)

# Vorwort

Das Lernbuch der Lackiertechnik hat sich seit der Erstauflage zu einem Standardwerk an Berufsschulen und Berufskollegs für die Ausbildung von Verfahrensmechanikern für Beschichtungstechnik entwickelt. Darüber hinaus wird das Buch häufig für den Unterricht in verwandten Berufen sowie bei der Weiterbildung von Farb- und Lacktechnikern eingesetzt. Zusammen mit dem Arbeits- und Aufgabenheft der Lackiertechnik bildet das Lernbuch die wichtigste Grundlage für eine anspruchsvolle Aus- und Weiterbildung in der Beschichtungstechnik.

Zwar gibt es eine ganze Reihe guter Fachbücher zum Thema Beschichtungstechnik, diese setzen jedoch alle fachwissenschaftliches Hintergrundwissen voraus. Es mangelte lange Zeit bisher an einer Informationsquelle, die nicht nur fachlich dargestellt, sondern auch für junge Auszubildende und Neueinsteiger ohne Fachkenntnisse verständlich ist. Die große Nachfrage nach dem Lernbuch der Lackiertechnik hat gezeigt, dass es uns gelungen ist, diese Lücke zu schließen.

Die industrielle Beschichtungstechnik hat sich in den letzten Jahren zu einer anlagengebundenen, hochtechnologisierten Verfahrenstechnik gewandelt. Um dieser Wandlung gerecht zu werden, sollen die Auszubildenden zu beruflich handlungskompetenten Facharbeitern ausgebildet werden. Damit sie die an sie gestellten Anforderungen und Aufgaben meistern können, müssen Zusammenhänge erkannt werden. Deshalb wird in diesem Buch auf die einzelnen Lackrohstoffe, die verschiedensten Beschichtungssubstrate, die Filmbildung und den Arbeitsschutz eingegangen. Das zum Verständnis der Zusammenhänge notwendige Grundwissen über die Chemie wird dabei nicht vergessen. Der dazu nötige Überblick wird verständlich dargelegt.

Des Weiteren müssen die Auszubildenden die Zusammensetzung der Beschichtungsstoffe, die Applikationsverfahren und die einzustellenden Arbeitsparameter kennen und beherrschen sowie sich mit dem Thema Qualitätsmanagement auseinandersetzen.

Das Buch soll im Unterricht, zur Prüfungsvorbereitung, als Nachschlagewerk und als ständiger Begleiter während und nach der Ausbildung das notwendige Wissen nicht nur für die Abschlussprüfung vermitteln, sondern auf berufliche Fragen Antworten geben und das Verständnis für berufliche Zusammenhänge fördern.

Wir freuen uns über jede Art von Anmerkungen, sei es in Form von Ergänzungen oder Änderungsvorschlägen, um sie in einem Internetforum diskutieren zu können.

Das Schreiben eines Buches erfordert vielfältige Unterstützung. Es ist nicht leicht, alle Helfer in gebührender Form zu erwähnen. Herausgenommen werden sollen hier als individuelle Helfer bei der Ergänzung von Textteilen Matthias Speckesser sowie die Organisationen DFO und EGL. Ihnen sei an dieser Stelle herzlichst gedankt.

Borchen, Tecklenburg, Seelow, April 2013

Dr. Uta Schumacher  
Thomas Feist  
Dipl.-Ing. Dennis Lehmann

# Danksagungen

## **Uta Schumacher**

Ein besonderer Dank gilt meinem Mann Matthias.

Ein weiterer großer Dank für die Aktualisierung von Normen und Normenbezeichnungen des Kapitels 7 dieser Neuauflage geht an Herrn Bernd Reinmüller.

## **Thomas Feist**

Ein besonderer Dank geht an meine Frau Claudia, meine Tochter Ellen und den Rest meiner Familie. Ein großer Dank gebührt auch Dr. Klaus Roths für seine Unterstützung und Aufmunterung. Weiterhin danke ich meinen Auszubildenden und Farb- und Lacktechnikern.

## **Dennis Lehmann**

Ich danke zuallererst meiner Frau Ilka, meinem Sohn Tim, meiner Tochter Agnes und dem Rest meiner Familie sowie Thomas Krüger für ihre Geduld in meinen Schaffenszeiten. Weiterhin danke ich meinen Auszubildenden und allen anderen Helfern, die mich unterstützt haben.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>27</b>
1.1	Aufgaben des Verfahrensmechanikers für Beschichtungstechnik	27
1.2	Aufgaben und Probleme der Lackiertechnik	28
1.3	Wirtschaftliche Bedeutung	31
1.4	Geschichtliche Entwicklung	34
	Prüfungsaufgaben	36
	Literaturhinweise	37
<b>2</b>	<b>Der Beschichtungsstoff</b>	<b>38</b>
2.1	Bestandteile und Unterscheidungsmerkmale von Beschichtungsstoffen	39
2.2	Filmbildner	41
2.2.1	Aufgaben der Filmbildner	41
2.2.2	Eigenschaften der Filmbildner	42
2.2.3	Einteilung nach Löslichkeit bzw. Verdünnbarkeit	43
2.2.3.1	Wasserverdünnbare Systeme	43
2.2.3.2	Lösemittelverdünnbare Systeme	43
2.2.3.3	Lösemittelfreie Systeme	45
	Prüfungsaufgaben	46
2.3	Löse- und Verdünnungsmittel	46
2.3.1	Aufgaben der Löse- und Verdünnungsmittel	46
2.3.2	Einteilung und Verwendung der Löse- und Verdünnungsmittel	47
2.3.3	Eigenschaften der Löse- und Verdünnungsmittel	48
2.3.3.1	Chemische Eigenschaften von Lösemitteln	48
2.3.3.2	Physikalische Eigenschaften der Lösemittel	48
2.3.4	Gesundheitsgefährdung durch Lösemittel	50
2.3.5	Kennzeichnung	50
	Prüfungsaufgaben	51
2.4	Farbmittel und Füllstoffe	51
2.4.1	Pigmente	51
2.4.1.1	Unterteilung der Pigmente	51

2.4.1.2	Aufgaben der Pigmente	52
2.4.1.3	Pigmentanteil im Beschichtungsstoff	52
2.4.1.4	Anforderungen an die Pigmente	53
2.4.2	Füllstoffe	55
2.4.2.1	Aufgaben der Füllstoffe	55
2.4.2.2	Eigenschaften von Füllstoffen	55
2.4.3	Farbstoffe	56
	Prüfungsaufgaben	56
2.5	Additive	56
2.5.1	Aufgaben der Additive	56
	Prüfungsaufgaben	58
2.6	Vom Rohstoff zum Beschichtungsstoff	59
2.6.1	Allgemeines	59
2.6.2	Prinzipien der Gestaltung von Lackrezepturen	59
2.6.2.1	Lösemittelhaltige Beschichtungsstoffe	59
2.6.2.2	Umweltgerechte Beschichtungsstoffe	62
2.6.3	Herstellen von Beschichtungsstoffen	63
2.6.3.1	Flüssiglacke	63
2.6.3.2	Herstellung von Pulverlacken	75
	Prüfungsaufgaben	77
	Literaturhinweise	78
<b>3</b>	<b>Lackieruntergründe</b>	<b>79</b>
	Prüfungsaufgabe	79
3.1	Allgemeine Eigenschaften von Werkstoffen	79
	Prüfungsaufgaben	82
3.2	Metalle und ihre Eigenschaften	83
3.2.1	Eisenmetalle	84
3.2.2	Nichteisenmetalle	84
3.2.3	Legierungen	85
3.2.4	Vorbehandlung von Metalloberflächen	85
3.2.4.1	Physikalische Vorbehandlungsverfahren	85
3.2.4.2	Physiko-chemische Vorbehandlungsverfahren	87
3.2.4.3	Elektrochemische Vorbehandlungsverfahren	89
	Prüfungsaufgaben	90

3.3	Kunststoffe	90
3.3.1	Kunststoff und seine Eigenschaften	90
3.3.2	Vorbehandlung von Kunststoffoberflächen	91
	Prüfungsaufgaben	93
3.4	Holz und Holzwerkstoffe	94
3.4.1	Holz (Vollholz) und seine Eigenschaften	94
3.4.2	Holzprodukte und Holzwerkstoffe	94
3.4.2.1	Sperrholz oder Lagenholz	95
3.4.2.2	Verbundplatten	96
3.4.2.3	Holzspanwerkstoffe	96
3.4.2.4	Holzfaserverwerkstoffe	97
3.4.3	Vorbehandlungsmaßnahmen von Holz und Holzwerkstoffoberflächen	98
3.4.3.1	Holztrocknung	98
3.4.3.2	Schleifen, Schleifmittel und -geräte	99
3.4.3.3	Wässern	99
3.4.3.4	Entharzen	99
3.4.3.5	Entfernen von Klebstoff- oder Leimrückständen	100
3.4.3.6	Spachteln	100
3.4.3.7	Poren füllen	100
3.4.3.8	Bleichen	100
3.4.3.9	Beizen	101
	Prüfungsaufgaben	101
3.5	Glas	102
3.6	Keramik	103
3.7	Fertigungsverfahren und beschichtungsgerechte Konstruktion	104
3.7.1	Fertigungsverfahren	104
	Prüfungsaufgaben	105
3.7.2	Beschichtungsgerechte Konstruktion	105
	Prüfungsaufgaben	106
	Literaturhinweise	106

<b>4</b>	<b>Grundlagen der Lackapplikation</b>	<b>107</b>
4.1	Verfahrenstechnische Grundlagen bei der Verarbeitung von Nasslacken	108
4.1.1	Herkömmliche Spritzverfahren	109
4.1.1.1	Druckluftspritzen (pneumatisches Spritzen)	109
4.1.1.2	Hydraulisches oder Airless-Spritzen	114
4.1.1.3	Airmix	115
4.1.1.4	Heißspritzverfahren	115
4.1.2	Elektrostatische und elektrostatisch unterstützte Verfahren	115
4.1.2.1	Lackzerstäubung durch elektrische Feldkräfte	116
4.1.2.2	Elektrostatisch unterstützte Verfahren	117
4.1.3	Tauchverfahren	118
4.1.3.1	Allgemeines	118
4.1.3.2	Konventionelles Tauchen	118
4.1.3.3	Elektrotauchlackierung	120
	Prüfungsaufgaben	126
4.1.4	Sonstige Verfahren im Überblick	128
4.1.4.1	Gießen	128
4.1.4.2	Walzen	128
4.1.4.3	Rakeln	129
4.1.4.4	Streichen, Rollen	129
4.1.4.5	Fluten	130
4.1.4.6	Trommelverfahren	130
4.1.4.7	Vakuumlackieren	130
4.1.4.8	Zentrifugieren	130
4.1.4.9	Rotationsbeschichtung (Spin-Coating)	130
4.1.5	Anorganische und metallische Beschichtungen	131
4.1.5.1	Emaillieren	131
4.1.5.2	Plasmaspritzen	132
4.1.5.3	Verzinkung	133
4.1.5.4	Eloxieren/Anodisieren	134
4.2	Pulverbeschichtung	135
4.2.1	Grundlagen der elektrostatischen Pulverbeschichtung	135
4.2.2	Elektrostatische Verarbeitung	136
4.2.2.1	Corona-Aufladung	136

4.2.2.2	Triboaufladung	137
4.2.2.3	Vergleich Corona- und Triboaufladung	138
4.2.3	Wirbelsinterverfahren	139
	Prüfungsaufgaben	139
	Projektaufgabe zum Thema „Pulverlack“	140
	Möglichkeiten der Präsentation:	141
	Projektaufgabe zum Thema „industrielle Applikationsverfahren“	141
	Literaturhinweise	141
<b>5</b>	<b>Filmbildung</b>	<b>142</b>
	Prüfungsaufgabe	142
5.1	Allgemeines	143
5.2	Benetzen und Verlaufen	143
5.3	Verfestigung	146
5.3.1	Physikalische Trocknung	146
5.3.2	Chemische Härtung	147
5.3.2.1	Polyaddition	148
5.3.2.2	Polykondensation	148
5.3.2.3	Polymerisation	149
5.4	Physikalische Trocknung von Dispersionen und gelösten Lacken im Vergleich	150
5.4.1	Dispersionen	150
5.4.2	Gelöste Lacke	151
5.5	Sekundäreffekte bei der Filmbildung	152
5.6	Physikalische Grundlagen von Trocknung und Härtung	153
5.6.1	Allgemeines	153
5.6.2	Geschwindigkeit der physikalischen Trocknung	154
5.6.3	Geschwindigkeit der chemischen Härtung	155
5.6.3.1	Konvektionstrocknung	155
5.6.3.2	Wärmeübertragung durch Infrarotstrahlen	156
5.6.3.3	Chemische Härtung durch UV-Strahlung	159
	Prüfungsaufgaben	160
	Literaturhinweise	161

