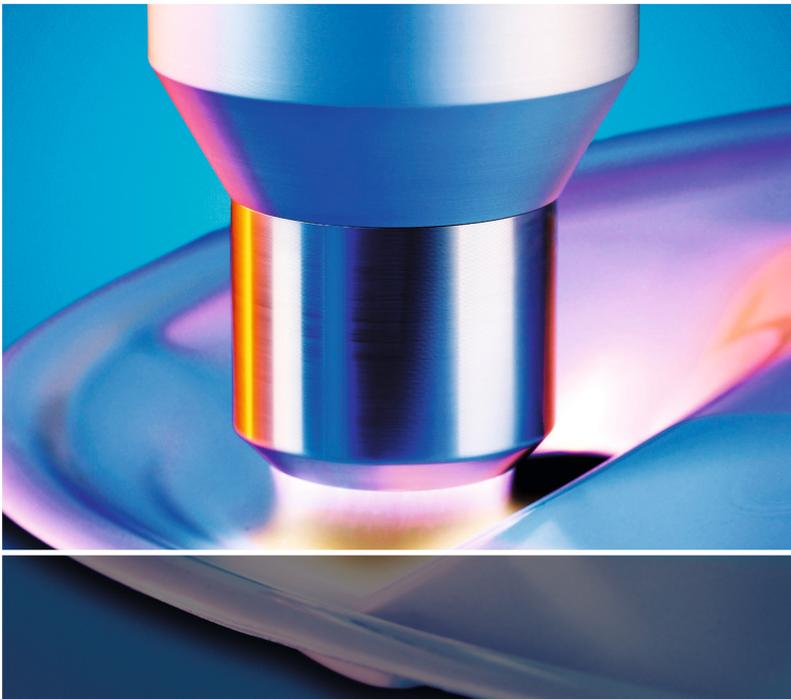


Markus Lake

Oberflächentechnik in der Kunststoffverarbeitung

Vorbehandeln, Beschichten, Bedrucken, Funktionalisieren, Prüfen



2., aktualisierte Auflage

HANSER



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

Exklusiv: Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!

Informativ: News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

Kunststoffe.de

Markus Lake

Oberflächentechnik in der Kunststoffverarbeitung

Vorbehandeln, Beschichten, Bedrucken,
Funktionalisieren, Prüfen

2., aktualisierte Auflage

HANSER

Der Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Markus K. Lake, Hochschule Niederrhein, Reinarzstraße 49, 47805 Krefeld

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2016 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Herstellung: Jörg Strohbach

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Coverbild: Mit freundlicher Genehmigung von Plasmatrete GmbH

Satz: Manuela Treindl, Fürth

Druck und Bindung: Hubert & Co GmbH, Göttingen

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-44675-5

E-Book-ISBN: 978-3-446-44949-7

Vorwort zur 2. Auflage

Die erste Auflage des Buches wurde in der Fachwelt sehr positiv aufgenommen, was vermutlich damit zusammenhing, dass es bis dato kein vergleichbares Werk zum Thema „Oberflächentechnik in der Kunststoffverarbeitung“ gab. Der Aufbau und der Grundgedanke zur Gliederung der einzelnen Kapitel wurden auch in der zweiten Auflage beibehalten, wodurch dieses Buch für den erfahrenen Praktiker als auch für den Einsteiger interessant ist. Am Lehr- und Forschungsgebiet „Produktionstechnik und Beschichtungsverfahren“ der Hochschule Niederrhein wird dieses Fachbuch in der Lehre und Ausbildung von Bachelorstudierenden mit dem Schwerpunkt „Produktionstechnik“ und Masterstudierenden der Fachrichtung „Oberflächentechnik“ mit großem Erfolg eingesetzt. Eine wesentliche Neuerung besteht darin, dass dieses Fachbuch erstmalig zusätzlich mit einer elektronischen Version (E-Book Inside) ausgestattet wird. Die farbigen Darstellungen und Abbildungen werden über ein downloadbares E-Book bereitgestellt.

Mein Dank an dieser Stelle gilt den Autorinnen und Autoren, die mit ihrem fundierten Wissen die zweite Auflage des Fachbuches inhaltlich mit Leben gefüllt und praxisnah gestaltet haben.

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei meiner Lektorin Frau Wittmann vom Carl Hanser-Verlag bedanken, die mit stetem Interesse und ebenso viel Geduld den Fortschritt des Buches verfolgt hat. Ferner möchte ich auch Herrn Strohbach danken, der wesentlich zur Herstellung der zweiten Ausgabe beigetragen hat.

Markus Lake

Krefeld, Juni 2016

Vorwort zur 1. Auflage

Die Oberflächen von Kunststoffprodukten werden vielfach durch nachgeschaltete Prozessschritte modifiziert und veredelt, um definierte Eigenschaften und Funktionen einzustellen. Beispiele hierfür sind das Lackieren von Komponenten im Fahrzeugbau, das Bedrucken und Etikettieren von Verpackungen, das Laserbeschriften von Computertastaturen, die Beschichtungstechnik für das Aufbringen von Verschleißschutz- und Barrierschichten bis hin zum Beflocken von Bauteilen zur Verbesserung der Reibeigenschaften. Hierbei stellt die Oberflächentechnik Werkzeuge und Prozesse bereit, um Komponenten und Produkte aus Kunststoff für die spätere Anwendung zu funktionalisieren und zu veredeln. Aufgrund der vielfältigen Fragestellungen aus den unterschiedlichen Bereichen, z. B. der Kunststofftechnik, der Vorbehandlung, der Applikations- und Prüftechnik, kann die Oberflächentechnik als ein interdisziplinäres Arbeitsgebiet angesehen werden. Die Einzelschritte zur Behandlung von Kunststoffoberflächen müssen in der Abfolge wohl durchdacht und differenziert aufeinander abgestimmt werden, um die gewünschten Oberflächeneigenschaften am Endprodukt abzubilden. So kann es beispielsweise unabdingbar sein, vor der Lackierung oder dem Aufbringen von Klebetiketten die Kunststoffoberfläche durch geeignete Vorbehandlungsprozesse vorzubereiten, damit eine ausreichende Haftung der Lackschicht oder des Labels sichergestellt wird.

In dem Fachbuch werden industriell etablierte Verfahren der Oberflächentechnik, z. B. die Vorbehandlung, die Lackier- und Drucktechnik, das Aufkleben und Etikettieren, das Laserbeschriften, die Dünnschichttechnik, das Beflocken, die Oberflächenstrukturierung bis hin zum Folienhinterspritzen sowie die verfahrensspezifische Prüftechnik grundlegend beschrieben und vorgestellt. Ausgehend von einer Betrachtung der verfahrenstechnischen Besonderheiten werden Vor- und Nachteile im Hinblick auf kunststofftechnische Anwendung diskutiert und die Einsatzgrenzen aufgezeigt. Zahlreiche Praxisbeispiele weisen die Möglichkeiten der verschiedenen Oberflächentechniken auf und vermitteln dem Leser einen Eindruck über die Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten. Der Aufbau der einzelnen Kapitel orientiert sich an dem Grundsatz „vom Allgemeinen zum Speziellen“, sodass die Leser in die Lage versetzt werden, hinsichtlich der verschiedenen Verfahren der Oberflächen-

technik zu differenzieren und das für ihren speziellen Anwendungsfall am besten geeignete Verfahren auszuwählen.

Bedanken möchte ich mich bei den Autorinnen und Autoren, die mit ihrem fundierten Praxiswissen das Fachbuch inhaltlich mit Leben gefüllt und selbst hochkomplexe Sachverhalte gut verständlich aufbereitet und somit zu einem guten Verständnis beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt meiner Lektorin Frau Monika Stüve, die mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand sowie Frau Christine Strohm und Herrn Steffen Jörg vom Carl Hanser Verlag. Frau Birgit Nauland danke ich ganz herzlich für die sehr gewissenhafte Durchführung der Korrekturarbeiten und für die tatkräftige Unterstützung bei der organisatorischen Abwicklung.

Markus Lake

Würzburg, Oktober 2009

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Die Autoren	XXIII
Kurzzeichen von Kunststoffen	XXV
1 Einleitung und Einführung in die Oberflächentechnik	1
2 Reinigung und Aktivierung	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Grundlagen zu Benetzung und Oberflächenenergie	4
2.3 Reinigungsverfahren	8
2.3.1 Manuelle Reinigung	8
2.3.2 Mechanische Reinigung	9
2.3.3 Schwertbürstenreinigung	10
2.3.4 Ionisation	15
2.3.5 Trockeneisreinigung	19
2.3.6 Laserreinigung	22
2.3.7 Nasschemische Reinigung	27
2.4 Aktivierungsverfahren	29
2.4.1 Beflammung	30
2.4.2 Corona-Behandlung	34
2.4.2.1 Direkte Coronaentladung	35
2.4.2.2 Indirekte Coronaentladung	36
2.4.3 VUV-Vorbehandlung	41
2.4.4 Plasmatechnologie	45
2.4.4.1 Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma)	45
2.4.4.2 Niederdruckplasma (ND-Plasma)	49
2.4.4.2.1 Plasmamodifizierung/-aktivierung	50

2.4.4.2.2	Plasmareinigung	50
2.4.4.2.3	Beschichtung im Niederdruckplasma (Plasmapolymerisation)	50
2.4.4.2.4	Plasmaätzen	51
2.4.5	Fluorierung	54
2.5	Schlussbetrachtung	57
	Literatur zu Kapitel 2	58

3 Beschichtungstechnik 61

3.1	Einleitung	61
3.2	Galvanisieren von Kunststoffen	62
3.2.1	Verfahrensschritte	63
3.2.1.1	Beizen	64
3.2.1.2	Reduzieren	65
3.2.1.3	Aktivieren und Beschleunigen	65
3.2.1.4	Chemische Metallisierung	66
3.2.1.5	Elektrolytische Galvanisierung	67
3.2.1.5.1	Vornickel	68
3.2.1.5.2	Kupfer	69
3.2.1.5.3	Nickel	69
3.2.1.5.4	Chrom	70
3.2.2	Spezielle Aspekte	71
3.2.2.1	Partielle Galvanisierung	71
3.2.2.2	Ausschussproblematik	72
3.2.2.3	Kunststoff- und galvanisiergerechte Konstruktion	73
3.2.2.3.1	Scharfe Ecken und Kanten	74
3.2.2.3.2	Gestellaufnahme und Kontaktierungsstellen	75
3.2.2.3.3	Sacklöcher und Hinterschneidungen	75
3.2.2.3.4	Nuten, Schlitze und Bohrungen	75
3.2.2.3.5	Große und ebene Flächen	76
3.2.2.3.6	Anschnittposition	76
3.2.2.3.7	Vorteile	76
3.2.2.3.8	Nachteile	76
3.2.3	Prüftechnik	77
3.2.4	Verarbeitbare Kunststoffe	78
3.2.4.1	Acrylnitril-Butadien-Styrol	78
3.2.4.2	Polyamid	79
3.2.4.3	Polypropylen	81
3.2.4.4	Weitere Kunststoffe	82
3.2.5	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele	82
3.3	Physikalische Dampfphasenabscheidung (Physical-Vapor-Deposition)	86

3.3.1	Verhalten der Kunststoffe im Vakuum	88
3.3.2	Reinigung und Vorbehandlung	89
3.3.3	Thermisches Verdampfen	92
3.3.3.1	Direkte Widerstandsbeheizung	92
3.3.3.2	Indirekt beheizte Quellen	94
3.3.4	Elektronenstrahlverdampfen	95
3.3.5	Hochleistungs-Kathodenzerstäuben	97
3.3.6	Anlagentechnik und Bauteilbestückung.	99
3.3.7	Anwendungsbeispiele.	103
3.3.7.1	Bedampfung von Bahnware	103
3.3.7.1.1	Anwendungen auf Kunststofffolien	104
3.3.7.1.1.1	Antistatische Verpackungen.	104
3.3.7.1.1.2	Kondensatorfolien	105
3.3.7.1.1.3	Lebensmittelverpackung.	105
3.3.7.2	Optische und dekorative Schichten	106
3.3.7.3	Schichten für Elektronik und Elektrotechnik.	112
3.3.7.3.1	Abschirmschichten	112
3.3.7.3.2	Aluminium-Abschirmschichten	113
3.3.7.3.3	Kupfer-Abschirmschichten	115
3.3.7.3.4	Ableitung von Ladungen.	116
3.4	Thermisches Spritzen	117
3.4.1	Flamecon-Verfahren	117
3.5	Lackiertechnik.	119
3.5.1	Lacksysteme	120
3.5.1.1	Klassifizierung und Aufgaben der Lacksysteme	121
3.5.1.1.1	Grundlack.	121
3.5.1.1.2	Zwischenlack	121
3.5.1.1.3	Decklack	121
3.5.1.2	Einteilung nach Farbe und Effekt.	122
3.5.1.3	Typische Lackaufbauten für die Kunststofflackierung	122
3.5.1.4	Zusammensetzung der Lacksysteme.	124
3.5.1.4.1	Bindemittel.	125
3.5.1.4.2	Lösemittel	125
3.5.1.4.3	Pigmente, Farbstoffe und Effektmittel.	126
3.5.1.4.4	Additive.	127
3.5.1.5	Filmbildungsprozess und Reaktionsmechanismen	127
3.5.1.5.1	Polyaddition	128
3.5.1.5.2	Polykondensation.	129
3.5.1.6	Wirtschaftlichkeit von Lacksystemen	130
3.5.2	Applikationstechnik	130
3.5.2.1	Applikationsverfahren	131

3.5.2.1.1	Direkte Applikationsverfahren.....	131
3.5.2.1.1.1	Tauchen.....	131
3.5.2.1.1.2	Fluten.....	132
3.5.2.1.1.3	Rakeln.....	132
3.5.2.1.2	Indirekte Applikationsverfahren.....	132
3.5.2.1.2.1	Sprüh-/Spritzapplikation.....	133
3.5.2.1.2.2	Airlesszerstäuben.....	133
3.5.2.1.2.3	Pneumatisches Zerstäuben.....	133
3.5.2.1.2.4	Hochrotationszerstäubung.....	134
3.5.2.1.2.5	Hochrotationszerstäubung mit elektrostatischer Unterstützung.....	135
3.5.2.2	Charakteristik und Einflüsse des Spritz-/Sprühstrahls	138
3.5.2.2.1	Pneumatischer Spritz-/Sprühstrahl.....	138
3.5.2.2.2	Hochrotationszerstäubter Spritz-/Sprühstrahl.....	140
3.5.2.3	Weitere Einflussfaktoren auf das Lackierergebnis.....	141
3.5.2.4	Machbarkeitsanalyse von Oberflächenqualitäten.....	143
3.5.2.5	Methoden zur Optimierung der Oberflächenqualität..	144
3.5.2.6	Entwicklungsarbeiten.....	146
3.5.3	Anwendungen.....	148
3.5.3.1	Automobilindustrie Pkw.....	149
3.5.3.1.1	Außenteile.....	150
3.5.3.1.2	Innenteile.....	151
3.5.3.1.3	Motorraumkomponenten und Aggregate.....	152
3.5.3.1.4	Karosseriebauteile (Thermoplastische Werkstoffe)....	153
3.5.3.1.4.1	Karosseriebauteile, Heckdeckel, Kofferraumdeckel und Dachmodule (Duomere Werkstoffe).....	155
3.5.3.1.5	Antennendachmodul (Thermoplast-Duomer- Kombination).....	155
3.5.3.1.6	Carbonfaser-Sichtoptik.....	157
3.5.3.1.7	Glasersatz und Automotive-Glazing.....	158
3.5.3.2	Nutzfahrzeugindustrie.....	159
3.5.4	Gründe für die Lackierung von Kunststoffen.....	160
3.5.4.1	Schutzwirkung und Protektion.....	161
3.5.4.2	Aussehen, Optik und Dekoration.....	162
3.5.4.3	Besondere Funktionen und spezielle Eigenschaften..	162
3.5.5	Lackeigenschaften.....	163
3.5.6	Lackentwicklung.....	164
3.5.6.1	Reduzierung der Zahl der Schichten.....	164
3.5.6.2	Niedrigere Schichtdicken der Einzelschichten.....	165
3.5.6.3	Schnellere Trocknung.....	165
3.5.6.4	Wirtschaftlichere Applikationen.....	166

3.5.6.5	Standardisierung zu Einheitsprodukten	166
3.5.6.6	Neue Produkttechnologien	166
3.5.6.7	Neue Applikationstechniken	167
3.5.7	Spezifikationen, Fehlersuche, Fehleranalyse und Fehlerbilder ...	167
3.5.7.1	Spezifikationen	167
3.5.7.2	Fehlersuche und Fehleranalyse	169
3.5.7.3	Kategorisierung von Fehlerbildern	170
3.5.7.3.1	Blasen	171
3.5.7.3.2	Fasereinschluss	173
3.5.7.3.3	Fremdpartikeleinschluss	173
3.5.7.3.4	Substratfehler	174
3.5.7.3.5	Krater	174
3.5.7.3.6	Rückstand auf Substrat	175
3.5.7.3.7	Härterhaut	175
3.5.7.3.8	Lackhaftfestigkeitsschaden nach HDW-Test DIN 55662	176
3.5.7.3.9	Fehlstellen nach Bewitterung	177
3.5.7.3.10	Pilzbefall	178
Literatur zu Kapitel 3		179
4	Drucktechnik	183
4.1	Einleitung	183
4.2	Siebdruck	186
4.2.1	Verfahren	186
4.2.1.1	Grafischer Siebdruck	187
4.2.1.2	Industriesiebdruck	188
4.2.1.3	Schaltungsdruck	188
4.2.1.4	Glasbedruckung und Beschichtungen	188
4.2.1.5	Bedruckung von Formteilen und Spezialdrucke	188
4.2.1.6	Textil-Siebdruck	189
4.2.2	Siebdruckform	189
4.2.2.1	Siebdruckrahmen	189
4.2.2.2	Schablonenträger	190
4.2.2.3	Kennzeichnung und Geometrie des Schablonenträgers	192
4.2.2.4	Bindeart	193
4.2.2.5	Gewebegeometrie	193
4.2.2.6	Spannen des Schablonenträgers	195
4.2.2.7	Schablonenherstellung	197
4.2.2.7.1	Gewebevorbehandlung	198
4.2.2.7.2	Schablonenherstellungsverfahren	198
4.2.2.7.3	Fotomechanische Verfahren	198

4.2.2.7.4	Direktschablonen	199
4.2.2.7.5	Direktfilm/Kapillarfilm	201
4.2.2.7.6	Indirektschablone	202
4.2.2.7.7	Galvanische- und Laserverfahren	202
4.2.2.8	Bebilderung der Siebdruckform	203
4.2.2.8.1	Kontaktkopie	203
4.2.2.8.2	Projektionsbelichtung	205
4.2.2.8.3	Filmlose Bebilderung Computer-to-Screen	206
4.2.3	Druckvorgang	207
4.2.3.1	Rakel	207
4.2.3.2	Hauptdruckprinzipien	209
4.2.3.2.1	Flachbett-Siebdruck	209
4.2.3.2.2	Flachform-Zylindersiebdruck	211
4.2.3.2.3	Rotationsiebdruck	211
4.2.3.2.4	Rund- und Körpersiebdruck	213
4.2.4	Trocknung	213
4.2.5	Ausblick	213
4.3	Flexodruck	214
4.3.1	Bauweisen von Flexodruckmaschinen	215
4.3.1.1	Zentralzylinderdruckmaschinen	215
4.3.1.2	Reihenflexodruckmaschinen	216
4.3.1.3	Bogenflexodruckmaschinen	217
4.3.2	Aufbau und Herstellung von Flexodruckformen	218
4.3.2.1	Fotopolymere Flexodruckformen	219
4.3.2.2	Direktgravur	221
4.3.3	Druckbildlängenänderung und die erforderliche Verkürzung	222
4.3.4	Handling und Vorbereitung für die Montage und den Druck	222
4.3.4.1	Druckwerk	224
4.3.4.2	Druckformsleeve und Druckformzylinder	224
4.3.4.3	Rasterwalzensleeve, Rasterwalze und Rakelsystem	227
4.3.5	Besonderheiten beim Rüsten der Druckmaschine	231
4.3.6	Einsatz von Flexodruckmaschinen in der Druckindustrie	232
4.4	Offsetdruck	233
4.4.1	Offsetdruckform und Herstellungsprozess	234
4.4.1.1	Druckwerk – Komponenten Druckplatten-, Gummituch- und Gegendruckzylinder	237
4.4.1.2	Druckwerk – Komponente Farbwerk und unterschiedliche Varianten	238
4.4.1.3	Druckwerk – Komponente Feuchtwerk	242
4.4.2	Maschinenbauweisen	244
4.4.2.1	Bogenoffsetdruckmaschinen in Reihenbauweise	244

4.4.2.2	Bogenoffsetdruckmaschinen in Fünf-Zylinder- und Satellitenbauweise	245
4.4.2.3	Rollenoffsetdruckmaschinen	246
4.4.2.4	Heat-Set-Rollenoffsetdruck	246
4.4.2.5	Zeitungsrotationen (Coldset)	247
4.4.3	Anwendung des Offsetdrucks	248
4.5	Tiefdruck	248
4.5.1	Einsatzgebiete	250
4.5.2	Aufbau der Tiefdruckform	251
4.5.2.1	Dünnschichtverfahren.	253
4.5.2.2	Ballardhautverfahren	253
4.5.2.3	Dickschichtverfahren	253
4.5.3	Herstellung der Tiefdruckform	254
4.5.3.1	Elektromechanische Gravur	255
4.5.3.2	Laser-Ätz-Verfahren.	259
4.5.3.3	Lasergravur	262
4.5.4	Tiefdruckfarbe.	265
4.5.5	Tiefdruckmaschinen.	266
4.5.5.1	Trocknung	268
4.5.5.2	Schön- und Widerdruck	269
4.5.5.3	Automatischer Rollenwechsel.	270
4.5.5.4	Elektrostatische Druckunterstützung (ESA).	271
4.6	Digitaldruck.	272
4.6.1	Kategorien des Digitaldrucks	272
4.6.2	Einsatzgebiete	274
4.6.3	Datenaufbereitung für den Digitaldruck	275
4.6.3.1	Raster Image Processor.	275
4.6.3.2	Raster	275
4.6.4	Elektrofotografie	277
4.6.4.1	Druckprozess	277
4.6.4.1.1	Aufladung	277
4.6.4.1.2	Belichtung.	277
4.6.4.1.3	Entwicklung	277
4.6.4.1.4	Farbübertragung	278
4.6.4.1.5	Tonerfixierung.	278
4.6.4.1.6	Reinigung	278
4.6.4.2	Systemkomponenten	279
4.6.4.2.1	Fotoleiter.	279
4.6.4.2.2	Bebilderungseinheit	280
4.6.4.2.2.1	Aufladungseinheit	280
4.6.4.2.2.2	Zeichengenerator	281

4.6.4.2.3	Entwicklungseinheit und Toner	281
4.6.4.2.4	Tonerfixiereinheit	283
4.6.4.3	Maschinenkonzepte	283
4.6.4.4	Einsatzgebiete	284
4.6.5	Magnetografie	284
4.6.5.1	Druckprozess	284
4.6.5.1.1	Bebilderung	285
4.6.5.1.2	Entwicklung	285
4.6.5.1.3	Retouching	285
4.6.5.1.4	Farbübertragung	285
4.6.5.1.5	Fixierung	286
4.6.5.1.6	Reinigung	286
4.6.5.1.7	Löschen der Trommel	286
4.6.5.2	Maschinenkomponenten	286
4.6.5.2.1	Bebilderungstrommel	286
4.6.5.2.2	Bebilderungseinheit	286
4.6.5.2.3	Toner	286
4.6.5.2.4	Fixierungseinheit	287
4.6.6	Thermografie	287
4.6.6.1	Direkte Thermografie	287
4.6.6.2	Transferthermografie	288
4.6.6.2.1	Thermotransfer	288
4.6.6.2.2	Thermosublimation	289
4.6.6.3	Maschinenkomponenten	290
4.6.6.3.1	Farbträgerband	290
4.6.6.3.2	Bebilderungseinheit	291
4.6.6.4	Einsatzgebiete	291
4.6.7	InkJet	292
4.6.7.1	Continuous-InkJet-Technologie	294
4.6.7.1.1	Binary-Deflecting	294
4.6.7.1.2	Multi-Deflecting	295
4.6.7.2	Drop-on-Demand-Technologie	295
4.6.7.2.1	Thermoelektrische Tintendruckwerke (Bubble-Jet)	295
4.6.7.2.2	Piezo-InkJet	296
4.6.7.3	Verdruckstoffe	297
4.6.7.4	Maschinenkonzepte	298
4.6.7.4.1	InkJet-Arrays	298
4.6.7.4.2	Oszillierende oder stationäre Drucksysteme	298
4.6.7.5	Einsatzgebiete	299
4.7	Tampondruck	301
4.7.1	Druckform	302

4.7.1.1	Klischeetypen	302
4.7.1.2	Kunststoffklischee	303
4.7.1.3	Band- und Dünnstahlklischee	304
4.7.1.4	Stahlklischees	305
4.7.1.5	Keramikklichees	305
4.7.1.6	Laser-Klischee	306
4.7.2	Rasterung im Tampondruck	306
4.7.3	Stanzung und Lochung	307
4.7.4	Klischeetiefe	307
4.7.5	Tampon	307
4.7.5.1	Herstellung	308
4.7.5.2	Tamponeigenschaften	308
4.7.5.3	Tamponform	308
4.7.5.4	Tamponhärte	309
4.7.5.5	Tamponvolumen	309
4.7.6	Druckvorgang	309
4.7.7	Druckfarben	311
4.7.8	Maschinentechnik	311
4.7.8.1	Farbsystem	311
4.7.8.1.1	Offenes System	311
4.7.8.1.2	Geschlossene Systeme	313
4.7.8.2	Tamponbewegung	314
4.7.8.2.1	Vertikale Tamponbewegung	314
4.7.8.2.2	Vertikale und horizontale Tamponbewegung	315
4.7.8.2.3	Rotative Bewegung	316
4.7.8.3	Antriebstechniken	317
4.7.8.3.1	Elektro-mechanischer Antrieb	317
4.7.8.3.2	Pneumatischer Antrieb	317
4.7.8.3.3	Hydraulischer Antrieb	318
4.7.8.4	Druckformat	318
4.7.8.5	Anzahl der Druckfarben	318
4.7.8.6	Werkstückaufnahmen und Bedruckstoffzufuhr	319
4.7.8.6.1	Carreetisch	320
4.7.8.6.2	Rundschaltteller	321
4.7.8.6.3	Linearband	321
4.7.8.6.4	Taktvorschubgerät	322
4.7.9	Rotationsdruck	323
4.8	Vergleich der Druckverfahren und deren Bewertung	324
4.8.1	Offsetdruck	326
4.8.2	Flexodruck	327
4.8.3	Tiefdruck	328

4.8.4	Tampondruck	329
4.8.5	Siebdruck	330
4.8.6	Non-Impact-Printing	331
4.8.7	Zusammenfassung	333
	Literatur zu Kapitel 4	334
5	Laserstrahlbeschriftung	335
5.1	Einführung	335
5.2	Warum Laserbeschriftung?	337
5.3	Lasertypen für das Beschriften	338
5.3.1	Sealed-off CO ₂ -Laser	338
5.3.2	Excimerlaser	338
5.3.3	Diodengepumpte Q-switch Festkörperlaser	338
5.3.4	Faserlaser	340
5.3.5	Diodenlaser	341
5.4	Laserbeschriftungstechniken	342
5.4.1	Prinzip der Vektorbeschriftung	342
5.4.2	Prinzip des Maskenprojektionsverfahrens	343
5.4.3	Prinzip des Rasterverfahrens	344
5.4.4	Verfahren im Vergleich	344
5.5	Strahlqualität	345
5.6	Effekte bei der Laserbeschriftung	348
5.6.1	Kunststoffe	348
5.6.1.1	Die Rolle der Laserwellenlänge	350
5.6.1.2	Effekte bei der Laserbeschriftung von Kunststoffen	351
5.6.1.3	Welche Kunststoffe sind beschriftbar?	353
5.6.2	Metalle	357
5.6.3	Tiefengravur	359
5.7	Rückverfolgbarkeit in der Industrie	361
5.7.1	Codierungen (DataMatrix-Code, Barcode)	362
5.7.2	Aufbau des DataMatrix-Code	363
5.7.3	Herstellungsmöglichkeiten von DataMatrix-Codes	364
5.7.4	Auslesen der Codes	365
5.7.4.1	Kernpunkte der AIM	365
5.7.4.1.1	Kontrast (Symbol Contrast)	365
5.7.4.1.2	Zellengröße (Print-Growth)	365
5.7.4.1.3	Achsiale Unförmigkeit (Axial-Nonuniformity)	366
5.7.4.1.4	Ungenutzte Fehlerkorrektur (Unused-Error-Correction)	366
5.7.4.1.5	Gesamtgüte (Overall-Grade)	366
5.7.4.2	Prozesssichere Lesbarkeit	367