<b>6</b>	<b>Technische Aspekte der Vorbehandlung und Lackverarbeitung</b>	<b>162</b>
6.1	Vorbehandlungsanlagen	163
6.1.1	Reinigung von Metalloberflächen mit wässrigen Lösungen	164
6.1.2	Anlagen für die Vorbehandlung	165
6.1.2.1	Spritz-Vorbehandlung	165
6.1.2.2	Tauch-Vorbehandlung	166
6.1.3	Anlagen für chemische Vorbehandlungen (Konversionsbeschichten)	169
6.1.3.1	Phosphatieren	169
6.1.3.3	Alternative Vorbehandlungsverfahren	172
	Prüfungsaufgaben	173
	Projekt für den Unterricht	173
6.2	Lackieranlagen für die Spritzapplikation	175
6.2.1	Luftströme in der Lackierkabine	176
6.2.2	Farbnebelabscheidung	176
6.2.2.1	Trockenabscheidung	177
6.2.2.2	Nassabscheidung	177
6.2.2.3	Alternative Systeme der Lacknebelabscheidung	178
6.2.3	Lackschlammaustrag	178
6.2.4	Abluftreinigungsverfahren	179
6.2.5	Zusätzliche Aggregate für Lackieranlagen	179
6.2.5.1	Kompressoren	179
6.2.5.2	Öl- und Wasserabscheider	181
6.2.5.3	Materialversorgung durch Ringleitungssysteme	181
6.2.6	Wartung von Lackierkabinen	182
	Prüfungsaufgaben	182
	Projekt für den Unterricht	183
6.3	Elektrotauchlackieren	184
6.3.1	Elektrotauchlackieranlagen	184
6.3.1.1	Tauchbecken	184
6.3.1.2	Stromquelle und Gleichrichter	184
6.3.1.3	Umwälzsystem	185
6.3.1.4	Wärmetauscher	185
6.3.1.5	Filteranlagen	186
6.3.1.6	Nachdosiersystem (Kompensation)	186

6.3.1.7	Anolytkreislauf	187
6.3.1.8	Ultrafiltration	188
6.3.1.9	Einbrennofen	189
6.3.2	Badkontrolle und -steuerung	189
6.3.3	Störungen erkennen und beheben	190
6.3.3.1	Wartungspläne und Optimierung der Prozesssteuerung	190
6.3.3.2	Koagulatbildung im Becken	191
6.3.3.3	Störungen der Beschichtung	191
	Prüfungsaufgaben	191
6.4	Pulverbeschichtung	192
6.4.1	Prozess des Pulverbeschichtens	192
6.4.2	Pulverbeschichtungskabine	192
6.4.3	Düsen und Pulversprühorgane	194
6.4.4	Einbrennen des Pulverlacks	194
6.4.5	Pulverlack auswählen	195
6.4.6	Pulverrückgewinnung	196
	Prüfungsaufgaben	197
6.5	Lackrocknung/-härtung: Anlagen und Prozesse	199
6.5.1	Allgemeines	199
6.5.2.1	Konvektionstrocknung	199
6.5.2.2	Strahlentrocknung (IR-Trocknung)	202
6.5.3	„Kaltes“ Härten mit UV- und Elektronenstrahlen	203
6.5.3.1	UV-Härtung	203
6.5.3.2	Elektronenstrahlhärtung	203
6.5.4	Aufgaben bei der Betreuung einer Trocknungs-/ Härtungsanlage	204
6.5.4.1	Ofensteuerung	204
6.5.4.2	Sicherheitsauflagen für Trockenanlagen	204
6.6	Fehler und deren Ursachen bei Lackrocknung/-härtung	205
	Prüfungsaufgaben	205
	Literaturhinweise	206
<b>7</b>	<b>Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement</b>	<b>208</b>
	Prüfungsaufgabe	209
7.1	Allgemeines	210
7.2	Eigenschaften und Prüfungen von Beschichtungsstoffen	212

7.2.1	Allgemeines	212
7.2.2	Viskosität	212
7.2.2.1	Theorie	212
7.2.2.2	Messmethoden zur Viskosität	217
7.2.3	Oberflächenspannung	220
7.2.3.1	Theorie	220
7.2.3.2	Messmethoden	222
7.2.4	Dichte	224
7.2.4.1	Theorie	224
7.2.4.2	Messmethoden für die Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten	224
7.2.4.3	Messmethoden zur Bestimmung der Dichte von Feststoffen	226
7.2.5	Nichtflüchtige Anteile (nfA)	226
7.2.6	Ergiebigkeit	227
7.2.7	Sonstige Kennzahlen	228
7.2.7.1	Säurezahl und Hydroxylzahl	228
7.2.7.2	Verdunstungszahl nach DIN 53170	228
7.2.7.3	Brechungsindex nach DIN 51423-2	229
7.2.7.4	Flammpunkt	229
7.3	Messtechnisches Verfolgen der Filmbildung	230
7.3.1	Verlaufen und Ablaufen	230
7.3.2	Sonstige Kennzahlen zur Charakterisierung der Filmbildung	231
7.4	Eigenschaften und Prüfungen von Beschichtungen	232
7.4.1	Allgemeines	232
7.4.2	Schichtdickenmessungen	233
7.4.2.1	Nassfilmdicke	233
7.4.2.2	Trockenfilmdicke	233
7.4.2.3	Berührungslose Verfahren für Nass- und Trockenfilm	236
7.4.3	Mechanisch-technologische Eigenschaften	236
7.4.3.1	Allgemeines	236
7.4.3.2	Haftfestigkeit	236
7.4.3.3	Elastizität	240
7.4.3.4	Härte	246
7.4.4	Visuelle Eigenschaften	249
7.4.4.1	Allgemeines	249

7.4.4.2	Glanz und Verlauf	249
7.4.4.3	Farbe und Farbmeterik (DIN EN ISO 11664-1 bis -6, DIN EN ISO 18314-1 bis -4)	251
7.4.4.4	Deckvermögen (DIN EN ISO 6504-3)	255
7.4.5	Alterung	256
7.4.5.1	Allgemeines	256
7.4.5.2	Alterungsprüfungen	257
	Prüfungsaufgaben	263
7.5	Fehler und Ursachen	265
7.6	Qualitätsmanagement	274
	Prüfungsaufgaben	276
	Literaturhinweise	276
<b>8</b>	<b>Umweltschutz, Arbeitsschutz und Gesundheitsschutz</b>	<b>278</b>
8.1	Maßnahmen zum Umweltschutz	278
	Prüfungsaufgabe	279
8.2	Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	279
8.2.1	Sicherheitskennzeichnungen	281
8.2.1.1	Verbotszeichen	282
8.2.1.2	Warnzeichen	282
8.3.1.3	Gebotszeichen	283
8.2.1.4	Rettungszeichen	284
8.2.2	Gefahrstoffe	284
8.3	Umweltgerechtes Lackieren	288
8.3.1	Allgemeines	288
8.3.2	High-Solids	289
8.3.3	Strahlenhärtende Lacke	289
8.3.4	Wasserlacke	290
8.3.4.1	Wasserlösliche Lacke	290
8.3.4.2	Wässrige Dispersionen	292
8.3.5	Pulverlacke	293
8.3.6	Umweltfreundliche Applikationsverfahren	293
8.3.7	Übersichtstabelle über die umweltfreundlichen Lackierverfahren	294
	Prüfungsaufgaben	295
	Literaturhinweise	295

<b>9</b>	<b>Grundlagen der Chemie</b>	<b>296</b>
9.1	Allgemeines	296
9.2	Basisinformationen über Stoffe	296
9.2.1	Atombindung	296
9.2.2	Ionenbindung	298
9.2.3	Kohlenwasserstoffverbindungen	299
9.2.3.1	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	299
9.2.3.2	Aromatische Kohlenwasserstoffe	301
9.2.3.3	Alkohole	301
9.2.3.4	Carbonsäuren	301
9.2.3.5	Ester	302
9.2.3.6	Amine	302
9.2.4	Polarität	303
9.2.5	pH-Wert	304
9.2.6	Säuren	305
9.2.7	Laugen	306
9.2.8	Neutralisation	307
9.3	Grundlagen der Polymerchemie	307
9.3.1	Allgemeines	307
9.3.2	Polymerisation	307
9.3.3	Polykondensation	311
9.3.4	Polyaddition	312
	Prüfungsaufgaben	313
	Literaturhinweise	313
<b>10</b>	<b>Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung mit Lösungen</b>	<b>314</b>
10.1	Prüfungsfragen	314
10.2	Lösungsvorschläge zur Prüfungsvorbereitung	316
10.3	Formelzeichen und Einheiten	319
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>320</b>
	<b>Erklärung wichtiger lacktechnischer Begriffe</b>	<b>328</b>

# 1 Einführung

## 1.1 Aufgaben des Verfahrensmechanikers für Beschichtungstechnik

Mirko hat vor vier Wochen seine Ausbildung zum Verfahrensmechaniker für Beschichtungstechnik begonnen. Er hätte nie gedacht, wie abwechslungsreich dieser Beruf sein kann. Er hat bereits den gesamten Prozessablauf von der Anlieferung der Stahlbleche bis hin zum fertigen Werkstück kennengelernt. Bisher hatte er gedacht, dass ein Verfahrensmechaniker für Beschichtungstechnik immer nur mit der Spritzpistole lackieren muss. Heute weiß er, dass er für eine ganze Reihe von Anlagen und Abläufe Verantwortung tragen muss.

Mario beendet im nächsten Jahr die Schule. Er weiß noch nicht, welche Ausbildung er im nächsten Jahr beginnen soll. Es soll etwas „Technisches“ und „Interessantes“ sein. Nach dem Fußballtraining unterhalten sich die beiden über Mirkos neuen Job.

**Mario:** Du Mirko, du hast doch gerade eine Ausbildungsstelle bekommen. Was machst du überhaupt?



**Mirko:** Ja, ich arbeite bei der Firma Kaiser Coatings hier im Ort. Ich werde Verfahrensmechaniker für Beschichtungstechnik.

**Mario:** Coatings? Verfahrensmechaniker ...? Was ist das denn?

**Mirko:** Coating ist das englische Wort für Beschichtung und ein Verfahrensmechaniker für Beschichtungstechnik sorgt dafür, dass Gegenstände eine Beschichtung erhalten.

**Mario:** Also bist du ein Maler?

**Mirko:** Nein, wir streichen keine Wohnungen oder tapezieren sie. Wir lackieren Maschengüter wie z. B. Haushaltsgeräte, Werkzeuge oder andere Produkte. In meiner Berufsschulklasse arbeiten einige Kollegen auch in der Fahrzeug- und Lackherstellung.

**Mario:** Also bist du Fahrzeuglackierer.


**Mirko:** Auch nicht. Die reparieren den Lack bei Autos. Wir beschichten u. a. neue Produkte. Da kann alles dabei sein. Außerdem gibt es bei uns viele Beschichtungsverfahren, von denen ich bis vor einem halben Jahr auch noch nichts gehört habe: kathodische Tauchlackierung, Coil Coatings, Pulverlackierungen und noch viele mehr.

**Mario:** Oha! Und ich dachte, das ist so ein Job, wo man nur blöd herumsteht und dreckig wird.

**Mirko:** Nix da! Was glaubst du, was bei uns für den Arbeits- und Umweltschutz getan wird? Wir tragen Schutzmasken, wir reinigen die Abluft, usw.

**Mario:** Sag mal Mirko, glaubst du, ich kann mich mal bei deiner Firma vorstellen?

**Mirko:** Klar! Melde dich mal bei Herrn Kammersmann oder bei Herrn Steilmann. Hier ist ihre Telefonnummer.

 **Der Verfahrenstechniker für Beschichtungstechnik hat einen abwechslungsreichen Beruf, in dem er industrielle Beschichtungsverfahren anwendet, überwacht und optimiert. Er beherrscht den gesamten Prozessablauf von der Anlieferung des Substrates bis hin zum fertigen Werkstück.**

## 1.2 Aufgaben und Probleme der Lackiertechnik

Später trifft Mirko in der Stadt seinen Kumpel Sven, einen Autoverkäufer. In einem Café unterhalten sich die beiden über ihre Berufe.



**Sven:** Ist es für dich nicht frustrierend, immer nur die Farbe auf die Produkte aufzubringen – so nach dem Motto: „schön aussehen soll es auch noch ...“?

**Mirko:** Nein, überhaupt nicht. Ohne ein schönes Äußeres könntest du deine Autos gar nicht an den Mann bringen. Außerdem gibt so eine Beschichtung nicht nur die Farbe.

**Sven:** So? Was denn noch? Komme mir jetzt nicht mit Glanz und so etwas.

**Mirko:** Doch, auch. Aber eine Beschichtung hat noch ganz andere Aufgaben. Denk mal an die Garantie gegen Durchrostung!

**Sven:** Ach so, damit hast du auch zu tun?

**Mirko:** Klar! Ich muss eine Beschichtung so planen, dass ein Gegenstand lange hält. Der Lack darf nicht abplatzen, er muss vor Umwelteinflüssen schützen und ...

**Sven:** War es das?

**Mirko:** Nein, es geht noch weiter. So eine Beschichtung kann z.B. eine Oberfläche haben, die sich leicht reinigen lässt, die Bakterien abweist ...

**Sven:** Jetzt übertreibst du aber, oder?

**Mirko:** Absolut nicht. Eine Beschichtung kann Menschen auch informieren, denk mal an Straßenschilder und so!

**Sven:** Entschuldige, das hatte ich unterschätzt. Hinter einer Beschichtung steckt mehr Technologie, als ich gedacht hätte. Allein der Korrosionsschutz ist doch eine Wissenschaft für sich. Das merke ich immer dann, wenn ein Kunde fragt, ob das neue Auto verzinkt ist.