5.7.4.3	Besonderheiten	368
5.8	Tag-Nacht-Design.....	369
5.9	Laserbeschriftungsfolien	371
5.10	Leiterplattenbeschriftung.....	371
5.11	Weitere Anwendungsbeispiele.....	373
5.12	Handlingsysteme.....	375
5.12.1	Doppelkopfsystem.....	376
5.12.2	Marking-on-the-Fly.....	376
5.12.3	Kostenaspekte	377
5.12.4	Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit	378
5.13	Bewertung und Fehlermöglichkeiten	379
5.14	Zusammenfassung	380
	Literatur zu Kapitel 5.....	381
6	Etikettieren	383
6.1	Kaltleim-Etikettierung	385
6.2	Heißleim-Etikettierung.....	386
6.3	Sleeve-Etikettierung	387
6.4	Haftetikettierung.....	388
	Literatur zu Kapitel 6.....	389
7	Beflocken von Kunststoffen.....	391
7.1	Einführung.....	391
7.2	Technische Grundlagen der Beflockung.....	391
7.3	Verfahrensablauf.....	396
7.3.1	Vorbehandlung	396
7.3.2	Klebstoffauftrag.....	396
7.3.3	Beflockung.....	397
7.3.4	Trocknung	397
7.3.5	Endreinigung.....	397
7.4	Flockklebstoffe.....	398
7.5	Flockfasern.....	399
7.6	Flockgeräte und Flockanlagen	401
7.7	Prüfgeräte und Prüfverfahren	408
7.7.1	Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Flock.....	408
7.7.2	Springprüfung.....	410
7.7.3	Trennfähigkeitsprüfung.....	414
7.7.4	Bestimmung der Flockdimensionen und Geometrienanalyse	417
7.7.5	Restflockmessung.....	418
7.7.6	Hochspannungsprüfung.....	419
7.7.7	Abriebprüfung.....	420

7.7.8 Ausreiprfung.....	422
7.8 Eigenschaften beflockter Oberflächen und Anwendungsbeispiele	423
Literatur zu Kapitel 7.....	430
8 Oberflächenstrukturierung	431
8.1 Einleitung.....	431
8.2 Funkenerosion.....	434
8.3 Phototztechnik.....	438
8.4 Strahlverfahren	441
8.5 Laserstrukturieren	442
8.6 Course4 [®] -Technologie.....	444
8.7 Sprengprägen.....	446
8.8 Cera-Shibo-Technologie.....	450
Literatur zu Kapitel 8.....	451
9 Folienhinterspritzen	453
9.1 Einleitung.....	453
9.2 Inmold-Decoration (IMD-Verfahren)	453
9.2.1 IMD-Prozess.....	454
9.2.2 IMD-Folien.....	456
9.2.3 IMD-Werkzeug.....	457
9.2.4 IMD-Vorschubgert.....	457
9.2.5 Spezielle Aspekte	459
9.2.6 Prüftechnik	460
9.2.7 Verwendbare Kunststoffe.....	460
9.2.8 Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	461
9.3 Klassisches Folienhinterspritzen.....	464
9.3.1 FIM-Prozess.....	464
9.3.2 Bedrucken von Folien.....	467
9.3.3 Verformen von Folien	467
9.3.4 Beschneiden von Folien	468
9.3.5 Fixierung im Werkzeug.....	469
9.3.6 Werkzeugtechnik	469
9.3.7 Spezielle Aspekte	470
9.3.8 Prüftechnik	472
9.3.9 Verwendbare Kunststoffe.....	472
9.3.10 Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	473
Literatur zu Kapitel 9.....	479
10 Prüftechnik	481
10.1 Einleitung.....	481

10.2 Glanz und Glanzmessung.....	484
10.2.1 Einstrahlungswinkel.....	487
10.2.2 Bild-Aperturwinkel.....	487
10.2.3 Blenden-Aperturwinkel.....	488
10.2.4 Reflektometerwert.....	488
10.3 Farbwahrnehmung und Farbmessung.....	489
10.4 Rauigkeits- und Topographiemessung.....	498
10.5 Kratzbeständigkeitsprüfungen und Abrieb.....	502
10.5.1 Erichsen-Härteprüfung.....	502
10.6 Beständigkeitsprüfungen gegen Temperatur, Witterung und Alterung ..	512
10.7 Haftung.....	520
Literatur zu Kapitel 10.....	526
Stichwortverzeichnis.....	527

Die Autoren



Der Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Markus K. Lake studierte zunächst an der RWTH Aachen Maschinenbau mit der Fachrichtung Fertigungstechnik. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehr- und Forschungsgebiet Werkstoffwissenschaften an der RWTH Aachen, heute Institut für Oberflächentechnik, beschäftigte sich Herr Lake intensiv mit der PVD-Dünnschichttechnologie und der Schichtanalytik. Er promovierte auf dem Gebiet der Lotwerkstoffapplikation

für mikrosystemtechnische Anwendungen. Im Rahmen seiner weiteren beruflichen Tätigkeiten war Herr Lake in unterschiedlichen leitenden Positionen tätig.

2011 wurde er an die Hochschule Niederrhein berufen und verantwortet dort das Lehr- und Forschungsgebiet „Produktionstechnik und Beschichtungsverfahren“. Als Mitglied im hochschuleigenen Kompetenzzentrum Surface Technology Applied Research (STAR) ist er stark in die Forschung und Entwicklung sowie in die praxisnahe Ausbildung von Bachelor- und Masterstudierenden und in die Betreuung von Promovenden eingebunden.

An der Bearbeitung dieses Buches haben mitgewirkt:

<i>Kapitel 2</i>	Dipl.-Ing. Simone Fischer	Ingenieurbüro Fischer D-36341 Lauterbach
<i>Abschnitt 3.2</i> <i>Kapitel 9</i>	Dipl.-Ing. Jörg Günther	Kunststoff-Institut Lüdenscheid D-58507 Lüdenscheid
<i>Abschnitt 3.3</i>	Dr. Dieter Gwinner	GFO Gesellschaft für Oberflächentechnik AG D-73529 Schwäbisch Gmünd
<i>Abschnitt 3.5</i>	Dipl.-Ing. Michael Boes Dr. Alexander Gissel Dipl.-Ing. Peter Schüller	KARL WÖRWAG Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG D-70435 Stuttgart
<i>Abschnitt 4.1</i> <i>Abschnitt 4.2</i> <i>Abschnitt 4.8</i>	Dipl.-Ing. Michael Wendler	ELMERIC GmbH 72414 Rangendingen
<i>Abschnitt 4.3</i> <i>Abschnitt 4.4</i>	Dipl.-Ing. Dennis Grotian	DFTA-TZ D-70569 Stuttgart
<i>Abschnitt 4.5</i>	Dipl.-Ing. Matthias Galus	Hochschule der Medien Fakultät Druck und Medien D-70569 Stuttgart
<i>Abschnitt 4.6</i> <i>Abschnitt 4.7</i>	Dipl.-Ing. Dietmar Schweinbenz	TAMPOPRINT AG D-70825 Korntal-Münchingen
<i>Kapitel 5</i>	Dr.-Ing. Birgit Faißt	Trumpf Laser- u. Systemtechnik GmbH D-71254 Ditzingen
<i>Kapitel 7</i>	Dipl.-Ing. Ulrich Büttel	Maag Flockmaschinen GmbH D-72127 Kusterdingen
<i>Kapitel 8</i> <i>Kapitel 10</i>	Dipl.-Ing. Thomas Eulenstein	Kunststoff-Institut Lüdenscheid D-58507 Lüdenscheid

Kurzzeichen von Kunststoffen

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
ASA	Acrylnitril-Styrol-Acrylat-Copolymerisat
BMC	Bulk Molding Compound
CA	Celluloseacetat
CFK	Kohlefaserverstärkter Kunststoff
COC	Cycloolefin-Copolymer
CP	Cellulosepropionat
EPP	Expandierbares Polypropylen
EPS	Expandierbares Polystyrol
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Copolymer
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
HDPE	Polyethylen, hohe Dichte
LCP	Liquid Crystalline Polymer
LDPE	Polyethylen, niedrige Dichte
PA	Polyamid
PC	Polycarbonat
PC/ABS	Polycarbonat-/Acrylnitril-Butadien-Styrol-Blend
PC/PBT	Polycarbonat-/Polybutylenterephthalat-Blend
PE	Polyethylen
PEEK	Polyetheretherketon
PEI	Polyetherimid
PESU	Polyethersulfon
PET	Polyethylenterephthalat
PI	Polyimid
PBT	Polybutylenterephthalat
PMMA	Polymethylmethacrylat
POM	Polyoxymethylen
PPO/PA	Polyphenylenoxid-/Polyamid-Blend
PP	Polypropylen

PP/EPDM Polypropylen-/Ethylen-Propylen-Dien-Copolymer-Blend

PPS Polyphenylensulfid

PPSU Polyphenylensulfon

PS Polystyrol

PTFE Polytetrafluorethylen

PUR Polyurethane

PVA Polyvinylalkohol

PVC Polyvinylchlorid

RRIM Reinforced-Reaction-Injection-Moulding

SAN Styrol-Acrylnitril-Copolymer

SMC Sheet Molding Compound

TPE thermoplastische Elastomere

TPO thermoplastische Polyolefine

TPU thermoplastische Polyurethan-Elastomere

UPE ungesättigte Polyester

1

Einleitung und Einführung in die Oberflächentechnik

Kunststoffprodukte sind aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken, sie begleiten uns durch den ganzen Tag und meist ein Leben lang. Neben der sicheren Funktion und der Gebrauchseigenschaft spielt bei Kunststoffprodukten das Design, die Optik und die Haptik eine wesentliche Rolle. Die Oberflächentechnik stellt Verfahren und Prozesse bereit, um Kunststoffbauteile in ihren Oberflächeneigenschaften definiert zu verändern. Beispiele hierfür sind das Lackieren von Komponenten im Fahrzeugbau, das Bedrucken und Etikettieren von Verpackungen, das Laserbeschriften von Computertastaturen und Funktionsbauteilen, die Beschichtungstechnik für das Aufbringen von Verschleißschutz-, Funktions- und Barrierschichten bis hin zum Beflocken von Bauteilen zur Einstellung der Reib- und Kontakteigenschaften. Bei der Oberflächentechnik handelt es sich um ein interdisziplinäres Arbeitsgebiet, da häufig viele Prozessschritte aus unterschiedlichen technologischen Bereichen, z. B. der Vorbehandlungs- und Beschichtungstechnik, kombiniert werden müssen, um die gewünschten Oberflächeneigenschaften zu realisieren.

Das vorliegende Fachbuch soll dem Anwender als Auswahl- und Entscheidungsgrundlage dienen, um aus den zahlreichen Varianten der Vorbehandlungs- und Beschichtungsverfahren das für seine Anwendung und sein Kunststoffprodukt am geeignetste Verfahren auszuwählen. Bild 1.1 soll die Komplexität bei der Auswahl des anwendungsgerechten Vorbehandlungs- und Beschichtungsverfahrens verdeutlichen. Ausgehend von dem Einsatzgebiet des Kunststoffproduktes, z. B. in der Automobil, Medizin- oder Verpackungstechnik, müssen definierte Eigenschaften, z. B. Farbe und Dekor, Reib- und Gleiteigenschaften oder elektrische Leitfähigkeit bis hin zur Diffusionssperrwirkung, realisiert werden. In Abhängigkeit von dem verwendeten Kunststoff und dem späteren Anwendungszweck werden die Prozesse der Oberflächentechnik ausgewählt und angewendet. Die kunststoffspezifischen Vorbehandlungsschritte zielen darauf ab, eine für die nachfolgende Beschichtung oder Behandlung vorkonditionierte Oberfläche bereitzustellen. Im Anschluss hieran erfolgt die eigentliche Beschichtung oder die Funktionalisierung der Oberfläche. Im letzten Schritt werden die qualitätsrelevanten Merkmale der Oberfläche bewertet und mit geeigneten Prüftechniken untersucht. Die Auswahl der Prozesstechniken

und Prozessschritte erfolgt immer unter Berücksichtigung der zu erzielenden Oberflächeneigenschaften, der zu bearbeitenden Stückzahlen und der Reproduzierbarkeit, sodass eine hohe Produktivität unter ökonomischen Gesichtspunkten realisiert werden kann.

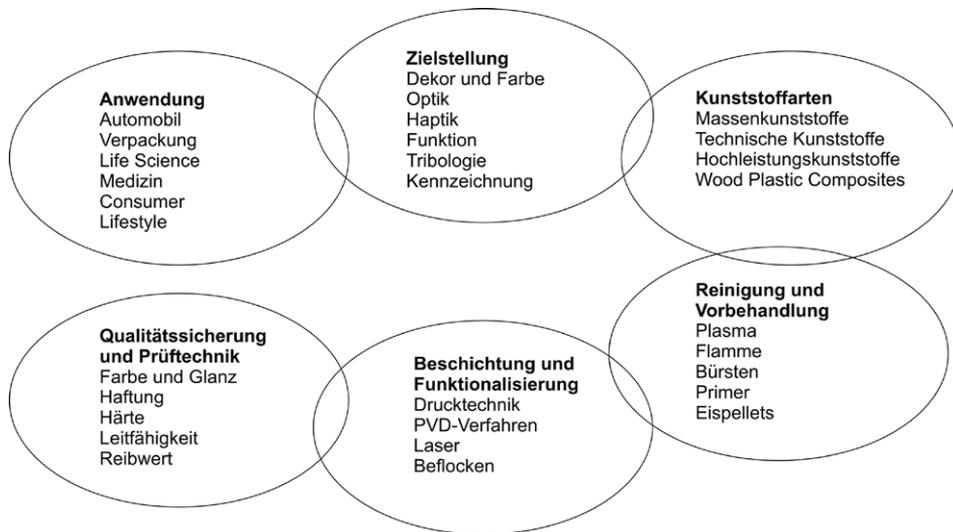


Bild 1.1 Spannungsfeld Oberflächentechnik

2

Reinigung und Aktivierung

Simone Fischer

■ 2.1 Einleitung

Als Oberfläche wird im allgemeinen Sprachgebrauch eine dünne äußere Randschicht bezeichnet, die Farbe, Glanz und Rauheit eines Werkstücks bestimmt.

Werden technische Oberflächen betrachtet, so zeigen diese Welligkeiten und Rauheiten oder sind mit Verarbeitungshilfsmitteln belegt. Neben der von außen sichtbaren Oberfläche ist für die spätere Produktqualität auch die Zusammensetzung dieser dünnen Schichten und der Aufbau der Grenzfläche zwischen Grund- und Beschichtungsmaterial von entscheidender Bedeutung. Je nachdem welche technologisch wichtigen Eigenschaften und Prozesse betrachtet werden, wird die Dicke dieser Grenzschicht von $< 1 \text{ nm}$ bis zu $1 \text{ }\mu\text{m}$ angenommen (siehe Bild 2.1).

Die Abreinigung dieser für die Netzung, Haftfestigkeit und Oberflächenenergie störenden Grenzschichten von der Oberfläche ist äußerst wichtig, damit sich z. B. der aufgetragene Lack in der Polymeroberfläche verankern kann.

Die Haftfestigkeit auf vielen Kunststoffen ist problematisch, da diese meist eine viel niedrigere Oberflächenenergie als die Beschichtungsmedien aufweisen.

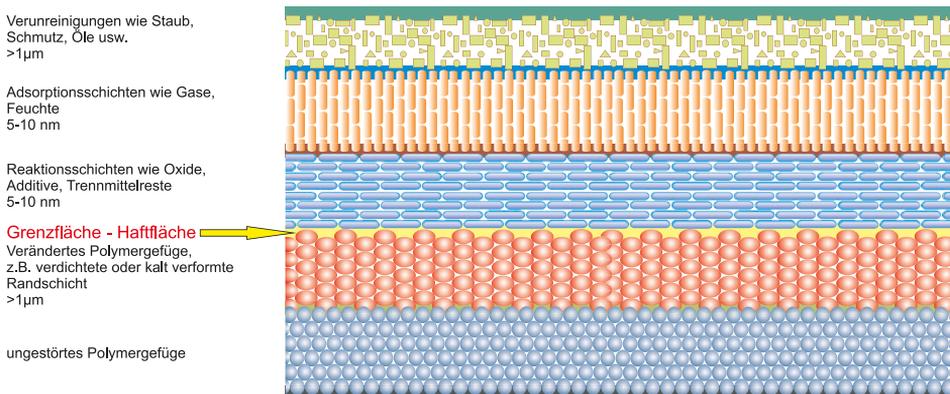


Bild 2.1 Äußere Grenzschichten beeinflussen entscheidend die Oberflächeneigenschaften

Grund dafür sind fehlende funktionelle Gruppen, die mit der applizierten Substanz wechselwirken bzw. Bindungen eingehen können. Eine Möglichkeit, solche Haftzentren an der Oberfläche zu erzeugen, ist ein Primerauftrag. Da diese Applikation mit einer Lackierung gleichzusetzen ist, wird in diesem Kapitel nicht darauf eingegangen. Polymere sind in ihrem molekularen Aufbau sehr vielfältig und erfordern deshalb jeweils eine spezielle, genau abgestimmte Vorbehandlung, die sehr gezielt an den jeweiligen Werkstoff und den nachfolgenden Auftrag angepasst werden muss.

■ 2.2 Grundlagen zu Benetzung und Oberflächenenergie

Zwischen Flüssigkeiten und Festkörpern wirken molekulare Kräfte, die sogenannten Kohäsionskräfte, die in oberflächennahen Bereichen eine nach innen gerichtete Kraft bewirken. Daher muss potenzielle Arbeit verrichtet werden, um die Flächeneinheit einer neuen Oberfläche zu erzeugen. Die Oberflächenspannung s ist das Verhältnis aus der zur Oberflächenvergrößerung benötigten Arbeit dW zur Oberflächenänderung dA , $s = dW/dA$. Die Einheit ist Milli-Newton pro Meter [mN/m].

Die Benetzbarkeit von Werkstoffoberflächen ist eine Grundvoraussetzung für haftfeste Beschichtungen. Nach Zisman gilt, dass eine Flüssigkeit auf einem Festkörper dann spreitet, d. h. die Oberfläche gut benetzt, wenn die Oberflächenspannung der Flüssigkeit kleiner oder gerade gleich der Oberflächenenergie des Festkörpers ist (siehe Bild 2.2).

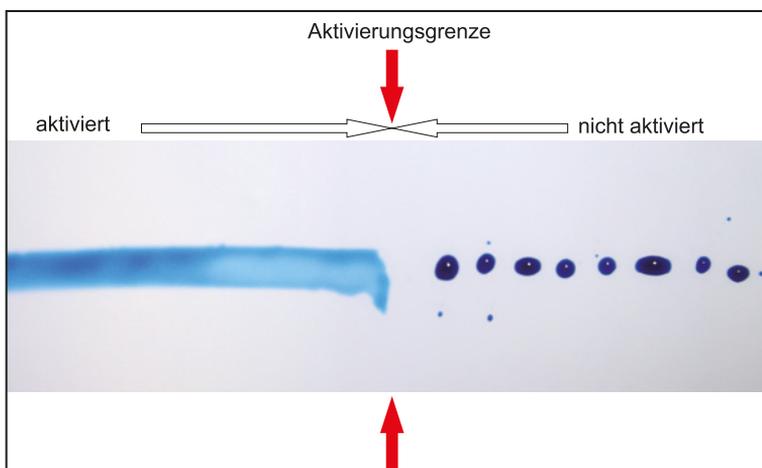


Bild 2.2 Benetzende und nicht benetzende Oberfläche

Die Oberflächenenergie kann als messbare Größe für die Bindungskräfte an der Oberfläche angesehen werden, hierbei gilt:

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_d \quad (2.1)$$

mit

σ : Oberflächenenergie,

σ_p : polarer Anteil der Oberflächenenergie,

σ_d : disperser Anteil der Oberflächenenergie.

Die Oberflächenenergie setzt sich aus einem dispersen und einem polaren Anteil zusammen. Die polaren Kräfte haben ihre Ursache in unterschiedlichen Elektro-negativitäten der Atome eines Moleküls, woraus sich permanente Dipole ergeben. Die Dispersionskräfte entstehen durch temporär unsymmetrische Ladungsverteilungen und sind somit zwischen allen Molekülen vorhanden [1]. Die Praxis hat gezeigt, dass der polare Anteil der Oberflächenenergie für die Haftfestigkeit entscheidend ist. So ist die Haftfestigkeit dann am besten, wenn die polaren Anteile der Oberflächenenergie von Beschichtungsmedium und Substratoberfläche gleich groß sind [2].

Ermittelt wird die Oberflächenenergie mithilfe von Randwinkelmessgeräten. Es werden definierte Flüssigkeiten, wie z. B. Wasser (polare Substanz) und Dijodmethan (wenig polare Flüssigkeit), auf die Polymeroberfläche getropft und die unterschiedlich ausgebildeten Randwinkel α an der Tropfengrenze gemessen (siehe hierzu Bild 2.3). Einen Zusammenhang zwischen dem Kontaktwinkel α , dem Verhältnis der Oberflächenspannung der flüssigen und der festen Phase wurde bereits 1805 von Young hergestellt. Die Young'sche Gleichung lautet:

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos \alpha \quad (2.2)$$

mit

σ_s : Oberflächenenergie Festkörper,

σ_l : Oberflächenspannung Flüssigkeit,

σ_{sl} : Grenzflächenenergie Festkörper/Flüssigkeit,

α : Randwinkel.

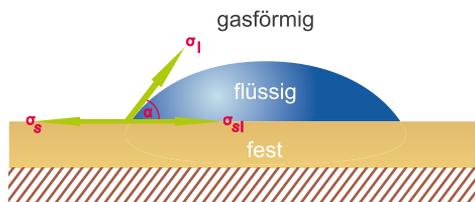


Bild 2.3 Flüssigkeitstropfen auf einer Polymeroberfläche

Tabelle 2.1 Kontaktwinkel von unterschiedlichen Flüssigkeiten

PP-Folie	Dijodmethan	Ethylenglykol	Formamid	Dimethylsulfoxid
unbehandelt	61,1°	78,2°	85,4°	57,3°
Corona	50,5°	51,3°	58,0°	31,1°
Flamme	51,2°	47,8°	57,3°	27,4°

Tabelle 2.2 Oberflächenenergien und ihre dispersen und polaren Anteile in mN/m

PP-Folie	Oberflächenenergie	dispenser Anteil	polarer Anteil
unbehandelt	29,98	29,95	0,03
Corona	38,50	30,19	8,31
Flamme	39,19	30,20	8,99

Da die Oberflächenspannung der aufgetropften Flüssigkeit und deren Randwinkel bekannt ist, bleiben noch die Oberflächenenergie und die Grenzflächenenergie als unbekannt Größen. Um die Beziehung zwischen diesen beiden Größen zu erhalten, gibt es verschiedene Modelle, z. B. von Zisman, Owens-Wendt-Rabel-Kaelble und Wu. Sie leiten die Grenzflächenspannung aus den molekularen Wechselwirkungen zwischen den Phasen ab. Grundsätzlich gilt jedoch: Je größer die Wechselwirkungen sind, die an der Phasengrenze ausgebildet werden, desto niedriger ist die Grenzflächenspannung [3].

In Tabelle 2.1 sind die Ergebnisse von Kontaktwinkelmessungen an einer unbehandelten, einer Corona aktivierten und einer beflamten PP-Folie dargestellt [4]. Die Werte zeigen deutlich, dass durch beide Aktivierungen der Randwinkel verkleinert und somit die Benetzung verbessert werden konnte.

Die Auswertung mit dem Modell nach Wu ergibt die aufgeführten Werte. Der Vergleich der Oberflächenenergie der unbehandelten Folie mit der der behandelten Folie zeigt eine deutliche Zunahme der Gesamtenergie und des polaren Anteils (Tabelle 2.2). Dies ist durch sauerstoffhaltige, funktionelle Gruppen zu erklären, die während des Aktivierungsprozesses in die äußeren Molekülketten eingebaut werden.

Zur Ermittlung der Oberflächenenergie in der Produktion werden aus Gründen der Einfachheit und der Schnelligkeit Testtinten eingesetzt. Bei den Testtinten handelt es sich um genormte, lösemittelbasierte Prüfflüssigkeiten (ISO 8296) mit einer Oberflächenspannung von 30 bis 72 mN/m. Die Prüfung wird wie folgt durchgeführt: Die Prüfflüssigkeit wird mit dem beigegebenen Pinsel oder einem getränkten Wattestäbchen auf die Oberfläche aufgetragen. Der Flüssigkeitsfilm wird beobachtet.

- Bleibt der aufgetragene Tintenfilm für mehr als 2 Sekunden unverändert, entspricht die Oberflächenenergie des Substrats dem Oberflächenspannungswert der applizierten Testtinte.

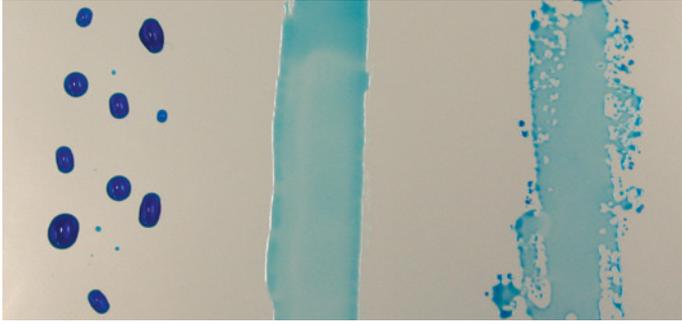


Bild 2.4 Links: Oberflächenspannung Tinte > Oberflächenenergie Substrat
 Mitte: Oberflächenspannung Tinte = Oberflächenenergie Substrat
 Rechts: Oberflächenspannung Tinte < Oberflächenenergie Substrat

- Zieht sich der Film innerhalb der 2 Sekunden zusammen, ist die Oberflächenspannung der Tinte größer und es müssen Tinten mit den nächstkleineren Werten aufgetragen werden, bis die Flüssigkeit stehen bleibt.
- Spreitet die Tinte, ist die Oberflächenenergie des Substrats größer als die Spannung der aufgetragenen Tinte. In diesem Fall werden die Tinten mit höheren Werten aufgetragen, bis der Film unverändert bleibt (siehe Bild 2.4).

Wurde in den Vorversuchen die optimale Oberflächenenergie z. B. von 56 mN/m ermittelt, kann mit dieser Tinte produktionsbegleitend die Aktivierung kontrolliert werden.

Die Tinten sind bei häufigem Gebrauch nach drei Monaten zu erneuern, da mit jedem Öffnen Lösemittel entweicht. Hierdurch verändert sich das Mischungsverhältnis der Tinte und somit der tatsächliche Wert ihrer Oberflächenspannung.

Die nach ISO 8296 hergestellten Tinten enthalten als Bestandteil das toxische Formamid. Deshalb wurden Tinten ohne diese Substanz entwickelt. Die mit den unterschiedlich basierten Tinten ermittelten Oberflächenenergien können nicht untereinander verglichen werden. Es ist deshalb notwendig, sich für eine Tintenreihe zu entscheiden, damit eine aussagekräftige Qualitätskontrolle möglich ist.