**i**

**Mirko:** Siehst du!

### Aufgaben der Beschichtungen

Wenn wir über die Aufgaben von Beschichtungen nachdenken, fällt den meisten von uns an erster Stelle die **Schutzfunktion** ein. Es folgt dann die dekorative **Aufgabe**. Weniger bewusst sind uns zum Beispiel die **informativen** und **hygienetechnischen Aufgaben**. Darüber hinaus lassen sich durch Beschichtungen auch spezielle **physikalische Effekte** erzielen. Die Schutzfunktion einer Lackierung unterstützt den Werterhalt und verbessert zusätzlich die Gebrauchseigenschaften des beschichteten Wirtschaftsguts. Hervorzuheben sind dabei metallische Werkstoffe, die durch eine Lackierung einen zusätzlichen Korrosionsschutz erhalten.

Neben dem **Schutz** vor alltäglich auftretenden Substanzen wie Baumharz und Vogelkot muss eine moderne Industrielackierung auch vor den Einflüssen von Säuren, Laugen, Salzen, Lösemitteln oder anderen aggressiven Materialien schützen. Auch mechanische Belastungen muss die Beschichtung überstehen. Ein Schutz gegenüber biologischen Einwirkungen ist von besonderer Bedeutung. So können sich beispielsweise Meeresorganismen auf Schiffsoberflächen ansiedeln und dadurch zusätzliche Energiekosten durch erhöhte Reibung erzeugen.

**Abbildung 1.1:**  
Lackierroboter applizieren vollautomatisch den Lack

Quelle: BMW Group



Die auffälligste Eigenschaft einer Lackierung ist die vielfältige **Farbwirkung**. Solche dekorativen Aufgaben werden unter anderem durch Variationen des Glanzes oder der Struktur einer Oberfläche erfüllt. Erwähnenswert sind auch spezielle Effekte wie beispielsweise Hammerschlag- oder Metalleffekt. Darüber hinaus müssen jedoch weitere Aufgaben der Lackierung genannt werden. Eine unter Berücksichtigung von physiologischen und psychologischen Erkenntnissen ausgeführte Farbgebung trägt in verschiedener Hinsicht zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen bei. Nicht zuletzt ist das Sichtbarmachen oder Tarnen von Gegenständen durch Lackieren auch eine spezielle Aufgabe. Mit Farbmarkierungen können Flächen oder Räume deutlich begrenzt oder unterteilt werden (Verkehrsleitlinien, Flugpisten).

Selbst **hygienische Anforderungen** werden von einigen chemikalienbeständigen Lackierungen erfüllt, wenn z. B. in Krankenhäusern kontaminierte Oberflächen gereinigt werden müssen.


Das Aufbringen eines Oberflächenschutzes kann aber auch spezielle **physikalische Effekte** hervorrufen. In der Elektrotechnik werden Lacke zur Isolierung auf der einen und zur Erhöhung der Leitfähigkeit bestimmter Lackierobjekte auf der anderen Seite eingesetzt. In anderen Fällen trägt die Lackierung zur Reibungsminderung bei. Aber auch der gegenteilige Effekt der Reibungserhöhung ist durch spezielle Gleitschutzlacke zu erzielen.

Ferner kann eine organische Beschichtung zur Verhinderung von Lärmbelästigung beitragen (Antidröhn-Beläge für Maschinen, Unterbodenschutz für PKW usw.).

Nicht vergessen werden soll die zu erzielende Trennwirkung durch Abziehlacke oder auch die Minderung der Entflammbarkeit durch geeignete Beschichtungen.

**Mögliche Aufgaben einer Beschichtung:**

- Schutzfunktion
- informative Aufgaben
- dekorative Aufgaben
- Erzielung spezieller physikalischer Effekte
- sanitäre Aufgaben

 **Eine Beschichtung dient nicht nur der Farbgebung, sondern erfüllt auch eine Reihe von wichtigen Aufgaben und Funktionen, durch die das Werkstück einen höheren Gebrauchswert erhält.**

Das Hauptproblem der Oberflächentechnik ist, dass sie in den meisten Fällen eine **Add-on-Technologie** (to add-on = etwas hinzufügen) darstellt, über deren wirtschaftliche Bedeutung Unklarheit herrscht. Es gibt nur wenige anspruchsvollere Bereiche (Optik, Elektronik, Medizintechnik), in der die technischen Funktionalitäten der Oberflächen als äußerst wichtig angesehen werden. In einigen größeren Branchen, etwa in der Automobilindustrie oder der Bauindustrie, werden zwar Schutz- und Design-Funktionen miteinander verbunden. Es besteht auch kein Zweifel, dass sie damit die Absatzmöglichkeiten der Produkte erhöhen. Leider wird der Beitrag der industriellen Lackiertechnik zur Wertschöpfung dennoch meist unterschätzt [1].

### 1.3 Wirtschaftliche Bedeutung

Im Jahr 2012 erreichte die Produktion von Lacken, Farben und Druckfarben in Deutschland 2,59 Millionen Tonnen im Wert von 7,55 Milliarden Euro. Der Umsatz in der Lack- und Druckfarbenindustrie beträgt 6,8 Milliarden Euro und die Branche beschäftigt ca. 25.000 Mitarbeiter in mehr als 250 Firmen. Damit nimmt die deutsche Lackindustrie in Europa die Spitzenposition ein – mit deutlichem Abstand vor Italien, Frankreich und Großbritannien [2].

 **Produktionsumsatzzahlen der Lackindustrie und der Lackieranlagenhersteller sind indirekte Indikatoren für die wirtschaftliche Bedeutung der industriellen Beschichtungstechnik. Darüber hinaus lassen sich Rückschlüsse aus den Forschungsinvestitionen sowie Mitarbeiter- und Ausbildungszahlen ziehen. Sehr schwer zu erfassen ist der wirtschaftliche Wert, der durch die Lebensverlängerung von Produkten entsteht.**

Die **tatsächliche wirtschaftliche Bedeutung** der deutschen Lackindustrie lässt sich allerdings nicht direkt aus solchen Produktions- und Umsatzzahlen ableiten. In der öffentlichen Wahrnehmung hat die Lackiertechnik die Aufgabe, dem Endprodukt ein „ansprechendes Äußeres“ zu geben. Daher steht sie in der Regel am Ende vieler Produktionsprozesse. Dies wird der eigentlichen Rolle der Oberflächenbehandlung nicht gerecht. Neben der ästhetischen Funktion ist der Schutz einer Werkstoffoberfläche maßgeblich für die Lebensdauer vieler Produkte und Aufgabe der Beschichtung. Lacke und Farben [3] (hier wird Farbe nicht als Sinneseindruck verstanden, sondern als Beschichtungsstoff) verlängern das Leben vieler Produkte, die andernfalls durch den Kontakt mit Feuchtigkeit, Salz oder dem Luftsauerstoff und Luftverunreinigungen rosten, verfaulen oder verwittern würden. Durch fehlende oder **mangelhafte Beschichtungen** entstehen in Deutschland jährlich Kosten in Milliardenhöhe. Der Wert einer Beschichtung übersteigt somit bei weitem deren reinen Materialwert.

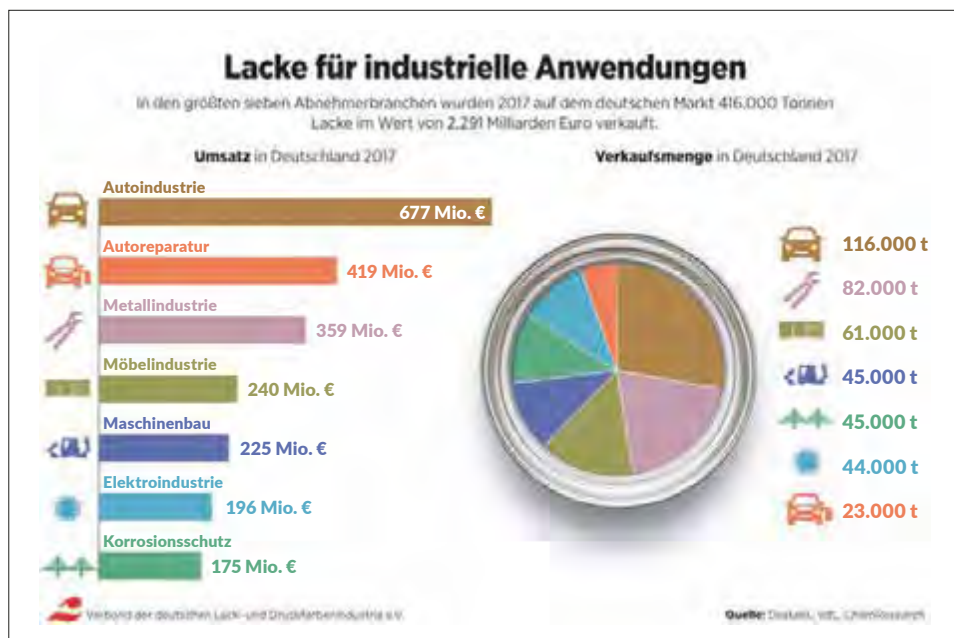


Abbildung 1.2: Umsatz und Verkaufsmengen von Lacken für industrielle Anwendungen in 2017

Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie

Um einen Eindruck zu erlangen, lässt sich über den Verbrauch von Beschichtungsstoffen und Investitionen in Beschichtungsanlagen eine ungefähre Abschätzung vornehmen: Neben der ständigen **Qualitätsverbesserung der Beschichtung** hinsichtlich ihrer Beständigkeit und dem äußeren Erscheinen, standen in den letzten Jahrzehnten vor allem der Umwelt- und Arbeitsschutz bei der Oberflächenbehandlung im Vordergrund. Die Verwendung von **umweltfreundlicheren Beschichtungsstoffen** (Pulverlacke, UV-Lacke, usw.) und entsprechend **automatisierten** und **optimierten Lackierprozessen** (Elektrostatik, Roboterlackierung, usw.) haben mit dem notwendigen hohen Einsatz an Forschungs- und Entwicklungskapazitäten die Lackiertechnik in das Hightech-Zeitalter geführt. Hierdurch sind nicht nur strenge Umwelt- und Arbeitsschutzaufgaben erfüllt, gleichermaßen ist ein bis dato nicht erreichter

Qualitätsstandard erreicht. Neben Verbesserungsmöglichkeiten bei den vorhandenen Technologien besteht gerade im Mittelstand und bei kleinen Unternehmen, z. B. bei der Umsetzung der Lösemittelrichtlinie, ein großer Nachholbedarf. Für die Zukunft gilt es, diesen Wettbewerbsvorteil weiter zu stärken und den Vorsprung gegenüber anderen globalen Wirtschaftsstandorten auszubauen. Ziel muss es sein, Methoden zu entwickeln, mit denen es möglich ist, noch schneller neue Entwicklungen, Prozesse und Innovationen umzusetzen.

Dies kann nur gelingen, wenn die Verantwortlichen und Experten in der gesamten Wertschöpfungskette enger zusammenarbeiten. Dies gilt für Rohstoff- und Lackhersteller, Anlagenbauer, Anwender, Forschung und Entwicklung, beim **Einsatz neuer Materialien** (z. B. Nanotechnologie), neuer Verfahren wie der **abfallfreien Vorbehandlung** (z. B. Plasmavorbehandlung) oder für die Entwicklung und Optimierung von neuen Beschichtungsprozessen (z. B. mit Hilfe von Simulationsprogrammen). Mit der Verknüpfung dieses Know-hows kann ein wissensbasiertes Netzwerk etabliert werden, mit dem es möglich ist, schnell und flexibel auf die Anforderungen der Kunden und/oder der Gesetzgebung zu reagieren und neue Produkte und Prozesse zu entwickeln.

Die Zukunft wird damit weniger abhängig vom Zugang an Rohstoffen und Produktionsmitteln, als vielmehr von der Verfügbarkeit an „Erfahrungs“-Wissen und der Kooperation in der gesamten branchenübergreifenden Wertschöpfungskette. Die Oberflächenbehandlung wird somit nicht mehr am Ende der Produktionskette stehen; sie wird viel früher im Prozess eine Schlüsselposition einnehmen. Dies kann allerdings nur gelingen, wenn entsprechend **qualifiziertes Personal** in den Unternehmen zur Verfügung steht, das in der Lage ist, diese neuen Technologien zu beherrschen. Das heißt, der Zugang an dafür qualifizierenden **Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen** ist für die weitere wirtschaftliche Entwicklung notwendig.

**i** Die industrielle Beschichtungstechnik hat sich zu einem hochtechnischen Wirtschaftsbereich entwickelt. Aus diesem Grund ist gut ausgebildetes Personal erforderlich.

## 1.4 Geschichtliche Entwicklung

Es gibt viele Beispiele, die belegen, dass Menschen bereits vor vielen tausenden von Jahren ihre Behausungen und Gegenstände bemalt und verziert haben. Mehr als 30.000 Jahre alte Höhlenmalereien in Nordspanien und Südfrankreich belegen dies auf beeindruckende Weise. Die ersten Farben bestanden aus tierischen Fetten, farbiger Erde und natürlichen Pigmenten. Während Ägypter, Römer und Griechen im **Altertum** bereits über hochentwickelte Malkünste verfügten, brachten die Chinesen **2000 v. Chr.** diese Entwicklung einen entscheidenden Schritt weiter: Neben dekorativen und farbgebenden Elementen erfanden sie eine Möglichkeit, in bis zu 30 hauchdünnen Schichten [4] Oberflächen mit einer glatten und glänzenden Struktur zu versehen. Diese Lacke, die sie aus dem Milchsaft des Rhus-Baumes herstellten, sahen nicht nur schön aus, sondern gaben dem Untergrund auch einen gewissen Schutz. Diese Schutzfunktion gewann in den Folgejahren zunehmend an Bedeutung. In der Seefahrt um das **4. Jh. v. Chr.** mussten die Holzschiffe vor den Einflüssen der rauen See und des Wetters geschützt werden.