Mittels dieser Prüfflüssigkeiten kann nur die gesamte Oberflächenenergie ermittelt werden. Kommt es zu Benetzungsstörungen und Qualitätsmängeln, sollten exakte Kontaktwinkelmessungen durchgeführt werden, um Aufschluss über den polaren und dispersen Anteil der vorhandenen Oberflächenenergie zu erhalten.

■ 2.3 Reinigungsverfahren

2.3.1 Manuelle Reinigung

Polymeroberflächen können mit einem sauberen Tuch, das mit einem geeigneten organischen Lösemittel, z. B. Isopropanol, getränkt wurde, abgewischt werden. Auf diese Weise lassen sich partielle Verunreinigungen, wie Flecken, Produktionsablagerungen, Fingerabdrücke etc. entfernen. Es können alle mit Alkohol reinigbaren Polymertypen mit dieser Methode behandelt werden.

Die manuelle Reinigung von Bauteilen kann spontan, selbst noch an den bereits auf die Lackieraufnahme aufgebracht Teilen, durchgeführt werden, wenn partielle Verschmutzungen vorliegen. Es handelt sich hierbei um eine schnelle, einfache, kostengünstige und überall durchführbare Reinigungsmöglichkeit.

Erfolgt die Reinigung von Bauteilen mit Lösemitteln in größerem Stil, so muss die VOC-Richtlinie (VOC – Volatile Organic Compounds) beachtet werden. Um die Reinigung effektiv durchführen zu können, ist sicherzustellen, dass die Verschmutzungen nicht verschleppt werden, d. h. das Tuch ist regelmäßig zu erneuern. Wird mit zu viel Lösemittel gearbeitet oder ist dieses für den Polymertyp ungeeignet, kann die Oberfläche anquellen oder es können Spannungsrisse entstehen. Das beim Anquellen eingelagerte Lösemittel kann zu Fehlstellen in der Beschichtung führen, wenn es z. B. bei der Lacktrocknung entweicht. Des Weiteren können mit dieser Methode nur einfache, flächige Geometrien abgereinigt werden, da Hinterschneidungen oder Vertiefungen, wenn überhaupt, nur sehr schwer zu erfassen sind. Alles in allem handelt es sich hierbei um ein Verfahren mit geringer Reproduzierbarkeit und Prozesssicherheit.

Durch das Reinigen mit Lösemitteln wird die Benetzbarkeit der Polymeroberfläche verbessert. Die mechanischen Eigenschaften bleiben bei fachgerechter Durchführung unverändert. Das Verfahren findet Einsatz bei einfachen und flächigen Geometrien sowie bei leicht verschmutzten Bauteilen.

Die Person, die die Reinigung durchführt, sollte Handschuhe tragen, damit der Hautkontakt vermieden wird. Die Augen müssen durch eine Schutzbrille vor Spritzern geschützt werden. Des Weiteren ist am Arbeitsbereich eine Absaugung zu installieren, um erhöhte Lösemittelkonzentrationen in der Luft zu verhindern.

Eine visuelle Überprüfung zeigt, ob die partielle Verunreinigung eliminiert ist. Mit einer ESCA- (Elektronen-Spektroskopie zur chemischen Analyse) oder TOF-SIMS-Analyse (Flugzeit-Sekundärionen Massenspektrometrie) am ungereinigten und gereinigten Bauteil wird die Effektivität des Verfahrens nachgewiesen. Letztendlich entscheidet die Haftfestigkeitsprüfung am fertig beschichteten Bauteil über die Qualität der Reinigung.

2.3.2 Mechanische Reinigung

Durch Bürsten, Schleifen, Schmirgeln oder Strahlen werden Verschmutzungen von Oberflächen abgereinigt oder diese aufgeraut. Vor der mechanischen Oberflächenvorbehandlung sollte eine Entfettung durchgeführt werden. Dadurch wird vermieden, dass die eventuell vorhandenen Fettrückstände auf der Oberfläche verteilt und ggf. in feine Poren oder Vertiefungen gepresst werden. Gegenüber dem Strahlen zeichnen sich die anderen Verfahren durch eine geringe Staubbelastung aus.

Die weit entwickelte Borstentechnologie eröffnet dem Bürstverfahren verschiedenste Einsatzbereiche. So werden grobe, mit festen Borsten versehene Bürsten zur Materialaufrauung eingesetzt und empfindliche Oberflächen mittels weicher Borsten schonend poliert. Des Weiteren wird durch den Einsatz von Bürstensystemen die Wirkung von Reinigungsmedien mechanisch unterstützt. Die durch die Rotationsbewegung erzeugte elektrostatische Aufladung der Oberflächen wird durch den Einsatz von Antistatikbürsten neutralisiert.

Beim Schleifen entscheidet die gewählte Körnung ob die Oberflächen aufgeraut oder lediglich poliert werden.

Die beim Strahlen erzielbaren Rauheiten hängen vom Strahldruck und der Korngröße des Strahlgutes ab, sie liegen in der Größenordnung von 50 bis 100 μm ($1 \mu\text{m} = 1 \text{ Mikrometer} = 0,001 \text{ mm}$) [5]. Gestrahlt wird zur Aufrauung der Oberfläche, um diese zu vergrößern und auf diese Weise die Haftfestigkeit des Auftrages zu verbessern oder zur Teileentgratung,.

Grundsätzlich können alle Thermo- und Duroplaste, sowie Elastomere mit diesen Verfahren bearbeitet werden. Eine Testreihe im Vorfeld des Produktionseinsatzes muss die Einsetzbarkeit der richtigen Technologie für die vorliegende Anwendung zeigen.

Je nach Produkt, für das die Bürsten eingesetzt werden, ist der Einsatz in der Linie möglich. Mit diesen mechanischen Vorbehandlungsverfahren lassen sich viele verschiedene Anwendungen auf einfache Weise realisieren.

Da die Reinigung durch Strahlen und Schleifen abrasiv auf die Oberfläche wirkt, kann die Oberflächengüte des Bauteils ungünstig beeinflusst werden, was sich auf zu lackierende Flächen negativ auswirkt. Werden die Bauteile nicht sorgfältig behandelt, kann sich in Bohrungen oder Hinterschneidungen das Strahlgut oder der Abtrag festsetzen und die Qualität der applizierten Schicht beeinträchtigen. Meist reicht die Aufrauung der Bauteiloberfläche mit diesen Verfahren bei unpolaren Werkstoffen nicht aus, um die Haftfestigkeit einer Lackschicht sicherzustellen. Die abrasiven Verfahren sollten am besten out-off-line eingesetzt werden, um das Verschleppen des Abriebs oder der Verunreinigungen zu vermeiden.

Werden die Verfahren zur Aufrauung der Bauteiloberfläche eingesetzt, kann sich der Auftrag in der vergrößerten Oberfläche besser verankern. PVC und PMMA zeigen

sehr gute Schleifeigenschaften und können bis zum Hochglanz geschliffen werden [6]. Auf diese Weise erhält das Bauteil sein Finishing.

Häufig werden Elastomerprofile vor der Beflockung mechanisch aufgeraut, um die Verankerung des Klebstoffs zu verbessern. Durch die mechanische Einwirkung von konturierten Bürsten wird die Wirkung des wässrigen Reinigungsmediums, z. B. bei der Behälterreinigung vor dem Druck, verbessert. Von flächigen Bauteilen können mit diesen Methoden Oxidationsschichten oder vorhandene Trennmittelrückstände entfernt werden.

Wird das Strahlen der Teile manuell durchgeführt, ist das Tragen einer Schutzbrille und eines Gehörschutzes erforderlich. Der entstehende Staub ist abzusaugen.

Die veränderte Oberflächengüte kann mittels Glanzmessung oder mikroskopischer Methoden, wie AFM (Rasterkraftmikroskopie) oder REM (Rasterelektronenmikroskopie), überprüft werden. Ob die mechanische Aufrauung für die notwendige Verankerung des Lackes oder des Klebstoffs sorgt, müssen Prüfverfahren wie Gitterschnitt oder Flockabriebprüfung zeigen.

2.3.3 Schwertbürstenreinigung

Um auch kleinste, lose Partikel effektiv von Polymeroberflächen zu entfernen, bietet sich die Reinigung mit Hilfe von Schwertbürsten an. Der Reinigungseffekt bei diesem Verfahren beruht auf drei Mechanismen:

- der mechanischen Wirkung der Linearbürste,
- der kapillaren Haftkraft zwischen Partikel und Filament und
- der Reduktion der elektrostatischen Aufladung durch die Ingromat[®]-Flüssigkeit.

Mit dem Ingromat[®], einer Reinigungs- und Antistatikflüssigkeit, werden die Bürstenfilamente vor dem Säubern der Produktoberfläche benetzt. Eine Sprühdüse (1) trägt die Flüssigkeit als einen dünnen Film in Laufrichtung der Linearbürste (3) auf die Filamentspitzen (2) auf (Bild 2.5a). Zwischen dem mikrobefeuchteten Filament und dem Partikel greift nun die kapillare Haftkraft (4), durch die auch kleinste Partikel (5) aufgenommen (Bild 2.5b) und sicher von der Produktoberfläche abgeführt werden. Damit die Bürste immer wieder neue Verunreinigungen aufnehmen kann, wird diese im Umlenkbereich (6) gereinigt. Dafür wird die Linearbürste aufgespreizt, damit rotierende Rakel (7) die Partikel durch Schlagen leichter von dem Filament lösen können. Druckluft (8) unterstützt die mechanische Reinigung und hebt die kapillaren Haftkräfte zwischen Schmutz und Filament auf. Eine Absaugung (9) entsorgt die gelösten Partikel und entfernt sie somit aus der Fertigungslinie (Bild 2.5c).

Die Materialoberfläche bleibt trotz des Kontaktes mit den mikrofeuchten Filamenten trocken und kann sofort weiterverarbeitet werden.

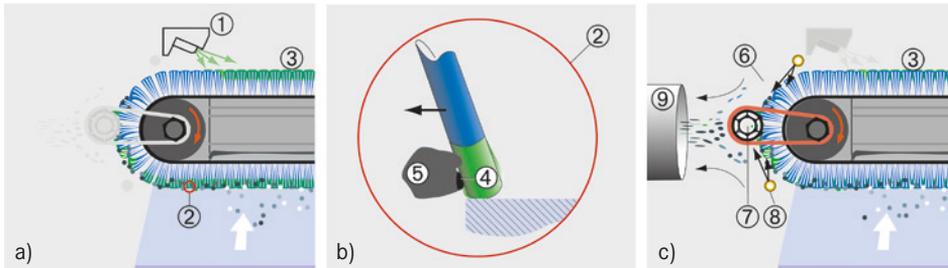


Bild 2.5 Reinigungsprinzip Ingromat[®]-Verfahren: Benetzen der Filamente mit antistatischer Flüssigkeit, Borsten nehmen die Partikel von der Oberfläche auf und transportieren diese zur Absaugung im Umlenkbereich, in dem die Bürste selbst gereinigt wird (Werkbild: Wandres GmbH) [7]

Die Auswahl des Bürstenmaterials wird durch die Härte der zu reinigenden Kunststoffoberfläche bestimmt. Auf diese Weise wird vermieden, dass auf kratzempfindlichen Polymeren, metallisierten oder reflektierenden Oberflächen Mikroriefen entstehen, die das optische Erscheinungsbild beziehungsweise die Funktion beeinträchtigen würden.

Das Arbeitstrum der Linearbürste ist durch integrierte Druckpuffer federnd gelagert. Auf diese Weise wird für eine gleichbleibende Wischkraft pro Fläche gesorgt und die Reinigungsleistung bleibt konstant. Die Puffer arbeiten druckluftunterstützt. Dadurch ist es möglich, dass das Arbeitstrum durch den integrierten Druckpuffer leichte Unebenheiten der Oberfläche ausgleichen kann. Ist ein sogenannter Flexpuffer vorhanden, können sogar Höhendifferenzen von circa ± 10 mm gegenüber einer planen Fläche ausgeglichen werden. Die Filamente werden der Oberfläche nachgeführt, setzen durch diesen Ausgleich immer senkrecht auf der zu reinigenden Oberfläche auf und erzielen ein optimales Reinigungsergebnis.

Gereinigt wird mit diesem Verfahren in der Kunststoffindustrie:

- Plattenware und Folie vor der Bedruckung, Kaschierung oder dem Umformen
- vorgeformte Dekorelemente vor dem Einlegen ins Spritzgießwerkzeug
- Automobil Exterieur- und Interieurbauteile vor der Lackierung in Wagenfarbe
- CFK- und GFK-Bauteile vor der Beschichtung
- Streuscheiben von Scheinwerfern vor einer Kratzfestbeschichtung

Ein ausgefeiltes Baukastensystem ermöglicht es die Linearbürsten individuell auf die jeweilige Anwendung anzupassen. So kann Platten- und Bahnenware einseitig oder beidseitig in Breiten von 400 mm bis 4500 mm und einer Dicke von $> 60 \mu\text{m}$ gereinigt werden. Die Anlagen lassen sich aufgrund einer Einbautiefe von weniger als 500 mm gut in bereits bestehende Fertigungslinien integrieren. Bestmöglich positioniert ist eine beidseitig arbeitende Einheit kurz vor oder nach einer Umlenkwalze, da dort die Bahn bestmöglich geführt ist. Ein einseitig arbeitendes Reinigungsmodul kann direkt im Bereich einer Walze platziert werden (Bild 2.6).



Bild 2.6 Linearbürste im Eingriff im Bereich einer Umlenkwalze (Werkbild: Wandres GmbH) [7]

Die Bürsten greifen quer zur Transportrichtung der Bahn ein und können über eine Verstellmöglichkeit einfach an wechselnde Materialdicken angepasst werden. Um das Reinigungsergebnis mit steigender Verarbeitungsgeschwindigkeit (derzeit bis 2000 m/min) konstant zu halten, werden Stationen mit mehreren hintereinander geschalteten, gegenläufig eingreifenden Linearbürsten realisiert. Die Bürstenmodule können eingehaust werden, so dass sie für den Einsatz im Reinraum geeignet sind. Bei der Reinigung von 3D-Geometrien gibt es mehrere Möglichkeiten das optimale Reinigungsergebnis zu erzielen. Um die komplette Oberfläche eines Bauteils zu erfassen, ist es am sinnvollsten dieses durch ein Handlingsystem geführt von einer feststehenden Bürste (Bild 2.7) oder das auf dem Warenträger befindliche Bauteil von einer Roboterschwertbürste reinigen zu lassen. Wird das Bauteil bzw. die einzulegende, vorgeformte Folie ohnehin von einem Handlingsystem platziert, dann bietet sich die Variante feststehende Bürste an. Der Einleger wird gereinigt

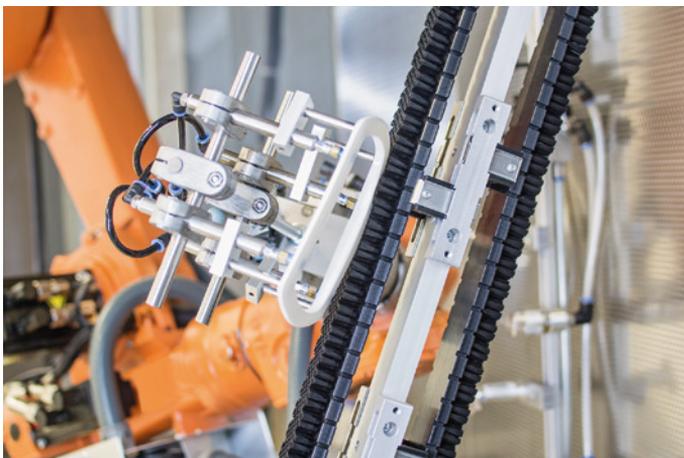


Bild 2.7 Der Roboter führt das Bauteil zur Reinigung über die feststehende Linearbürste (Werkbild: Wandres GmbH) [7]

und im Werkzeug platziert oder/und ebenso das hinterspritzte Teil nach der Entnahme von Flittern befreit. Befinden sich die zu beschichtenden Werkstücke auf einer Lackieraufnahme und durchfahren eine Lackierlinie, so ist der Einsatz einer Roboterschwertbürste zu favorisieren. Der Roboter wird auf die Bauteilgeometrie „geteacht“ und führt das Bürstenschwert der Geometrie nach, so dass die gesamte Oberfläche erreicht wird.

Eingesetzt wird die Schwertbürstentechnologie bei der Herstellung von Verbundmaterialien. Bei dieser Anwendung wird nicht nur die Kunststoffolie gereinigt, sondern auch die Aluminium- und Papierschichten, um einen partikelfreien Verbund fertigen zu können. Weiterhin werden Folien für Etiketten vor der Bedruckung oder Beschichtung, sowie Reflexfolien vor der Weiterverarbeitung gereinigt.

Vor der Lackierung von Automobil Exterieurbauteilen, wie zum Beispiel Stoßfänger, Kotflügel, Streu-, sowie Panoramadachscheiben, werden diese durch Roboterschwertbürsten gereinigt, um Partikeleinschlüsse zu vermeiden.

Vorgeformte Dekorfolien werden von einem Handlingsroboter über feststehende Bürsten geführt. Dadurch wird verhindert, dass an der Folie anhaftende Flitter beim Spritzgießprozess zwischen Dekor und Thermoplast eingeschlossen werden und zum Ausschuss des Bauteils führen.

An stark strukturierten Bauteilen mit schwer zugänglichen Stellen, wie Hinterschnitten, schmalen Nuten oder Sacklöchern, muss eine Kombination von Luft- und Wischtechnik genutzt werden, um ein optimales Reinigungsergebnis zu erzielen.

Die Linearbürstenmodule sind vom Anlagenanbieter so konzipiert, dass von Seiten des Anwenders keine arbeitsschutztechnischen Maßnahmen vorzunehmen sind. Beim Einsatz einer Roboterschwertbürste sind die für den Roboterbetrieb notwendigen Schutzumhausungen vorzusehen.

Die Wirksamkeit dieser Reinigungsmethode wird bei Folien mittels Inspektionssystemen inline ermittelt. Bei Beschichtungs- und Lackierprozessen wird die Reduktion der Partikeleinschlüsse als Maß für Effektivität der Methode herangezogen. Um jedoch während des Validierungsprozesses die Reinigungswirkung zu überprüfen, wird mit Partikelstempeln (\varnothing 30 mm) gearbeitet. An der Stempeloberfläche befindet sich ein Klebepad mit bekannter Sauberkeitsqualität, mit dem die Verunreinigungen auf dem Rohteil von der ungereinigten (Bild 2.8) und der gereinigten Oberfläche aufgenommen werden. Anschließend wird mit einem Stereomikroskop im Auflichtverfahren (Bild 2.9) die Stempeloberfläche ausgezählt und die Partikelgrößen nach Klassen kategorisiert (Tabelle 2.3).

Befinden sich auf großen Flächen lediglich kleine Partikelmengen oder sehr feine Stäube, so ist es zweckmäßig vor der Reinigung durch die Schwertbürsten geeignete Schmutzpartikel aufzutragen, um den Reinigungseffekt, z. B. visuell oder durch Partikelstempel, besser beurteilen zu können.

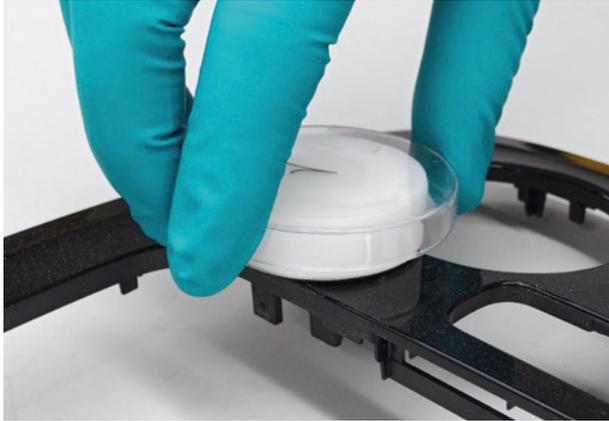


Bild 2.8 Aufsetzen eines Partikelstempels auf eine ungereinigte Oberfläche (Werkbild: CleanControlling GmbH) [8]

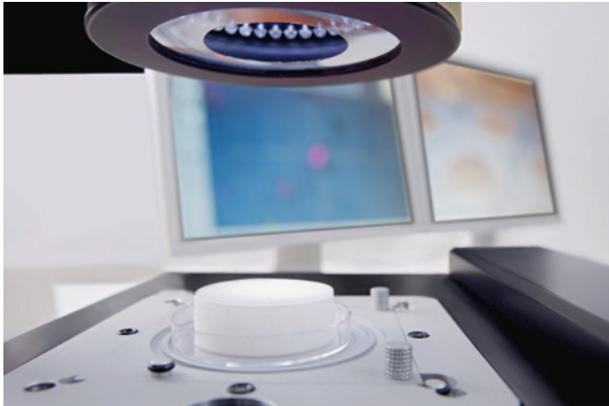


Bild 2.9 Lichtmikroskopische Auswertung eines Partikelstempels (Werkbild: CleanControlling GmbH) [8]

Tabelle 2.3 Partikelgrößenverteilung nach ISO 16232-10 [8]

Partikel pro Partikelfalle		vor der Reinigung		nach der Reinigung	
Partikelgröße in μm	Größenklassen	Alle Partikel ohne Fasern	Anzahl der Fasern	Alle Partikel ohne Fasern	Anzahl der Fasern
50–100	<i>E</i>	1390	1409	1	0
100–150	<i>F</i>	145	153	0	0
150–200	<i>G</i>	29	34	0	0
200–400	<i>H</i>	7	17	0	0
400–600	<i>I</i>	1	6	0	0
600–1000	<i>J</i>	1	2	0	0
> 1000	<i>K</i>	0	2	0	0

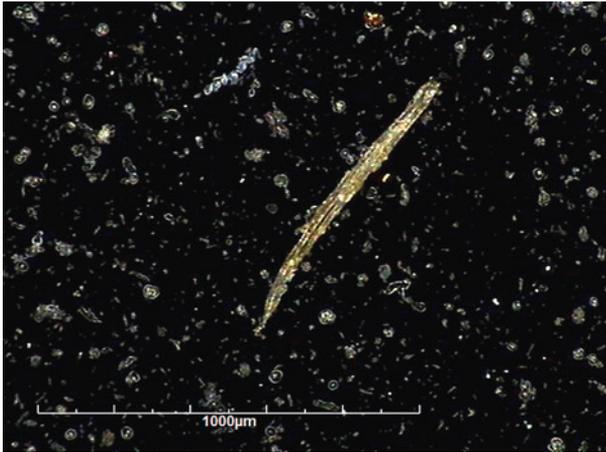


Bild 2.10 Größter Partikel (806 µm lang, 109 µm breit) und viele kleine Partikel vor der Reinigung (Werkbild: CleanControlling GmbH) [8]

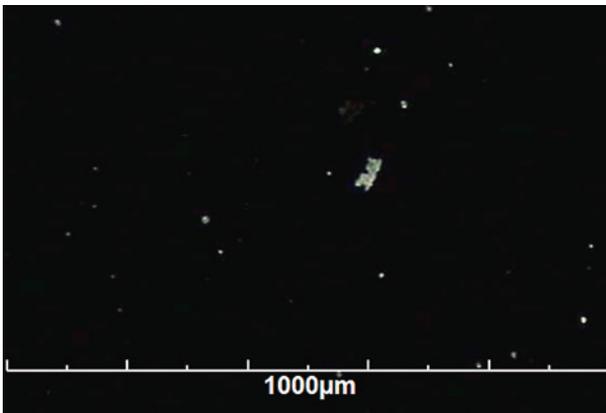


Bild 2.11 Größter Partikel (53 µm lang, 21 µm breit) nach Reinigung (Werkbild: CleanControlling GmbH) [8]

2.3.4 Ionisation

Treten die Grenzschichten mindestens zweier stofflicher Körper (Folie über Führungswalzen, Kunststoffbauteil an der Verpackung, Bauteile durchlaufen einen Rütteltopf etc.) miteinander in Kontakt, laden sich diese mehr oder weniger stark elektrostatisch auf. Diese unerwünschten Ladungen wirken auf nachfolgende Fertigungsschritte oft störend, da sich z. B. an diesen Oberflächen bevorzugt Staub anlagert. Eine weit verbreitete Methode zur Entfernung des Staubes an Polymeroberflächen ist das Abblasen mit Druckluft. Wie Bild 2.12 zeigt, wird mittels Druckluft nur ein Drittel des an der Oberfläche anhaftenden Staubes abgereinigt. Dreimal effektiver

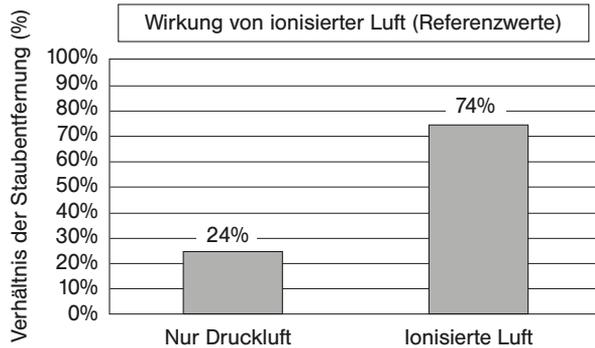


Bild 2.12 Wirksamkeitsvergleich Druckluft – ionisierte Luft (Werkbild: Keyence Corporation) [9]

kann der Staub mittels kontrollierter, elektrostatischer Entladung (Ionisation) entfernt werden. Diese Technik neutralisiert die ruhenden elektrischen Ladungen an der Oberfläche und nimmt dem Staub die Möglichkeit anzuhaften.

Bei metallischen Körpern wird die Entladung durch Erdung erreicht. Bei Nichtleitern, zu denen die Polymerbauteile zählen, gestaltet sich die Entladung schwieriger. Es kommen elektrostatische Entladungssysteme (Ionisatoren) zum Einsatz. Diese Systeme ionisieren die Luft zwischen einer nadelförmigen Spitze (Bild 2.13), die an Spannung anliegt, und dem Bauteil. Die positiven und negativen Ionen werden mittels Druckluft auf die Oberfläche geleitet, neutralisieren dort die elektrostatischen Ladungen und verhindern so spontane und unkontrollierte Entladungen. Um eine undefinierte Verunreinigung der Oberfläche zu vermeiden und ein gutes Reinigungsergebnis zu erzielen, muss die zugeführte Druckluft trocken, sauber, öl- und fettfrei sein.

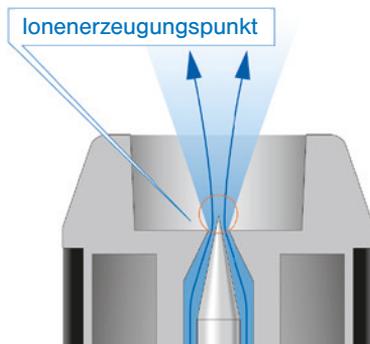


Bild 2.13
Ionisationsdüse im Schnitt
(Werkbild: Keyence Corporation) [10]

Die Leistungsfähigkeit einer Ionisationseinheit ist durch die Zeit charakterisiert, die das System benötigt, um die Ladungsnester zu neutralisieren. Um die optimale Funktion zu gewährleisten, ist es wichtig, dass die Ionisationseinheit richtig installiert wird. Damit es nicht zu unerwünschten Entladungen kommt, muss der Mindestabstand zu den Metallteilen eingehalten werden, die Einheit geerdet und

der Abstand zwischen Ionisationseinheit und Oberfläche optimal eingestellt sein. Werden diese Punkte eingehalten, wird die Bauteiloberfläche gut erfasst und die Ladungsnester neutralisiert.

Damit der Staub nicht nur gelöst sondern auch gleich von der Oberfläche abgereinigt wird, werden zusätzliche Reinigungsmodule integriert. Dies kann eine einfache Absaugung sein, eine Einheit, die mittels turbulenter Druckluft den Staub abhebt und diesen in integrierten Abluftkanälen abführt oder eine rotierende Bürste, die die nun losen Schmutzpartikel aufnimmt und ebenfalls einer Absaugung zuführt.