Bedingt durch die **industrielle Revolution** im 18. Jh. wurden immer mehr Güter und Gebäude aus korrosionsanfälliger Eisen hergestellt. Zum Schutz vor Witterungseinflüssen mussten die Oberflächen mit einem Schutzanstrich versehen werden. Auch die Schiffsflotten der Seemächte benötigten immer größere Mengen an Schiffslacken. So dauerte es nicht lange, bis sich in England und später auch in Holland und Deutschland die ersten Lackfabriken entwickelten. Bei der Herstellung von so genannten „fetten Lacken“ [3] wurden dort Harze und trocknende Öle verkocht und anschließend pigmentiert. Das größte Problem dieser Lacke war deren langsame Trocknung, die zu einer Verzögerung bei der Fertigung vieler Industriegüter führte.

Im **20. Jahrhundert** führte Henry Ford das Fließband für die Massenproduktion von Automobilen ein. Die Spritzpistole, erfunden von Allen DeVilbiss im Jahre 1890<sup>1</sup> ersetzte nun die Pinsellackierung der Fahrzeuge [5]. Der Lackierprozess war, bedingt durch die langsame Trocknung, bis dahin ein Hauptgrund dafür, dass man nicht so viele Fahrzeuge wie benötigt produzieren konnte. Beim Spritzen der bis dahin gebräuchlichen Naturharzlacke trat zudem das Problem auf, dass die Düsen sehr schnell verstopften. Dieses konnte erst durch die Verwendung von Nitrocelluloselacken gelöst werden. In den Folgejahren beschleunigten sich die technischen Innovationen. Nach und nach wurden immer mehr Naturprodukte durch Kunstharzlacke ersetzt.

Auch bei der **Lackapplikation** merkte man schnell, dass die bis dahin angewendeten Verfahren wie das Streichen und später auch Spritzen nicht schnell genug waren, um Fahrzeuge und andere Massengüter zügig genug fertigen und beschichten zu können. So kamen industrielle Beschichtungsverfahren wie das Elektrotauchlackie-

<sup>1</sup> Dem Sohn von Dr. DeVilbiss, Thomas DeVilbiss, wird die Überarbeitung des ursprünglichen Zerstäubers und somit die Schaffung einer Spritzpistole zugeschrieben, die bereits den Anforderungen an die Spritzlackierung gerecht wird. Um das Zerstäubergeschäft seines Vaters weiter zu beleben, nahm Thomas DeVilbiss Parfümzerstäuber in die Produktlinie des Unternehmens auf. Danach experimentierte DeVilbiss junior, der selbst Erfinder war, 1907 mit der Spritzpistole. In jener Zeit begann sich die Massenproduktion zu entwickeln, wobei sich die Spritzpistolentechnologie von Thomas DeVilbiss als revolutionäre Ergänzung für die Farb- und Lackieranwendungen erwies, die an Fertigungslinien in der Möbel- und Automobilindustrie eingesetzt wurden. Quelle: [http://german.itwifeuro.com/about\\_us/Devilbiss.asp](http://german.itwifeuro.com/about_us/Devilbiss.asp)

ren, elektrostatisches Lackieren und schließlich auch die Pulverlackierung hinzu. Alle Lackierprozesse von der Vorbehandlung über die eigentliche Lackierung bis hin zu Trocknungs- und Härtungsprozessen wurden immer weiter automatisiert. Seit den **60er Jahren** wurde verstärkt an der Entwicklung lösemittel- und abfallarmer Lackiertechniken gearbeitet. Wasserlacke, strahlenhärtende Systeme und abfallfreie Pulverlacke sind als Beispiele hierfür zu nennen.

Die **heutige industrielle Lackiertechnik** steht im Zeichen moderner Automatisierungskonzepte, neuer Umwelttechnologien und der Qualitäts- und Prozesssicherung in Lackierbetrieben.

**i** Mit Zunahme der Industrialisierung stieg auch der Bedarf an schnelleren und wirkungsvolleren Beschichtungsverfahren und -materialien.

**Abbildung 1.3: Moderne Lackieranlage für Karosserien**

Quelle: BMW Group



## Prüfungsaufgaben

Am Ende eines Kapitels sind Übungsaufgaben für Sie zur Bearbeitung angefügt. Hiermit können Sie Ihr Wissen überprüfen.

### Aufgaben zum Thema „Aufgaben des Verfahrensmechanikers für Beschichtungstechnik“

1. Sammeln Sie alle Aufgaben, die Sie in ihrer Ausbildung bereits kennengelernt haben.
2. Listen Sie auch die Tätigkeiten auf, die Sie in Ihrer Firma bereits gesehen haben, aber selbst noch nicht durchführen konnten.
3. Was versteht man unter einer Add-on-Technologie?
4. Schreiben Sie zusammen mit Ihrem Sitznachbarn einen ähnlichen Dialog wie in Kapitel 1.1. Abwechselnd spielen Sie beide jeweils den neuen Auszubildenden und seinen Freund. Beschreiben Sie dem „unwissenden“ Dialogpartner, wie abwechslungsreich Ihr Arbeitsplatz ist.

### Aufgaben zum Thema „Aufgaben einer Beschichtung“

1. Sammeln Sie alle im Text und im Dialog genannten Aufgaben einer Beschichtung.
2. Ergänzen Sie diese Liste durch weitere Aufgaben einer Beschichtung.
3. Ordnen Sie diese Aufgaben den Kategorien der Abbildung 1.5 zu.
4. Erarbeiten Sie einen Kurzvortrag, in dem Sie alle Aufgaben einer Beschichtung bei einem konkreten Produkt vorstellen. Mögliche Produkte: Automobil, Schiff, Traktor (...)

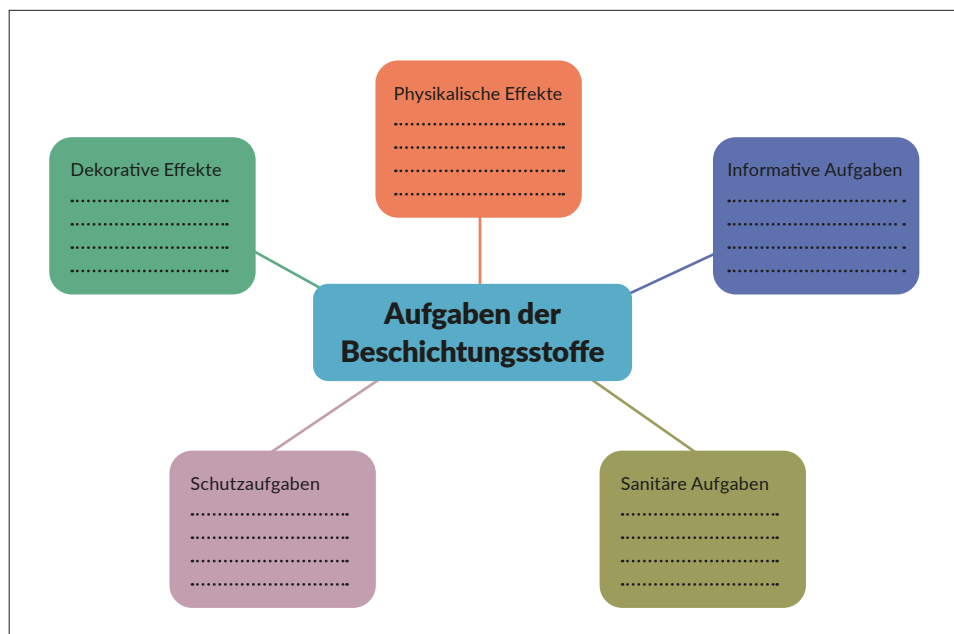


Abbildung 1.4: Aufgaben einer Beschichtung

**Aufgaben zum Thema „Die wirtschaftliche Bedeutung“**

1. Warum ist eine Einordnung der wirtschaftlichen Bedeutung der Oberflächentechnik schwer vorzunehmen?
2. Recherchieren Sie im Internet nach weiteren aktuellen Zahlen, die eine Aussage über die wirtschaftliche Bedeutung der Lackiertechnik möglich machen.
3. Bearbeiten Sie in einer Gruppenarbeit (zwei bis drei Schüler) einen Fachvortrag mit dem Thema „Die vielfältigen Aufgaben und die große volkswirtschaftliche Bedeutung der Beschichtungstechnik“.

**Aufgaben zum Thema „Geschichtliche Entwicklung“**

1. Welche neuen Aspekte brachte die Lackkunst der Chinesen der Lackiertechnik?
2. Welches Problem gab es zunächst mit der Spritzpistole und wie wurde es gelöst?
3. Fassen Sie die technische Entwicklung im 20. Jh. in jeweils einem Satz zusammen.
  - a) für die Entwicklung bei den Lacken
  - b) für die Entwicklung der Applikationsverfahren.
4. Welche Entwicklung gewann seit den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts an Bedeutung?
5. Wie stellen Sie sich die Entwicklung der Beschichtungstechnik in der Zukunft vor? Wie läuft der Beschichtungsprozess in 50 Jahren ab? Welche Applikationsverfahren und welche Beschichtungstoffe werden sich durchsetzen? Bitte geben Sie eine ungefähre Einschätzung dazu, seien Sie phantasievoll.

**Literaturhinweise**

- [1] Dr. K. Roths und J. Gochermann: „Forschungsagenda Oberfläche Analyse des Innovations- und Nachhaltigkeitspotenzials im Bereich der Oberflächenbehandlung“, DFO Service (2006); <http://fao.dfo.info/ergebnisse/pdf-dateien>
- [2] Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V.: [www.lackindustrie.de](http://www.lackindustrie.de)
- [3] T. Brock, M. Groteklaes, P. Mischke: „Lehrbuch der Lacktechnologie“, 2. Aufl., Vincentz Network, Hannover, S. 11 (2000)
- [4] <http://www.lacke-und-farben.de>, Deutsches Lackinstitut
- [5] A. Goldschmidt, H.-J. Streitberger: „BASF Handbuch der Lackiertechnik“, Vincentz Network, Hannover, S. 531 (2002)

## 2 Der Beschichtungsstoff

Welcher Beschichtungsstoff ist der richtige? Dieses ist eine entscheidende Frage, deren Bedeutung hier an einem Beispiel verdeutlicht wird.

Mario, Mirkos Bekannter, trifft Mirko nach der Arbeit.



**Mario:** Hallo Mirko, gut, dass ich dich treffe. Ich habe da mal eine Frage. Du hast doch in deinem Beruf mit Farben zu tun. Wir wollen uns neue Holzfenster kaufen, und der Verkäufer hat uns gesagt, dass diese mit Biolack gestrichen werden sollten. Was hältst du denn davon?

**Mirko:** Mario, entschuldige, aber Farbe ist ein Sinneseindruck. Fenster werden also nicht mit Farbe, sondern mit Lack oder einem Beschichtungsstoff versehen. Kennst du die Grundlage, den Filmbildner des Lacks?

**Mario:** Nein, Filmbildner? Was ist denn das?

**Mirko:** Der Filmbildner ist der Stoff im Lack, der dafür sorgt, dass der sich bildende Film auf der Oberfläche zusammenhängt wie eine Haut. Diese Filmbildner können chemisch sehr unterschiedlich sein.

**Mario:** Aber Biolack ist doch bestimmt besonders gut für die Umwelt und die Gesundheit, sonst stände ja nicht Bio drauf. Für mich ist das auch wichtig wegen der Allergien.

**Mirko:** Davon würde ich mich nicht blenden lassen. Ich weiß nur, dass bei Lacken häufig das Wort Bio benutzt wird, wenn es sich um Naturprodukte handelt. Es gibt Filmbildner aus der Natur und andere, die werden industriell hergestellt. Naturlacke sind zum Beispiel die „guten“ alten Öllackfarben. Damit die sich aber schneller verfestigen, müssen Schwermetallsalze zugegeben werden, die als ziemlich gesundheitsschädlich gelten. Außerdem weiß ich, dass häufig Naturlacke undefinierbare Bestandteile enthalten wie bei diesen Öllackfarben die so genannten Terpene. Gerade diese Terpene stehen unter dem Verdacht, Allergien auszulösen. Also, du musst dich noch mal genau erkundigen, was mit diesem Biolack gemeint ist.

**Mario:** Was würdest du mir empfehlen?

**Mirko:** Wenn du umweltbewusst lackieren willst, nimm einen lösemittelarmen Lack oder ganz einfach eine wässrige Dispersion. Acrylatdispersionen beispielsweise sind leicht zu verarbeiten und haben eine gute Beständigkeit.


**Mario:** Danke Mirko, das sind gute Hinweise.

## 2.1 Bestandteile und Unterscheidungsmerkmale von Beschichtungsstoffen

Die Lackindustrie bietet ein sehr umfangreiches Sortiment von Beschichtungsstoffen an. Das ist notwendig, da es keinen Beschichtungsstoff gibt, der universell für alle Untergründe, Objekte und Ansprüche einsetzbar ist. Die Beschichtungsstoffe sollen zu annehmbaren Preisen unterschiedliche Werkstoffe und Objekte schützen und/oder verschönern. Man muss also nicht nur Kenntnisse über den zu beschichtenden Untergrund haben, sondern auch über den Beschichtungsstoff selbst. Ein sehr hoher Anteil von Beschichtungsfehlern ist außer durch Verarbeitungsfehler auch auf falsche Auswahl bzw. Anwendung von Beschichtungsstoffen zurückzuführen. Allgemein ausgedrückt, ist ein Beschichtungsstoff ein flüssiges bis pastenförmiges bzw. pulverförmiges Produkt, das auf einen Untergrund aufgetragen wird und eine schützende, dekorative oder eine mit spezifischen technischen Eigenschaften ausgestattete Beschichtung ergibt.

Im Folgenden werden wichtige Aussagen dieser Definition etwas genauer erläutert:

- Beschichtungsstoffe müssen in der Form ihrer Verarbeitung nicht unbedingt flüssig sein. Sie können auch pulverförmig oder pastenförmig sein.
- Beschichtungsstoffe werden auf verschiedene Untergründe aufgetragen. Es können Metalle, Kunststoffe, Holz oder andere Werkstoffe sein.
- Beschichtungsstoffe können mittels verschiedener Verfahren (z. B. Spritzen, Tauchen, Fluten, Streichen etc.) auf den Untergrund aufgetragen werden.
- Beschichtungsstoffe ergeben auf den verschiedenen Untergründen eine Beschichtung mit ganz bestimmten Aufgaben (z. B. dauerhafter Schutz und Verschönerung).

 **Beschichtungsstoffe können flüssig, pastenförmig bzw. pulverförmig auf die verschiedensten Untergründe mit unterschiedlichen Beschichtungsverfahren aufgebracht werden.**

Um zu verstehen, wie aus dem Beschichtungsstoff eine Beschichtung wird, muss man sich mit den unterschiedlichen Bestandteilen beschäftigen. Diese Bestandteile können in vier große Gruppen eingeteilt werden:

- Filmbildner, auch oft fälschlich Bindemittel genannt
- Lösemittel, auch Verdünnungsmittel genannt
- Farbmittel und Füllstoffe
- Additive (Hilfsstoffe)

Die Aufgabe des **Filmbildners** ist es, beim Trocknen und Härten des Beschichtungsstoffes einen festen, zusammenhängenden Film zu bilden, der die Eigenschaften des fertigen Lacküberzuges, wie Beständigkeit oder Haftfestigkeit auf dem Untergrund, maßgeblich beeinflusst. Um den Beschichtungsstoff verarbeitungsfähig aufzubereiten, werden ihm **Lösemittel** und **Verdünnungsmittel** zugesetzt. Ein Filmbildner hat keine oder nur eine geringe Eigenfarbe. Um einen farbigen Beschichtungsstoff zu erhalten, muss man dem Filmbildner **Farbmittel** zusetzen. Das sind lösliche Farbstoffe oder farbige Pigmente. Füllstoffe werden eingesetzt, um bestimmte physikalische Eigenschaften zu erreichen. Unverzichtbar sind **Additive**. Das sind Zusätze, mit denen sich erwünschte Eigenschaften im Beschichtungsstoff verbessern oder unerwünschte Eigenschaften verhindern lassen. Die Beschichtungsstoffe können nach folgenden Unterscheidungsmerkmalen eingeteilt werden:



Abbildung 2.1: Typische Zusammensetzung von Beschichtungsstoffen

Quelle: BASF Handbuch Lackiertechnik, S. 26

Tabelle 2.1: Unterscheidungsmerkmale der Beschichtungsstoffe

Unterscheidungsmerkmal	Beschichtungsstoff
Lösemittelseinsatz und Umweltverträglichkeit	Lösemittellack, Pulverlack, Wasserlack
Art der Trocknung	Einbrennlacke, strahlenhärtbare Systeme, lufttrocknende Lacke
Lieferform	Einkomponentenlack, Zweikomponentenlack
Art der Verarbeitung	Elektrotauchlacke, Gießlacke, Spritzlacke, Tauchlacke, Walzlacke,
Funktion im Mehrschichtaufbau	Primer, Spachtel, Füller, Grundierung, Basislack, Klarlack
Verwendungszweck	Bauten-, Holz-, Kunststoff-, Metall- und Industrielacke

Im Folgenden sollen die einzelnen Bestandteile eines Beschichtungsstoffes beschrieben werden.

**i** Beschichtungsstoffe können aus verschiedenen Bestandteilen bestehen: Dem Filmbildner (Bindemittel), dem Löse- und Verdünnungsmittel, dem Farbmittel und den Füllstoffen oder Additiven.

# 3 Lackieruntergründe

Mirko trifft den Autoverkäufer Sven auf dem Weg zur Arbeit. Er trägt den Scheinwerfer eines Lkws unter dem Arm. Mirko nimmt den Scheinwerfer, um ihn genauer zu betrachten.

**Mirko:** Hey Sven, warum ist der Scheinwerfer denn so leicht, ist die Scheibe etwa aus Kunststoff?



**Sven:** Ja, die Scheibe ist aus Polycarbonat und damit der Kunststoff nicht verkratzt, wird er mit einem Klarlack überzogen.

---

## Prüfungsaufgabe

1. Überlegen Sie sich weitere Gründe für das Lackieren von Untergründen wie Kunststoff, Metall und Holz.

## 3.1 Allgemeine Eigenschaften von Werkstoffen

Beschichten ohne Vorbehandlung, das geht nicht oder anders ausgedrückt: Keine Haftfestigkeit ohne Vorbehandlung. Jeder Werkstoff erfordert eine ihm angepasste Vorbehandlung. Diese dient:

- der Entfernung von Fertigungsrückständen
- der Entfernung von Transportverunreinigungen und anderen auf der Oberfläche haftenden Rückständen
- der Vorbereitung der Oberflächenstruktur zur Verankerung der Beschichtung sowie
- der Aufbringung einer Haftfestigkeit vermittelnden Schicht

Die zu beschichtenden Teile werden durch verschiedene Fertigungsverfahren als Rohteile hergestellt. Diese Verfahren sind vor allem Urformen, Umformen und Trennen oder Fügen. Dabei unterscheiden sie sich in der eingesetzten Werkstoffart, in der Rauheit der Oberfläche, in der Struktur der Oberflächenschicht, in den anhängenden Fremdschichten auf der Oberfläche und durch ihre Oberflächenfehler. Die zu beschichtende Werkstoffoberfläche wird in der Oberflächentechnik als „Sub-strat“ bezeichnet [1, 2].

Werkstoffe sind Arbeitsmittel rein stofflicher Natur, die in Produktionsprozessen der Fertigungstechnik aufgrund ihrer technischen und im Gebrauch verwertbaren Eigenschaften zur Herstellung von Werkstücken verwendet werden. Man unterscheidet im Allgemeinen folgende Werkstoffgruppen:

## Metalle

- Eisenwerkstoffe
  - Eisengusswerkstoffe (z.B. Grauguss)
  - Stähle (z.B. Baustähle)
- Nichteisenmetalle
  - Leichtmetalle (z.B. Aluminium)
  - Schwermetalle (z.B. Kupfer)

## Nichtmetalle

- natürliche Werkstoffe (z.B. Holz)
- künstliche Werkstoffe
  - keramische Stoffe
  - Kunststoffe
- Sonstige
  - Halbleiter (z.B. Silizium) und
  - Verbundwerkstoffe (z.B. Faserverbundwerkstoffe)

Werkstoffe aus all diesen Werkstoffgruppen können beschichtet werden. Dabei gilt: Geht nicht, gibt's nicht! Denn passt ein Werkstoff nicht zu einem gewünschten Beschichtungsstoff, so beginnt der Lackierverantwortliche schon bei der Vorbehandlung, einen Beschichtungsstoff auszusuchen, der aufgrund der Eigenschaften des Werkstoffes und des Beschichtungsstoffes passt. Deshalb muss der Lackierverantwortliche den Werkstoff mit seinen vorgegebenen Eigenschaften kennen, um das Schichtmaterial passgerecht darauf abstimmen zu können.

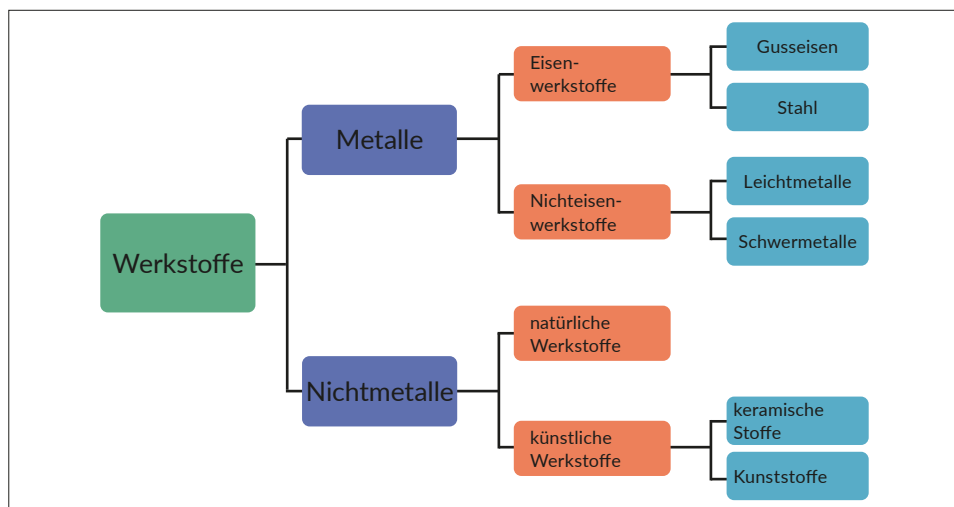


Abbildung 3.1: Einteilung der Werkstoffarten

**i** Werkstoffe sind Arbeitsmittel rein stofflicher Natur, die im Produktionsprozess der Fertigungstechnik aufgrund ihrer technischen und im Gebrauch verwertbaren Eigenschaften zur Herstellung von Werkstücken verwendet werden.

### Physikalische Werkstoffeigenschaften

**Härte:** Widerstand, den ein Werkstoff dem Eindringen eines Prüfkörpers entgegensetzt

**Festigkeit:** Innerer Widerstand gegen von außen wirkende Kräfte

**Elastizität:** Wenn ein Stoff nach einer Verformung wieder in seine alte Lage zurückkehrt

**Plastizität:** Wenn ein Stoff nach einer Verformung in der neuen Form bleibt

**Dichte:** Ist das Verhältnis von Masse und Volumen eines Körpers

**Duktilität:** Dehn- bzw. Verformbarkeit von Werkstoffen

**Elektrische Leitfähigkeit:** Fähigkeit eines Stoffes, elektrischen Strom zu leiten

**Schmelzpunkt:** Temperatur, bei der ein Werkstoff zu schmelzen beginnt

**Wärmekapazität, spezifische:** Gibt diejenige Wärmemenge an, die notwendig ist, um ein Kilogramm eines Stoffes um ein Grad Celsius (= ein Kelvin) zu erwärmen

**Wärmeausdehnung:** Ist die Änderung der geometrischen Abmessungen (Länge, Fläche, Volumen) eines Körpers, hervorgerufen durch eine Veränderung seiner Temperatur

### Technologische Werkstoffeigenschaften

**Beschichtbarkeit:** Wie gut Beschichtungsstoffe auf dem Werkstoff haften.

**Klebbbarkeit:** Wie gut sich verschiedene Stoffe durch eine erhärtende Zwischenschicht stoffschlüssig miteinander verbinden lassen

**Lötbarkeit:** Wie gut sich verschiedene Stoffe, ohne dass der zu lötende Werkstoff geschmolzen wird, miteinander verbinden lassen

**Gießbarkeit:** Einsatzfähigkeit eines Werkstoffes zur Herstellung eines Gussstücks

**Schmiedbarkeit:** Wie gut sich der glühende Werkstoff durch Schlag und Pressen in glühendem Zustand umformen lässt

**Spanbarkeit:** Wie gut ein Werkstoff sich spanend bearbeiten lässt.

**Umformbarkeit:** Fähigkeit, unter Einwirkung von Kräften bleibende Formänderung auszuhalten, ohne dass der Stoffzusammenhalt verloren geht

### Chemische Eigenschaften

**Korrosions- und Alterungsbeständigkeit:** Eigenschaft von Stoffen, Witterungseinflüssen ohne Minderung des Gebrauchswertes zu widerstehen

**Brennbarkeit:** Chemische Eigenschaft von Stoffen, mit Sauerstoff unter Freisetzung von Strahlungsenergie bzw. Wärme zu reagieren

**Löslichkeit:** Molekulare oder atomare Verteilung eines Stoffes in einen anderen **Säurebeständigkeit:** Ist die Widerstandsfähigkeit gegenüber sauren Einwirkungen, sich nicht nachteilig zu verändern

**Laugenbeständigkeit:** Ist die Widerstandsfähigkeit gegenüber Einwirkungen von Laugen

### Umwelteigenschaften

**Recyclingfähigkeit:** Wiederverwendbarkeit von Werkstoffen

**Umweltgiftigkeit:** Ob von Stoffen oder Stoffgemischen Gefahren für die Umwelt ausgehen

### Verfahrensauswahl der Vorbehandlung

Die Verfahrensauswahl der Vorbehandlung hängt von verschiedenen Faktoren und den daraus resultierenden Fragen ab:

Nach dem **Werkstoff** des Werkstücks: Wodurch wird er angegriffen oder zerstört? Wie lässt sich seine Oberflächenstruktur verändern?