Mit diesem Verfahren können alle polymeren Werkstoffe, d. h. Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere, entladen werden, sei es als Formteil, z. B. Spritzgießteil bei der Entformung aus dem Werkzeug, der Separierung in Rütteltöpfen, vor der Lackierung oder Bedruckung, als Folie, z. B. vor einer Aktivierung, vor der Bedruckung, vor dem Aufwickeln oder bei der Kabel-, Schlauch- oder Rohrherstellung.

Die Ionisationsstäbe, -köpfe oder Lüfter können in bestehende Produktionslinien integriert bzw. an Montageplätzen, Pufferplätzen installiert werden. Dieses Verfahren ist eine kostengünstige und zugleich sehr effektive Möglichkeit, um die elektrostatische Aufladung der Materialien zu neutralisieren und vom anhaftenden Schmutz zu befreien.

Werden Reinigungssysteme mit Absaugung eingesetzt, ist darauf zu achten, dass leichte Bauteile richtig fixiert sind, damit sie nicht eingesogen werden. Schüttgut kann derzeit noch nicht ionisiert werden und Geometrien < 3 mm ebenfalls nicht.

Durch die Neutralisation der elektrostatischen Aufladung wird z. B. die Lackapplikation vereinfacht und der Staubeintrag in die Lackschicht erheblich reduziert. Die Ionisation wird in vielen Bereichen eingesetzt, z. B. vor der Bedruckung und Lackierung von Bauteilen, vor dem Rollenoffsetdruck, zur Reinigung von Transporttrays, Transportbändern, Leiterplatten, Glasgewebe, Laminatplatten, Papierbahnen, Leder, Folien, Glas- und Kunststoffplatten.

Mit einer Ionenblaspistole werden kleinere Bauteile von Hand entladen und können dann staubfrei dem Druckprozess zugeführt werden oder das Bauteil wird vor der Bedruckung durch eine stationäre Baugruppe über dem Einlaufschlitten ionisiert, um den durch Zwischenlagerung und Transport anhaftenden Staub zu entfernen (vgl. Bild 2.14).

Die dargestellte Ionisationseinheit neutralisiert nicht nur die Ladungen, sondern saugt gleichzeitig die jetzt losen Staubpartikel von der Oberfläche ab, d. h. Ionisation und Reinigung erfolgen in einem Schritt. Auf diese Weise wird ein schlechtes Druckbild durch Staubeinschlüsse vermieden.

Meist lädt sich der Tampon bei der Deformation zur Farbübertragung elektrostatisch auf. Daher ist es sinnvoll, den Tampon bei der Deformation und bei der Entspannung zu ionisieren. Hierbei ist darauf zu achten, dass die zur Ionisation benötigte

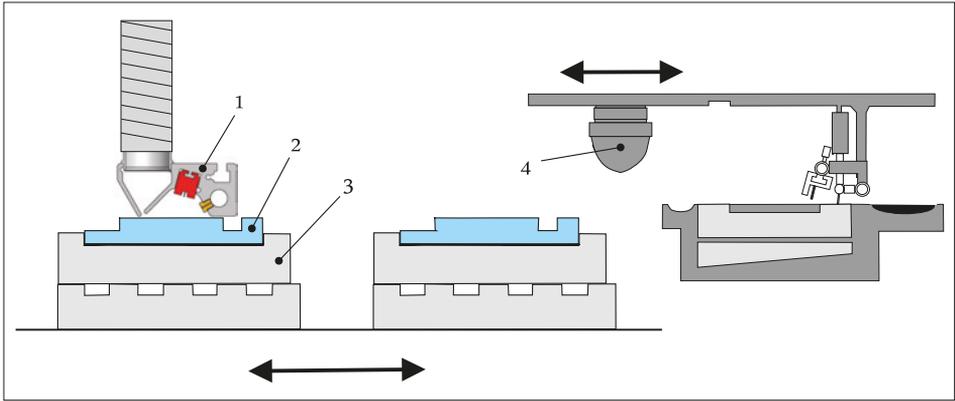


Bild 2.14 Ionisationseinheiten beim Tampondruck (Werkbild: Dr. Escherich GmbH) [11];
1 = Ionisations-/Reinigungseinheit, 2 = Kunststoffteil, 3 = Bauteilträger, 4 = Drucktampon

Druckluft nicht direkt auf das Klischee geblasen wird, da dadurch die Farbe zu schnell antrocknen würde.

Damit die Endqualität lackierter Bauteile gewährleistet wird, müssen vor dem Lackauftrag anhaftende Partikel, wie Staub, Kunststofflitter etc. abgereinigt werden. Bild 2.15 zeigt eine Einheit für flächige Bauteile am Einlauf in die Lackierstraße. Der Hängeförderer führt die bestückte Lackieraufnahme an der Ionisationseinheit vorbei und dreht diese, sodass die Oberflächen aller Bauteile abgereinigt werden. Die integrierten Entladeeinheiten neutralisieren die elektrostatischen Ladungen der Oberfläche und sorgen dafür, dass sich die Verunreinigungen leichter ablösen lassen. Die rotierenden Düsen erzeugen einen turbulenten Luftstrom, der die Schmutzpartikel mit sich reißt, die im Laminarluftstrom der Kabine abgeführt werden.

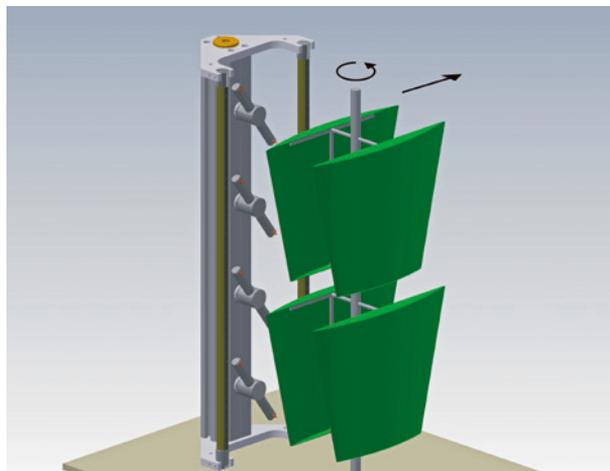


Bild 2.15 Ionisationseinheit in der Lackierlinie (Werkbild: Dr. Escherich GmbH) [12]

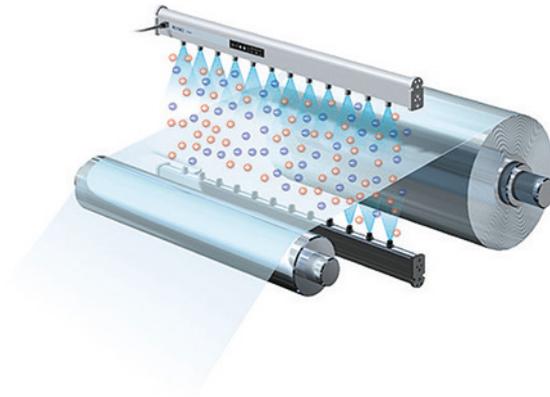


Bild 2.16 Ionisation von Bahnenware (Werkbild: Keyence Corporation) [13]

Um Kunststoffbahnen, Folien und Platten beschichten, bedrucken, veredeln oder laminieren zu können, sind Ionisationseinheiten im Prozess unabdingbar. In der SJ-G Serie von Keyence (Bild 2.16) wird Luft direkt an der Elektrode vorbeigeführt, um durch weniger Verschmutzung eine längere Standzeit der Elektrodenspitzen zu ermöglichen.

Ohne die Aufhebung der Abstoßungskräfte durch Neutralisation der Ladungen ist ein hochwertiger Beschichtungsvorgang nur schwer realisierbar. Ist die Oberfläche zusätzlich noch vom Beschneiden oder Stanzen verschmutzt, bietet sich auch hier eine Kombination aus Neutralisation und Reinigung an. Hierbei wird die Bahn zunächst entladen, die jetzt losen Partikel von einer Rotationsbürste erfasst und der Absaugereinheit zugeführt, sodass dem Veredelungsschritt eine saubere Oberfläche zur Verfügung gestellt wird.

Die Ionisationseinheiten mit rotierenden Komponenten müssen berührungssicher aufgebaut werden. Mittels eines Elektrofelmeters kann die statische Aufladung der Bauteile bzw. der Bahnenware ermittelt werden. Hierfür stehen Handgeräte und Inline-Systeme zur Verfügung. Für die Ermittlung der Anzahl der anhaftenden Schmutz- und Staubpartikel kommen Inspektionssysteme zum Einsatz.

2.3.5 Trockeneisreinigung

Trockeneis ist die feste Form von Kohlendioxid (CO_2). Die Reinigungswirkung eines Trockeneisstrahls ist vergleichbar mit dem bekannten Sandstrahlverfahren oder dem Hochdruckreinigen mit Wasser. Als Strahlmedium wird hier anstelle von Sand oder Wasser Trockeneis eingesetzt, das keinerlei Rückstände, wie Strahlgut oder Feuchtigkeit hinterlässt.

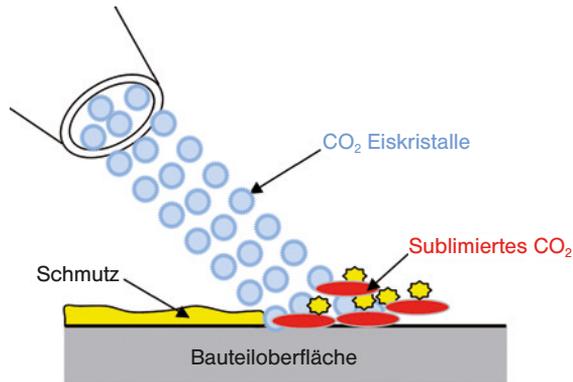


Bild 2.17 Prinzip Trockeneisreinigung (Werkbild: Venjakob GmbH) [15]

Die CO₂-Partikel mit einer Temperatur von $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ treffen durch Druckluft beschleunigt nahezu mit Schallgeschwindigkeit auf die verschmutzte Bauteiloberfläche und erzeugen dort eine plötzliche, punktuelle Abkühlung. Die Verschmutzung versprödet, ihre Elastizität und Haftfähigkeit wird vermindert. An der Grenzfläche zwischen Verschmutzung und Bauteiloberfläche entstehen aufgrund deren unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten mechanische Spannungen. Die Aufprallenergie, die aus der Masse der Trockeneispartikel und deren Geschwindigkeit resultiert, hilft die Verschmutzung zu durchdringen und zu unterwandern [14]. Das Trockeneis sublimiert bei seinem Aufprall augenblicklich in den gasförmigen Zustand, wobei sich sein Volumen schlagartig um das 600-fache vergrößert. Auf diese Weise wird die bereits gelockerte Verschmutzung vom Basismaterial abgesprengt und vom Druckluftstrom fortgetragen (Bild 2.17).

Das Trockeneisstrahlen mittels zylindrischer Pellets bzw. mit vom Trockeneisblock geschabten Partikeln hat sich zur Reinigung von Kunststoffoberflächen nicht etabliert. Diese beiden Verfahren lassen sich aufgrund der externen Erzeugung der Pellets bzw. der Blöcke nicht automatisieren und die relativ harten und bis zu Reiskorngröße eingesetzten Pellets beeinflussen mechanisch die Bauteiloberfläche. Des Weiteren sind die Investitions- und Betriebskosten für diese beiden Verfahren sehr hoch.

Bei Kunststoffoberflächen kommt deshalb die Schneestrahlschneetechnik zum Einsatz, bei der die Trockeneispartikel direkt im Gerät aus flüssigem CO₂ produziert werden. Das flüssige CO₂ wird der Anlage in einem Niederdrucktanksystem zur Verfügung gestellt und durch eine vom Anlagenhersteller entwickelte Pumpstation zur Düse gefördert. Ein Gemisch aus Druckluft, CO₂ und CO₂-Schneepartikeln trifft auf die Oberfläche und löst die Verunreinigungen ab. Die Partikelgröße variiert je nach eingesetzter Düse und Einstellparametern von 1 bis 200 μm . Damit kann auf unterschiedliche Reinigungsanforderungen reagiert werden. Je nach Anwendung kommen Runddüsen mit hoher punktueller Reinigungskraft oder Flachstrahldüsen mit breiter, gleichmäßiger Reinigungsleistung zum Einsatz (Bild 2.18).



Bild 2.18 links: Runddüse (CleanIce-Perfect); rechts: Flachdüse (CleanIce-DustFree)
(Werkbild: Venjakob GmbH) [15]

Dieses Reinigungsverfahren kann für die unterschiedlichsten, festen Oberflächen aus Kunststoff, Metall, Verbundwerkstoffen, Glas, Keramik sowie Halbleiterelementen eingesetzt werden. Es werden Verschmutzungen wie beispielsweise interne und externe Trennmittel, Fingerabdrücke, Produktionsstaub, Schneidemulsionen, Flussmittlrückstände, Laserschmauchspuren, Staub, Späne etc. rückstandsfrei entfernt.

Mit den kleinen Schneepartikeln können selbst fein strukturierte oder hochglänzende Oberflächen gereinigt werden. Da der Trockeneisschnee nur eine geringe Härte besitzt, hat der Reinigungsstrahl keine abrasive Wirkung, sodass es sich hierbei um ein effektives und schonendes Reinigungsverfahren handelt. Die Partikel entfalten ihre Reinigungswirkung beim direkten Auftreffen auf die Oberfläche, d. h. die Düse muss bei komplexen Geometrien und Hinterschnitten entsprechend nachgeführt werden, um die komplette Bauteiloberfläche zu erfassen. Die Werkstücke können direkt nach der Reinigung lackiert werden [16]. Das Verfahren ist voll automatisierbar und lässt sich in Lackier- oder Fertigungslinien integrieren.

Es sind CO₂-Schneestrahldüsen für die unterschiedlichsten Einsatzgebiete verfügbar. So ermöglichen Düsen mit punktförmiger Strahlgeometrie die gezielte, selektive Reinigung von Funktionsflächen, wie z. B. Klebe- oder Dichtflächen. Für die wirtschaftliche Reinigung großflächiger Bauteile, wie z. B. Kunststoffstoßfänger, wurden Düsen-Arrays und Flachdüsen entwickelt.