Nach der **Geometrie** des Werkstücks: Erreicht das Verfahren alle notwendigen Bereiche? Ist die Oberfläche sehr empfindlich? Wie rau ist die Oberfläche und wie rau darf sie werden?

Nach den anhaftenden **Fremdschichten:** Welche **Mengen** und welche **Rückstände** befinden sich auf der Oberfläche?

Nach dem **nachfolgenden** Beschichtungsverfahren: Welches Beschichtungsverfahren wird eingesetzt und wie sauber muss die Oberfläche sein? Welche Oberflächenbeschaffenheit muss nach der Vorbehandlung vorhanden sein? Wie und wodurch kann die Oberflächenqualität bestimmt werden?

Nach der Bedeutung des Verfahrens für die **Umwelt:** Welche Auswirkungen hat das eingesetzte Verfahren auf die Luft, das Wasser oder/und den Abfall? Welche gesetzlichen Regelungen müssen beachtet werden?

Nach den **Kosten** des Verfahrens: Welche grundsätzlichen Kosten fallen an (Investitionen, laufende Kosten und Entsorgungskosten)?

---

## Prüfungsaufgaben

1. Erläutern Sie die folgenden Werkstoffeigenschaften: Elastizität, Plastizität, Dichte, Härte, Spanbarkeit, Korrosionsbeständigkeit und Brennbarkeit.
2. Beschreiben Sie das elastisch-plastische Verformungsverhalten eines Stabstahls, eines Kunststoffstabs aus Thermoplast und eines Stabs aus Vollholz (z. B. Kiefer).
3. Von welchen Faktoren hängt die Auswahl der Vorbehandlung ab? Erklären Sie diese anhand eines von Ihnen ausgewählten Werkstoffes.

## 3.2 Metalle und ihre Eigenschaften

Von den chemischen Elementen, die es auf der Erde gibt, sind mehr als die Hälfte **Metalle**. Alle Metalle sind unter Normalbedingungen fest, außer Quecksilber. Diese metallischen Werkstoffe teilt man in die Kategorien von Abbildung 3.2 ein. Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass es noch weitere metallische Werkstoffe gibt, die als Beschichtungsuntergründe Verwendung finden.

Metalle besitzen im Allgemeinen folgende charakteristische Eigenschaften:

- elektrische Leitfähigkeit
- Formbarkeit
- Festigkeit
- Wärmeleitfähigkeit
- Elastizität
- Sprödigkeit
- Zerspanbarkeit und
- Oberflächenglanz

Für den Beschichter sind von den Werkstoffeigenschaften im Wesentlichen die Oberflächenzustände und das Korrosionsverhalten von Interesse.

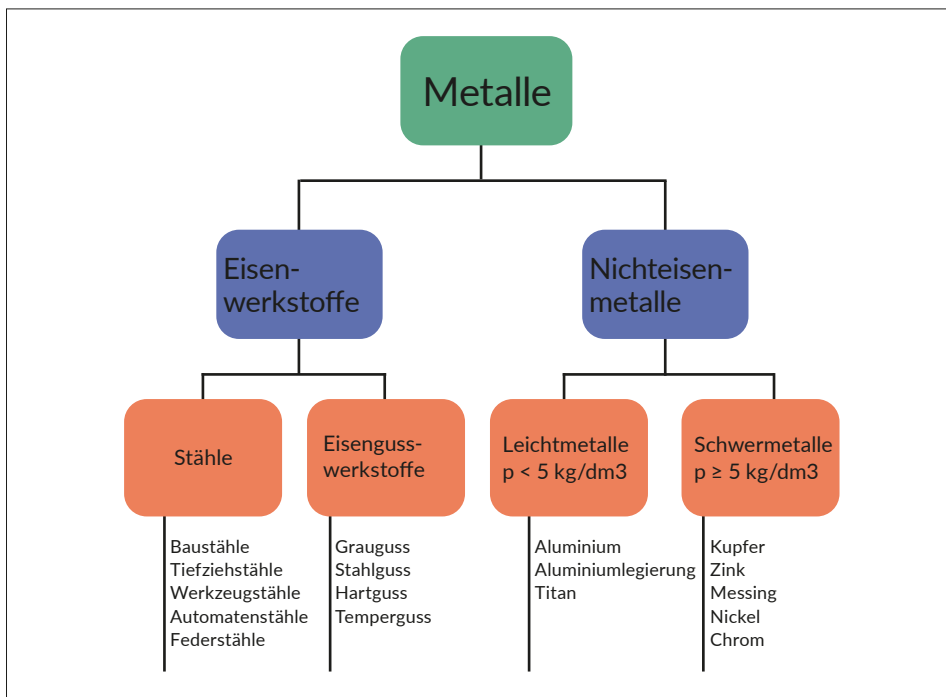


Abbildung 3.2: Einteilung der metallischen Werkstoffarten

# 4 Grundlagen der Lackapplikation

Die Firma Kaiser Coatings, bei der Mirko als Auszubildender im Beruf Verfahrensmechaniker für Beschichtungstechnik arbeitet, will expandieren und einen Teil der Beschichtungsobjekte mit Pulver beschichten. Er unterhält sich darüber mit dem Juniorchef der Firma, Andreas Kaiser.

**Herr Kaiser:** Du, Mirko, hast du schon gehört, dass wir demnächst noch eine Pulverabteilung dazu bekommen?



**Mirko:** Ja, Alexander, mein derzeitiger Vorarbeiter, hat mir davon erzählt. Jetzt weiß ich auch, wofür Sie das neue Gebäude gleich neben der alten Haupthalle gebaut haben.

**Herr Kaiser:** Richtig. Hast du dich schon mal gefragt, ob das nicht ein interessanter neuer Arbeitsbereich für dich sein könnte? Du bist ja nun im dritten Ausbildungsjahr und mein Vater hat auch schon darüber nachgedacht, dich nach der Prüfung zu übernehmen.

**Mirko:** Sie meinen, dass man noch einen Fachmann für das Pulverlackieren gebrauchen könnte? Wow, das wäre es doch! Klar mache ich das, und wenn sich dadurch noch die Chancen für eine Übernahme erhöhen...

**Herr Kaiser:** Das wird mein Vater gerne hören. Lass uns mal überlegen, wie wir die Sache angehen können. Wie wäre es, wenn du dich erst einmal eingehend mit der Pulverlackapplikation beschäftigst und dann unseren anderen Azubis, mir und meinem Vater eine Präsentation vorträgst?

**Mirko:** Toll, das mache ich, dann bin ich der Experte.

**Herr Kaiser:** Du könntest vorher vielleicht auch mal für zwei oder drei Wochen in eine andere Firma gehen, die Pulverlackierungen macht?

**Mirko:** Mhh..., ich arbeite zwar lieber hier, aber in Ordnung. Und danach halte ich den Vortrag.

**Herr Kaiser:** Gut, ich rufe sofort Herrn Wegner von der Firma „Wegner + Müller Pulverbeschichtungen“ an, ich bin gleich wieder hier...

Beschichtungsstoffe werden üblicherweise als viskose Flüssigkeiten auf das Lackierobjekt übertragen. Ausnahmen bilden die modernen umweltfreundlichen Pulverlacke. Diese bei der Verarbeitung festen Produkte werden als feingemahlene Feststoffpartikel auf das zu lackierende Objekt aufgebracht, um nach dem anschließenden

Erwärmen des Werkstücks aufzuschmelzen, den Untergrund zu benetzen und danach einen geschlossenen Film zu bilden, der sich nach dem Abkühlen verfestigt.

## 4.1 Verfahrenstechnische Grundlagen bei der Verarbeitung von Nasslacken

Der flüssige Lack kann auf zahlreiche Arten auf die zu beschichtenden Werkstücke aufgetragen werden. Man kann dabei in direkte und indirekte Verfahren unterscheiden. Zu den direkten Verfahren zählen das Tauchen, Walzen, Gießen oder Streichen. Dies sind Verfahren, bei denen der flüssige Lack direkt auf das Werkstück aufgebracht wird. Bei den indirekten Verfahren wird der Beschichtungsstoff zunächst in feine Tropfen zerteilt, um danach durch mechanische oder elektrische Kräfte auf die zu lackierende Oberfläche übertragen zu werden. Die indirekten Verfahren haben den großen Nachteil der unvollständigen Überführung des Lackes auf das Lackierobjekt.

Bei der Auswahl und vergleichenden Bewertung der Spritzverfahren ist deshalb die Übertragungsrate eine wichtige Entscheidungshilfe. Sie ist ein Kriterium für Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit des Verfahrens. Ein geringer Materialverbrauch mit wenig Abfall reduziert die Emission und Feststoffverluste. Die Übertragungsrate (oft auch als Transferrate, Auftragswirkungsgrad oder Beschichtungsrate bezeichnet) beschreibt das Verhältnis zwischen dem auf einer Oberfläche abgeschiedenen und dem verspritzten Festkörperanteil eines Beschichtungsmaterials und wird in Prozent angegeben:

$$\text{Übertragungsrate [\%]} = \frac{\text{Abgeschiedene Festkörpermasse [g]}}{\text{Verspritzte Festkörpermasse [g]} * 100 [\%]}$$

Durchschnittliche Auftragswirkungsgrade:

→ Konventionelles Hochdruckspritzen:	35 – 50 %
→ HVLP:	55 – 60 %
→ Hydraulisches Spritzen:	50 – 65 %
→ Elektrostatik mit Druckluft:	60 – 85 %
ohne Druckluft:	80 – 95 %

Im Vergleich dazu: beim Elektrotauchlackieren werden Auftragswirkungsgrade von 90 – 98 % erreicht.

Man spricht von einem Spritzvorgang, wenn der überwiegende Anteil der Zerstäubung durch mechanische Kräfte erzielt wird. Dagegen handelt es sich um einen Sprühvorgang, wenn die Zerstäubung maßgeblich durch elektrostatische Kräfte erzeugt wird.

Bei den Spritzverfahren kann grundsätzlich zwischen luftzerstäubenden (pneumatisches Spritzen) und luftlosen Verfahren (hydraulisches Spritzen, Airless) unter-

schieden werden. Bei den luftzerstäubenden Verfahren wird das Lackmaterial durch einen Luftstrom angesaugt und zur Düse befördert. Dort wird das Lackmaterial von der Zerstäuberluft zerrissen und aus der Pistole tritt ein Lack-Luft-Gemisch aus.

Beim Airless-Verfahren wird dagegen Druck auf das Lackmaterial ausgeübt, wodurch es in eine Leitung gedrückt wird. Durch die Verengung im Düsenbereich baut sich dann Druck auf. An der Düsenöffnung wird durch den niedrigeren Druck der Umgebung der Lack zerrissen. Es handelt sich hier ausschließlich um Lacktropfen und nicht um ein Lack-Luft-Gemisch.

Man unterscheidet zwischen den folgenden Verfahren:

- Niederdruckspritzen: 0,5 bis 1,0 bar
- HVLP: 0,7 bar
- Hochdruckspritzen: 4 bis 8 bar
- Höchstdruckspritzen (Airless): 100 bis > 200 bar



**Während bei den luftzerstäubenden Verfahren ein Lack-Luft-Gemisch nach Austritt aus der Düse vorliegt, verlassen beim Airless-Verfahren nur Lacktröpfchen den Düsenbereich.**

## 4.1.1 Herkömmliche Spritzverfahren

### 4.1.1.1 Druckluftspritzen (pneumatisches Spritzen)

Beim Druckluftspritzen wird der Lack nach dem Austritt aus einer Düse mit Hilfe von beschleunigter Luft in kleine Tropfen zerteilt. Je nach wirksamem Luftdruck wird zwischen dem Niederdruck-Verfahren (0,5 bis 1 bar) und dem Hochdruckspritzen (4 bis 8 bar) unterschieden. Druckluft und Beschichtungsstoff werden in der Spritzpistole durch getrennte Leitungen zur Düse geführt. Betätigt man den Abzug, öffnet sich die Düse und Lack tritt aus. Ohne Druckluft könnte der Lack zwar hinausfließen, eine Zerstäubung würde jedoch nicht erfolgen. Dies wird durch den so genannten **Ringspalt**, rund um den eben beschriebenen Bereich, ermöglicht. Dort strömt Luft mit so hoher Geschwindigkeit aus, dass sie den Lack herausaugt und anschließend in kleinste Tröpfchen zerreißt.

Bei der Hochdruckzerstäubung sind grundsätzlich die Lacktröpfchen umso feiner, je höher die Geschwindigkeit der Luft ist. Weitere Faktoren sind neben der Luftgeschwindigkeit auch die Luftmenge und die Konsistenz des Lacks.

**Versuch:** Mit einem einfachen Versuch kann man diesen Effekt auch im Klassenzimmer darstellen. Ein dünner Trinkhalm wird in zwei Teilstücke zerschnitten. Ein Teilstück wird senkrecht in ein Wassergefäß getaucht, das andere im rechten Winkel an der Öffnung platziert. Pustet man nun in den horizontal gehaltenen Halm, dann steigt die Flüssigkeit im senkrechten Halm auf und wird im Luftstrom zerrissen.

Das Zerstäubungsprinzip beruht darauf, dass ein Lackstrahl mit geringer Geschwindigkeit aus der Düse austritt. Die Zerstäuberluft entweicht dagegen mit sehr hoher Geschwindigkeit. Durch diesen Geschwindigkeitsunterschied wird der Lackstrahl in kleine Tröpfchen zerrissen, die einen Spritzstrahl ergeben. Je höher die Geschwindigkeit der Luft ist, desto feiner werden die Lacktröpfchen.

Eine herkömmliche Spritzpistole arbeitet mit einem Zerstäuberdruck von 3,5 bis 4 bar. Die an der Düse austretende Luft hat eine Geschwindigkeit von 250 bis 290 m/s [1] und erreicht somit beinahe die Schallgeschwindigkeit [2]. Der aus der Düse austretende Lack hat dabei noch eine Geschwindigkeit von 2 bis 4 m/s. Die hohe Differenzgeschwindigkeit bewirkt auf der einen Seite zwar die feine Zerstäubung, sorgt aber auf der anderen Seite für einen hohen Anteil an Overspray. Die Form des entstehenden Spritzkegels wäre in diesem Fall rund.

Der Düsenkopf hat jedoch noch andere Öffnungen, die wie die Hörner eines Stieres hervorstehen. Durch diese so genannten **Hornluftbohrungen** kann zusätzlich Luft strömen, deren Menge an der Pistole einzustellen ist. Diese seitlich auf den Spritzstrahl treffende Luft (Querluftströme) kann den vorher runden Spritzstrahl flach zusammendrücken. Man spricht nun von einem Flachstrahl.

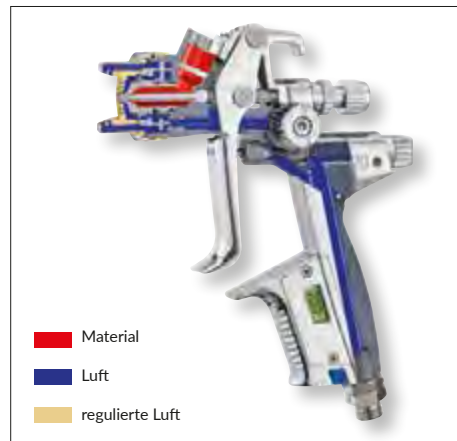


Abbildung 4.1: Schnittbild einer Spritzpistole

Quelle: Fa. SATA

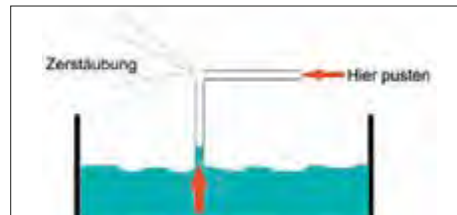


Abbildung 4.2: Versuchsaufbau zum Prinzip der Spritzpistole

**i** Mit der Zuschaltung der Hornluft entstehen Querluftströme, die den Spritzstrahl zusammendrücken. Man spricht von einem Flachstrahl.

# Stichwortverzeichnis

## A

Abbé-Refraktometer _____	229
Abbruchreaktion _____	309
Ablaufen _____	230
Ablaufrakel _____	230
Ablaufwaage _____	231
Abluftreinigungsverfahren _____	179
Abreißmethode _____	223
Absorption _____	251
Absorptionsspektren _____	252
Absorptionsspektrum _____	251
Additive _____	56
Additive, Aufgaben _____	56
Adsorptionsverfahren _____	179
Agglomerate _____	63
Aggregate _____	63
AGW, Arbeitsplatzgrenzwert _____	50
Airless-Spritzen _____	114
Airmix-Spritzen _____	115
Aktivieren _____	171
Alkaliphosphate _____	169
Alterung _____	256
Alterungsprüfungen _____	257
Amine _____	302, 306
Anionen _____	299
Anolytkreislauf _____	125
Antiabsetzmittel _____	57
Antifoulings _____	57
Aräometer _____	224
Arbeitssicherheit _____	279
ATL _____	122, 291
Atom _____	296
Atombindung _____	296, 297
Auftragswirkungsgrad _____	108
Auslaufbecher _____	218
Ausschwimmeffekte _____	153
Außenaufladung _____	292
Automatisierung _____	35

## B

Badkontrolle _____	189
Beflammen _____	93
Beizen (Holz) _____	101
Bénardzellen _____	152
Benetzbarkeit _____	53, 65, 144
Benetzen _____	65, 143
Beschichtung _____	39
Beschichtungsfehler _____	39
Beschichtungsrate _____	108
Beschichtungsstoff _____	38
Beschichtungsstoff, Bestandteile _____	39
Beschichtungsstoffe, Herstellung _____	63
Beschichtungsstoff, umweltfreundlich _____	32, 62
Beta-Rückstreuung _____	236
Bewitterung, im Freien _____	257
Bewitterung, künstlich _____	257
Bewitterungsstation _____	258
Biegeelastizität _____	244
Biegeschwinger. _____	226
Bindemittel _____	41
Bindemittelbedarf _____	54
Biolack _____	38
Biozide _____	58
Blasenbildung _____	260, 266
Blasendruckmethode _____	224
Blaszone _____	166
Bleichen _____	100
Bleistifthärte _____	248
Braun'sche Molekularbewegung _____	221
Brechungsindex _____	229
Brechungsindex _____	255
Brechzahl _____	48
Bürsten _____	87

## C

Carbonsäuren	301
Carbonylgruppe	301
Carboxylatgruppe	306
Chemikalienbeständigkeit	54
Chemische Verbindung	297
Chromatieren	172
Coil Coating	129
Coil-Coating	294
Corona-Aufladung	136
Cosolvenzien	291
cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe	300

## D

Dämpfung	247
Deckvermögen	53, 60, 272
Dehnbarkeit	242
Dialysezelle	187
Dichte	48, 218, 224
Diffusionsgrenzschicht	154
Dilatanz	217
DIN-4-Becher	218
Dipol	237, 303
Dipol, induziert	237
Dipolmoment	304
Dipol, permanent	237
Dispergierbarkeit	53
Dispergieren	66
Dispergiermittel	56
Dispersion	150, 290, 294
Dispersionen	43
Dispersion, wässrig	62, 292
Dissoziation	304
Distinctness of Image (DOI)	251
Doppelbindung	300, 308
Doppelbindungen	149
Dornbiegetest	245
Druckbecherpistole	113
Durchlauftrockner	199
Duomere	147
Duroplaste	91

## E

Eindruckhärte	248
Eindrucklänge	247
Eisenmetalle	84
Eisenphosphatieren	169
Eisenphosphatschlamm	170
Elastizität	240
Elastizitätsmodul	242
Elastomere	91
Elektrolyse von Wasser	124
Elektronenstrahlhärtung	159, 203
Elektroosmose	291
Elektrotauchlacke	62, 291
Elektrotauchlackieren	184
Elektrotauchlackierung	120
Elektrotauchlackierung, anodisch (ATL)	121, 291
Elektrotauchlackierung, kathodisch (KTL)	121, 291
Emaillieren	131
Emission	288
Emmaqua-Gerät	259
E-Modul	242
Emulsionen	43
Entfetten	88
Entharzen	99
Entropie	244
Entropieelastizität	243
Entschäumer	56
Epoxidharze	312
Ergiebigkeit	227
Ericksen-Tiefung	245
Ether	302
Ethylalkohol	301
Exzenterrad	233

## F

Farbe	249
Färbevermögen (Farbton)	53
Farbmetrik	251
Farbmischung, additiv	252
Farbmischung, subtraktiv	252

Farbmittel	39_51
Farbnebelabscheidung	176
Farbstoffe	56
Farbtiefe	253
Farbton	251_253
Farbtonabweichung	273
Fertigungsverfahren	104
Festkörper	226
Filmbildeprozess	153
Filmbildner	41
Filmbildner, Aufgabe	40
Filmbildung	142_143_199
Filterbandsystem	196
Filterpresse	171
Flammpunkt	49_229
Fließband	34
Fließbecherpistole	112
Fließeigenschaften	143
Fließen, laminar	217
Fließgrenze	216
Fließverhalten	213
Flokkulation	64_72_153
Fluidisierbehälter	192
Fluorierung	93
Flüssiglacke, Herstellung	63
Fluten	130
Fluxrate	168
Freibwitterung	258
Füllstoffe	55_56

## G

Gebotszeichen	283
Gefahrensymbol	287
Gefahrstoffe	284
Gel/Sol-Umwandlung	216
Geschwindigkeitsgefälle	213
Gesundheitsgefährdung	50
Gesundheitsschutz	279
GHS	285
Gießverfahren	294
Gitterelektrode	118
Gitterschnittprüfung	239
Glanz	54_249
Glanzhaltung	260

Glanzschleier (Haze)	251
Glanzspitze	251
Glanzverlust	273
Glasübergangstemperatur	243
Goniophotometer	250
Grenzflächenspannung	238
Gummielastizität	243

## H

Haarrisse	270
Haftfestigkeit	42_260_271
Härte	246
Härtung	42_147_153
Härtung, chemisch	147_155
Hautverhütungsmittel	57
Heißapplikation	293
Heißspritzverfahren	115
Helligkeit	253
High-Solids	62_289_294
High Volume Low Pressure-Verfahren (HVLP)	111
Hochdruckspritzen	109
Hochrotationszerstäubung	117
Höchstdruckspritzen	109_114
Hochziehen, Kräuseln	267
Holz	94
Holzfaserverwerkstoffe	97
Holzspanwerkstoffe	96
Holztrocknung	98
Holzwerkstoffe	94
Hooke'sches Gesetz	241
Hornluftbohrungen	110
HVLP	111
Hybridlacke	159
Hydraulisches Spritzen	114
Hydroxylgruppe	301
Hydroxylzahl	228

# I

IG-Uhr _____	234
Impact-Test _____	245
Infrarotstrahlen _____	155, 156
Infrarotstrahlung _____	155
Innenaufladung _____	291
Interferenzen _____	236
Interferenzpigmente _____	254
Ionen _____	298
Ionenbindung _____	298
IR-Strahlen _____	156
IR-Trocknung _____	202
ISO-Becher _____	218

# K

Kältekammer _____	262
Kammertrockner _____	199
Kantenflucht _____	124, 145
Kapillarmethode _____	223
Kapillarströmung _____	217
Kation _____	169, 299
Keilschnittverfahren _____	233
Kennzeichnung _____	50
Keramik _____	103
Kesternich-Test _____	261
Kettenreaktion _____	310
Klebfreiheit _____	231
Koagulatbildung _____	191, 291
Koagulierung _____	124
Kocher _____	266
Kohäsion _____	221
Kohlenstoff _____	299
Kohlenwasserstoffe, aliphatische _____	299
Kohlenwasserstoffe, aromatische _____	301
Kohlenwasserstoffe, zykloliphatische _____	300
Kohlenwasserstoffverbindungen _____	299
Kolbenkompressoren _____	180
Kombikabine _____	175
Kompressoren _____	179
Kondenswasser-Feuchte-Wechseltest _____	261
Kondenswasser-Konstant-Klimatest _____	261

Kondenswasser-Temperatur-Wechseltest _____	261
Kondenswasser-Wechsel-Klimatest _____	261
Konstruktion, beschichtungsgerecht _____	104
Kontrastkarte _____	256
Konvektionstrockner _____	154, 159
Konvektionstrocknung _____	199
Konvektionswärme _____	155
Konversionsschicht _____	169
Koronabehandlung _____	93
Korrosionsbildung _____	261
Korrosionsschutz durch Pigmente _____	54
Korrosionsschutzöle _____	163
Korrosionsschutzprüfungen _____	260
KPVK _____	61
Krater _____	267
Kratzband _____	168
Kratzprüfung _____	240
Kreiden _____	274
Kreidung _____	257, 260
kritische Pigmentvolumenkonzentration (KPVK) _	61
KTL _____	121, 291
Kugelschlagprüfung _____	245
Kugelschlagtest _____	245
Kugelstrahltest _____	240
Kugeltechnik _____	231
Kunstharze _____	43
Kunststoffe _____	90
Kurzbewitterungsgeräte _____	259

# L

Lacke, gelöst _____	151
Lacke, lösemittelfrei _____	45
Lacke, lösemittelverdünnsbar _____	43
Lacke, strahlenhärtend _____	35, 62, 294
Lacke, wasserlöslich _____	290
Lacke, wasserverdünnsbar _____	43
Lackierkabine _____	175
Lackierstraße _____	175
Lackieruntergründe _____	79
Lackierverfahren, elektrostatisch _____	291
Lackschlammaustrag _____	178
Lackrocknung _____	199
Lackverarbeitung _____	162

Läuferbildung _____	268
Laugen _____	306
Legierungen _____	85
Lichtbeständigkeit _____	42
Lichtechtheit _____	53
Lösbarkeit _____	42
Lösemittel _____	39_46
Lösemittelabgabe _____	288
Lösemittel, Aufgaben _____	46
Lösemittelrichtlinie _____	33
Lösemittelverdunstung _____	151
Luftblasen _____	190_191
Luftströme _____	176
LVL _____	112

## M

Magnetfilter _____	168
Magnetismus _____	235
MAK-Werte _____	50
Mattierungsmittel _____	57
Mehrschichtlackierung _____	288
Membrankompressoren _____	180
Membranpumpe _____	168
Messkamm _____	233
Messrad _____	233
Messverfahren, kapazitive _____	235
Metalle _____	83
Metamerie _____	254
Mikrodispersionen _____	293
Mindestfilmbildetemperatur _____	151
Minimalflächen _____	221
Mittelwerte _____	211
Mohs'sche Härte _____	246
Molchsystem _____	181
Molmasse _____	310
Molmassenverteilung _____	310
Monomere _____	307

## N

Nachverbrennung, katalytisch _____	179
Nachverbrennung, regenerativ _____	179
Nachverbrennung, thermisch _____	179
Nadelstiche _____	269
Nanotechnologie _____	33
Nassabscheidung _____	177
Nassfilmdicke _____	233
Naturharze _____	43
Naturöle _____	43
Netzmittel _____	56
Neutralisation _____	307
Neutralisationsmittel _____	291
Newton'sche Flüssigkeiten _____	214
Newton'sches 2-Plattenmodell _____	213
Nichteisenmetalle _____	84
Nichtflüchtige Anteile (nfA) _____	226
Niederdruckspritzen _____	109
NIR-Strahler _____	158

## O

Oberflächenspannung _____	143_163_205_220
Ölabscheidung _____	168
Öl- und Wasserabscheider _____	181
Orangenhaut _____	268
Orange Peel _____	268
Overspray _____	291

## P

Paint-Inspection-Gauge _____	233
Passivieren _____	172
Pastensysteme _____	60
Pendeldämpfung _____	249
Perlglanzpigmente _____	254
Permeat _____	188
Phosphatieren _____	144_169

pH-Wert _____	304
physikalische Trocknung _____	146
Pickel, durch Staubeinschlüsse _____	269
Pigmentanteil _____	52
Pigmentbenetzung _____	65
Pigmente _____	51
Pigmente, Aufgaben _____	52
Pigmente, Korrosionsschutz _____	54
Pigmente, Reinheit _____	54
Pigmente, Unterteilung _____	51
Pigmentverträglichkeit _____	42
Pigmentvolumenkonzentration (PVK) _____	60
Plasmabehandlung _____	93
Plasmaspritzen _____	132
Plasmavorbehandlung _____	33
Platte-Kegel-Viskosimeter _____	220
Polarität _____	150, 220, 290, 303
Polieren _____	87
Polyaddition _____	148, 312
Polyethylen _____	309
Polyisocyanate _____	312
Polykondensation _____	148, 149, 311
Polymere _____	307
Polymerisation _____	149, 307
Polyvinylverbindungen _____	309
Poren füllen _____	100
Profilograph _____	234, 251
Pulverbeschichten _____	192
Pulverbeschichten, elektrostatisch _____	135
Pulverbeschichtung _____	135
Pulverbeschichtungskabine _____	192
Pulver, fluidisiert _____	139
Pulverlacke __ 35, 45, 63, 135, 145, 147, 293, 294	
Pulverlacke, Herstellung _____	75
Pulversprühdüsen _____	194
PVK _____	60
Pyknometer _____	224

## Q

Qualität _____	232, 288
Qualitätssicherung _____	210
Qualitäts- und Prozesssicherung _____	35
Querschliiff _____	234

## R

Radierprüfung _____	240
Radikale _____	148, 149, 308
Rakeln _____	129
Randwinkel _____	238
Reaktivverdünner _____	147
Reflektometer _____	249
Reibung, innere _____	214
Reibungsaufladung _____	137
Relaxation _____	242
Retardation _____	242
Rettungszeichen _____	284
Rheologie _____	213
Rheopexie _____	217
Ringleitungssystem _____	181
Ritzhärte _____	248
Roboterlackierung _____	32
Rollen _____	129
Röntgenfluoreszenz _____	236
Rostflecken _____	272
Rotationsbeschichtung _____	130
Rotationsverdichter _____	180
Rotationsviskosimeter _____	219
Rub-Out-Test _____	72, 153
Ruheviskosität _____	215
Runzelbildung _____	270

## S

Salzsprühtest _____	261
Saugbecherpistole _____	113
Säurezahl _____	228
Schältest _____	240
Schergefälle _____	213
Scherung _____	217, 241
Schichtdicke _____	144, 154, 155
Schlagelastizität _____	245
Schlammablagerung _____	171
Schleifen _____	85
Schleifen (Holz) _____	99
Schleifspuren _____	271
Schraubenkompressoren _____	180

Schubspannung _____	213
Schwitzwassertest _____	261
Sicherheitskennzeichnungen _____	281
Siedepunkt _____	49
Sikkative (Trockenstoffe) _____	57
Slurries _____	293
Spachteln (Holz) _____	100
Spaltströmungen _____	217
Sperrholz oder Lagenholz _____	95
Spin-Coating _____	130
Spritzapplikation _____	175
Spritz-Vorbehandlung _____	165
Spritzzonen _____	167
Stabilisatoren _____	57
Stabilisierung _____	292
Stabilisierungshülle _____	150
Startreaktion _____	308
Staubeinschlüsse _____	269
Staubtrocknung _____	231
Stirnabzug _____	239
Stoffaustausch _____	154, 155
Stoffstrom _____	154
Strahlen _____	86
Strahlentrocknung _____	202
Streichen _____	129
Strukturviskosität _____	214
Suspensionen _____	43

## T

tandardabweichung _____	211
Tauchen, konventionell _____	118
Tauchkugel _____	224
Tauchverfahren _____	118
Tauch-Vorbehandlung _____	166
Tenside _____	165
Testtinten _____	239
Thermoplaste _____	91
Thixotropie _____	215
Tiefungsprüfung _____	245
Topfzeit _____	148, 312
Transportsystem _____	175
Triboaufladung _____	137
Trockenabscheidung _____	177
Trockenfilmdicke _____	233

Trockenstoffe (Sikkative) _____	57
Trocknung, physikalische _____	146, 150, 154
Trocknungsfähigkeit _____	42
Trocknungsgrad _____	232
Trocknungszeiten _____	231
Trommelverfahren _____	130
Tropfengebirge _____	143
Twist-o-meter _____	239

## U

Übertragungsrate _____	108
Ultrafiltration _____	168, 188
Ultraschallinterferenz _____	236
Umgriff _____	121
Umweltschutz _____	278
Umweltechnologien _____	35
Unterwanderung _____	261
UV-Absorber _____	57
UV-Härtung _____	203
UV-Strahlung _____	159

## V

Vakuumlackieren _____	130
Van-der-Waals-Kräfte _____	220, 237
Verbotszeichen _____	282
Verbundplatten _____	96
Verdickungsmittel _____	57
Verdünnbarkeit _____	42
Verdünnungsmittel _____	46
Verdunstungsprozess _____	151
Verdunstungszahl _____	49, 228
Verlauf _____	249
Verlaufen _____	143, 230
Verlaufsmittel _____	57
Verlaufs rakel _____	230
Vermattung _____	273
Versprödung _____	260
Verträglichkeit _____	54
Vertrauensbereich _____	211

VE-Wasser _____	171, 188
Viskoelastizität _____	242
Viskosität _____	120, 145, 212
Viskosität, dynamisch _____	214
Viskosität, kinematisch _____	218
Viskosität, Newton'sche _____	213
Volumenschrumpf _____	152
Vorbehandlung _____	162
Vorbehandlung, chemisch _____	87
Vorbehandlung, elektrochemisch _____	89
Vorbehandlung, physikalisch _____	85
Vorbehandlung, physiko-chemisch _____	87
Vorbehandlung von Holz und Holzwerkstoffoberflächen _____	98
Vorbehandlung von Kunststoffoberflächen _____	91
Vorbehandlung von Metalloberflächen _____	85

## W

Wachstumsreaktion _____	309
Walzverfahren _____	294
Wärmeleitung _____	159
Wärmetauscher _____	166, 172
Wärmetrockner _____	199
Wärmeübergang _____	155
Warnzeichen _____	282
Wasserlacke _____	35, 62, 290, 294
Wasserlöslichkeit _____	305, 306
Wässern _____	99
Wasserstoffbrückenbindungen _____	215
Weather-o-meter _____	260
Wechselfiltersystem _____	196
Weichmacher _____	57
Werkstoffeigenschaften _____	79
Wetterbeständigkeit _____	54, 257
Wirbelsintern _____	139
Wirbelstromverfahren _____	235
Witterungsbeständigkeit _____	42, 54
Wolkenbildung _____	274

## X

Xenonstrahler _____	259
---------------------	-----

## Y

Young-Dupré'sche Gleichung _____	238
----------------------------------	-----

## Z

Zentrifugalabscheidung _____	168
Zentrifugieren _____	130
Zerstäuberluft _____	110
Zinkphosphatieren _____	170
Zusatzstoffe (Additive) _____	56
Zyklonsystem _____	196
Zylinderviskosimeter _____	220

# Erklärung wichtiger lacktechnischer Begriffe

**Abdunsten:** ist der Übergang von flüchtigen Lackbestandteilen (z. B. Lösemitteln) in den Dampfraum unterhalb ihres Siedepunkts

**Abfallverwertung:** Maßnahmen, die dazu dienen, im Abfall enthaltene Wertstoffe bzw. Energiepotenziale zu verwerten

**Abluftreinigung:** Befreien der Trockner- und Spritzkabinenabluft von Lösemitteln und Spaltprodukten durch Adsorbieren oder Verbrennen

**Additiv:** Zusatzstoffe für Beschichtungsstoffe, um das Eigenschaftsbild gezielt zu beeinflussen (z. B. Verlaufsmittel, Antiabsetzmittel, UV-Absorber)

**Adhäsion:** Haftfestigkeit zwischen zwei Stoffen

**Agglomerat:** lockere Zusammenballung von Primärkörnern; können mittels Dispergieren getrennt werden

**Aggregat:** feste Zusammenballung von Primärkörnern, nicht trennbar

**AGW-Wert:** Der Arbeitsplatzgrenzwert ist der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum, ohne, dass schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit zu erwarten sind

**Airless-Zerstäuben:** Versprühen von Flüssiglacken ohne Zuhilfenahme von beschleunigter Luft; Zerstäubung erfolgt allein durch hohe Materialdrücke bei gleichzeitig feinen Düsen

**Alterung:** Veränderung des Eigenschaftsbildes von Lackierungen durch den Einfluss von Wetter, Chemikalien und Wärme

**Anolytkreislauf:** verfahrenstechnische Methode bei der kathodischen Elektrotacklackierung zum Entfernen überschüssigen Neutralisationsmittels

**Applikationsverfahren:** Auftragsverfahren von Beschichtungsstoffen

**Atom:** Grundbausteine von Molekülen

**Atombindung:** chemische Verknüpfung von Atomen

**ATL:** anodisches Elektrotacklackieren

**Auftragswirkungsgrad:** das prozentuale Verhältnis zwischen dem auf einer Oberfläche abgeschiedenen und dem verspritzten Festkörperanteil eines Beschichtungsmaterials (AWG)

**Ausschwimmen:** eine Trennung von Pigmentmischungen aufgrund ihrer unterschiedlichen Pigmentbeweglichkeit

**Außenaufladung:** elektrische Aufladung von Lacken durch ionisierte Luft nach der Zerstäubung



**Dr. Uta Schumacher** studierte Chemie und Chemietechnik an der Universität Paderborn mit anschließender Promotion im Fach *Analytische Chemie*. Sie arbeitete von 2004 bis 2014 als Lehrerin für die Ausbildungsberufe *Verfahrensmechaniker für Beschichtungstechnik*, *Fahrzeugaackierer* und *Chemisch-technischer Assistent* am Berufskolleg Senne in Bielefeld. Weiterhin kann sie auf langjährige Erfahrung als ö.b.u.v.-Sachverständige für Lacke verweisen. Seit 2014 ist sie für die Firma HDO Druckguss- und Oberflächentechnik GmbH in Paderborn, zunächst in die Produktionstechnik und seit 2016 im Innovationsmanagement tätig.



**Thomas Feist** ist Oberstudienrat am Adolph-Kolping-Berufskolleg in Münster und gilt als einer der Wegbereiter für den Bildungsgang *Verfahrensmechaniker (innen) für Beschichtungstechnik* in Deutschland. In den Folgejahren war er darüber hinaus Ideengeber und Initiator der Fachschule Farb- und Lacktechnik mit dem Schwerpunkt *Industrielle Beschichtung* an seiner Schule und hat den Lehrplan für das Land Nordrhein-Westfalen maßgeblich mit gestaltet. Vielen Berufsschullehrern, Prüfern und Branchenkennern ist er bekannt als Initiator der Fachgruppe in diesem Berufsfeld, als Prüfungsausschussvorsitzender und langjähriges Vorstandsmitglied der EGL.



**Dennis Lehmann** studierte Bauwesen mit dem Abschluss als Diplomingenieur sowie anschließend Berufspädagogik an der TU Dresden. Seit 1990 lehrte er an verschiedenen berufsbildenden Einrichtungen. 1995 wechselte er als Fachlehrer an die Europaschule Oberstufenzentrum Oder-Spree in Fürstenwalde und ist dort Bereichsleiter für den Bildungsgang *Verfahrensmechaniker/in für Beschichtungstechnik*. Für diesen Ausbildungsberuf ist er auch in den Prüfungsausschüssen der IHK Schwerin und Potsdam tätig.

ISBN 978-3-86630-713-1



**VINCENZ**  
Wir entwickeln Fachwissen