Das Verfahren ist umweltneutral, da das aus der Atmosphäre gewonnene CO₂ wieder in diese zurückkehrt. Beim Abreinigen z. B. von Lackschichten sind lediglich die abgetragenen Partikel zu entsorgen. Es fallen sonst keine Rückstände an. Ein grundsätzliches Problem dieses Reinigungsverfahrens stellt die hohe Geräuschemission dar. Es ergeben sich Werte von bis zu 130 dBA im hochfrequenten Bereich. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die Einheit in einer schallisolierten Kabine zu betreiben, um die Schallemissionen zu senken.



Bild 2.19 Niederhaltesystem für Kleinteile (Werkbild: Venjakob GmbH) [15]

Da dieses Verfahren mit einem Hochgeschwindigkeitsstrahl arbeitet, müssen alle Werkstücke, insbesondere die Kleinteile fixiert werden, um ein Abheben dieser (z. B. von der Lackieraufnahme) zu verhindern (Bild 2.19).

Durch die optimale Oberflächenreinigung wird die Qualität des nachfolgenden Prozessschrittes, wie Bauteilaktivierung oder Beschichtung, wesentlich verbessert.

Die CO₂-Reinigung hat sich mittlerweile in nahezu allen Industriebranchen etabliert, z. B. in der Automobil-, Elektronik-, Kunststoff-, Gummi- und Lebensmittelindustrie, in den Bereichen Chemie und Pharma, in Gießereien und Druckereien sowie in der Luftfahrt-, Verkehrs-, Energie- und Dienstleistungsindustrie.

Die Versorgung der Reinigungskabinen bzw. der Bereiche mit Frischluft, in denen mit CO₂ gearbeitet wird, ist zu gewährleisten, um unnötig hohe CO₂-Konzentrationen zu vermeiden. Wird die Trockeneisreinigung manuell durchgeführt, sind Schutzbrille, Schutzkleidung, Handschuhe und Gesichtsschutz zu tragen, um Erfrierungen der Haut bei Kontakt mit dem Trockeneis zu vermeiden. Die hohen Schallemissionen erfordern das Tragen eines geeigneten Gehörschutzes.

Die Prozesssicherheit wird durch eine Prozessdatenkontrolle gewährleistet.

Bei filmischen Verschmutzungen kann die Reinigungswirkung des Verfahrens mithilfe der laserinduzierten Fluoreszenzspektroskopie oder der Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometrie (TOF-SIMS-Verfahren) überprüft werden. Durch Partikelzählssysteme oder Oberflächeninspektionssysteme werden einfache (staub-ähnliche) Verschmutzungen erfasst und die Reinigungswirkung beurteilt.

2.3.6 Laserreinigung

Die Erzeugung von Laserstrahlung basiert auf dem Prinzip der elektrisch stimulierten Emission von Licht. Hierbei wird ein aktives Medium über eine Energiezufuhr angeregt. Durch diese Anregung emittiert der Stoff einen gebündelten Lichtstrahl, je nach Bauart kontinuierlich oder gepulst. Als Mittler kommen unterschiedliche

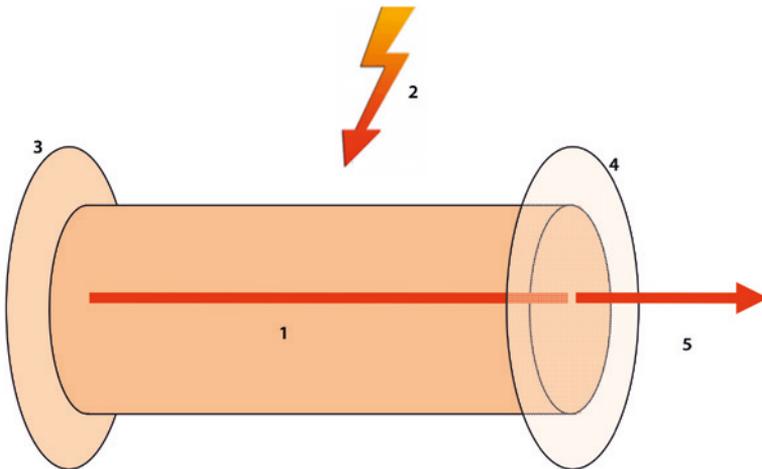


Bild 2.20 Prinzip der Laserstrahlerzeugung (Werkbild: SLCR GmbH) [17]
 Hauptbestandteile: 1. aktives Medium, 2. Pumpenergie, 3. Spiegel,
 4. teildurchlässiger Spiegel, 5. Laserstrahl

Materialien zum Einsatz, z. B. Gase, Festkörper oder Flüssigkeiten. Die Energiezufuhr (Anregung) variiert in Zusammenhang mit dem aktiven Medium und Bauart des Lasers. Je nach verwendeter Substanz und Art der Anregung weißt der Lichtstrahl unterschiedliche Wellenlänge und Intensitäten auf.

Die Oberflächenbearbeitung mittels Laser basiert auf dem Prinzip Transmission, Reflektion oder Absorption. Organische und anorganische Werkstoffe reagieren sehr unterschiedlich auf die gleiche Wellenlänge. So weisen Metalle insbesondere Kupfer einen hohen Reflektionsgrad für Laserstrahlung auf, je nach Wellenlänge weit über 90 %. Daher kommt Kupfer als Spiegelmaterial zur Umlenkung des Laserstrahls zur Anwendung.

Der ideale Bearbeitungszustand liegt beim Abtragen (Entschichten, Entlacken) vor, wenn die Elemente, die von der Oberfläche entfernt werden sollen, hinsichtlich der genutzten Wellenlänge, eine hohe Absorption aufweisen und die darunterliegende Fläche stark reflektiert. So lassen sich die zu entfernenden Layer abtragen, ohne dass dies zu einer Beschädigung des Grundmaterials führt. Bei transparenten Schichten wird der Effekt genutzt, dass diese durch die Reaktion in der Grenzschicht abgelöst werden können. Dadurch ergeben sich hervorragende Bearbeitungsmöglichkeiten z. B. beim Reinigen von Werkzeugen oder Formen.

Die erzeugte Laserstrahlung wird beim Austritt aus dem Laser mit Hilfe optischer Elemente, Spiegel oder Lichtleitfasern zu dem Bearbeitungskopf geführt. Die im Kopf verbaute Fokussieroptik bündelt den Laserstrahl. Über eine Ablenkeinheit (oszillierend drehende, rotierende, linear bewegte oder andere Spiegel) wird der Strahl über die Oberfläche geführt, um so eine flächige Bearbeitung zu ermöglichen.

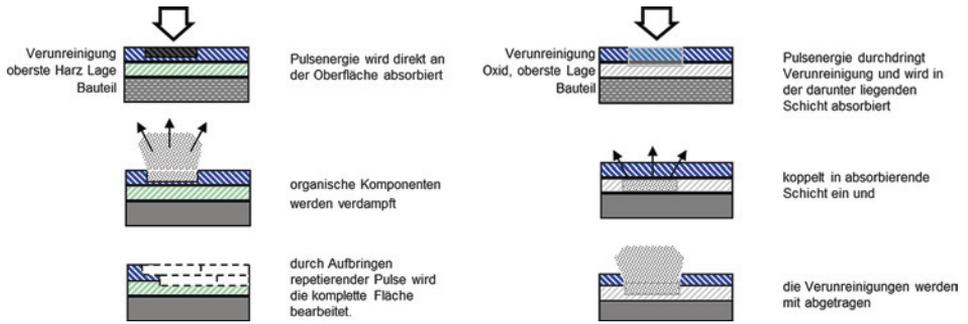


Bild 2.21 Grundsätzliches Bearbeitungsprinzip, bei absorbierender (links) und transparenter (rechts) Grenzschicht. Je nach Anwendung und Bearbeitungsziel kann der Prozess auch nach anderen Wirkprinzipien erfolgen (Werkbild: SLCR GmbH) [17]

Während der kurzen Einwirkzeit des Lasers auf der Oberfläche (bei Absorption) wird das Material sublimiert oder verdampft. Die abgetragenen Partikel bzw. entstehenden Dämpfe werden über eine Absaugung abgeführt. Der kurzzeitige Kontakt des Laserstrahls mit der Oberfläche kann auf zwei Arten realisiert werden. Entweder durch einen gepulsten Eintrag der Strahlung, im Bereich typischerweise kleiner eine μs pro Puls, oder durch das sehr schnelle Bewegen des kontinuierlichen Strahls über die Oberfläche. Die Wirkmechanismen sind dabei jedoch sehr unterschiedlich, was einen großen Einfluss auf die Materialverträglichkeit hat. Die mit einem Puls oder einer Überfahrt entfernte Materialmenge ist mit einem Volumen, von wenigen μm^3 sehr gering. Die hohe Pulsfrequenz des Lasers (im kHz Bereich) und das schnelle Scannen über die Oberfläche ermöglichen es große Flächen schnell und effizient zu bearbeiten.

Eine weitere Möglichkeit des Abtrags, also Verschmutzung oder Beschichtungen von der Oberfläche zu entfernen, besteht darin, die Zwischenschicht, z. B. den Übergang zwischen Metall und Kunststoff soweit anzuregen, dass die Verschmutzung von der Oberfläche abplatzt oder die Verbindung sich löst. Anschließend kann die abgelöste Schicht flächig abgenommen oder abgelöste Partikel von der Oberfläche abgeblasen werden.

Mit Lasern können quasi alle organischen und anorganischen Materialien bearbeitet werden. Vom Papier über Holz, Kunststoffe, Faserverbundwerkstoffe, Glas und verschiedene Metalle oder Legierungen gibt es mittlerweile kaum ein Material, welches nicht mittels Laser bearbeitet wird. Die Materialeigenschaften bestimmen die Auswahl des geeigneten Lasersystems [18].

Die Vorteile der Oberflächenreinigung durch den Laser liegen auf der Hand. Gearbeitet wird mit Licht, so dass keinerlei Produktionsrückstände entstehen, die aufwändig zu entsorgen sind. Das abgetragene Material kann über einen Partikelfilter aufgenommen oder flächig abgelöste Schichten der Reststoffverwertung zugeführt werden.

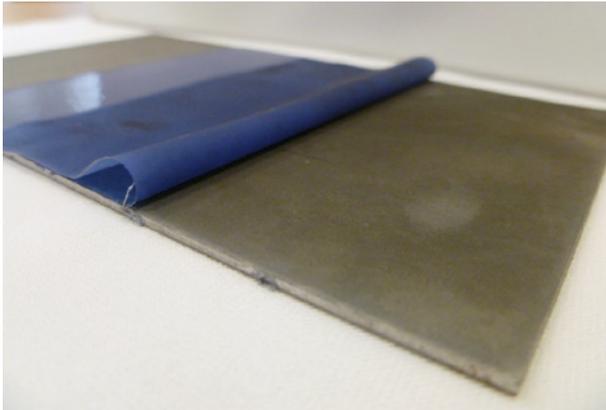


Bild 2.22 Ablösung einer transparenten Schutzschicht (Verunreinigung) von einem metallischen Untergrund (Werkbild: SLCR GmbH) [17]

Es findet eine medienfreie und berührungslose Bearbeitung statt, da der Abtrag durch das energiereiche Licht erfolgt, wodurch das Verfahren eines der saubersten Reinigungsverfahren ist. Die Reinigungsleistung dieser Methode ist sehr hoch, so dass auch schnelllaufende Prozesse bedient werden können. Die kurze Einwirkdauer des Strahls auf die Oberfläche, sowie die ortsselektive Bearbeitung des Materials sorgen für eine schonende Bearbeitung. Die Lasereinheiten bauen sehr klein, so dass diese auch sehr gut nachträglich in bereits bestehende Produktionslinien zu integrieren sind. Auf Produktwechsel beziehungsweise Chargenwechsel reagiert das System innerhalb von Sekunden, da die Steuerung nur das entsprechende Programm auszuwählen braucht. Die Betriebskosten eines Laserreinigungssystems belaufen sich lediglich auf die Stromkosten und den Ersatz von Verschleißteilen. Laufende Kosten für Reinigungs- beziehungsweise Strahlmittel und deren Entsorgung gibt es nicht. Wo Licht ist, ist auch Schatten, das heißt die Bearbeitung von Oberflächen mit dem Laser ist nur an sichtbaren Bereichen möglich. Hinterschnittene Geometrien lassen sich nicht oder nur durch das Einbringen weiterer optischer Elemente bedingt ermöglichen. Sollen große Flächen in kurzer Zeit von dicken Schichten befreit werden, so ist der Laser in manchen Fällen noch nicht die wirtschaftlichste Lösung.

Die Einsatzgebiete zur Oberflächenbearbeitung mittels Laser können in fünf Kategorien unterteilt werden. Dabei sind die Übergänge fließend und je nach Anwendung werden eine oder mehrere Aufgaben gleichzeitig erfüllt.

1. Vorbereiten/Aktivieren

Hierzu gehören Anwendungen, bei denen Oberflächen gereinigt oder modifiziert werden, um diese für nachfolgende Bearbeitungsschritte vorzubereiten. Dabei steht meist eine höhere Haftfestigkeit beim Kleben und Lackieren oder eine bessere Verarbeitung der Oberfläche beim Lötten und Schweißen im Vordergrund.

2. Entschichten/Entlacken

Sowohl im Bereich der Herstellung und Produktion aber insbesondere im Bereich von Wartung und Instandhaltung ist es oft erforderlich ganze Bauteile, Bauteilbereiche oder ganz gezielt begrenzte Flächen von Beschichtungen zu befreien. Dies kann durch vollständiges Entfernen der ganzen Schicht, sowie selektiv durch Entfernen einzelner Layer bei mehrschichtigen Lackaufbauten erfolgen. Durch diese Technik können kosten- und zeitaufwendige Maskierungsarbeiten entfallen. Weiterhin lässt sich der Prozess bei Instandhaltungsmaßnahmen und Wartungsarbeiten schonend und gezielt einsetzen.

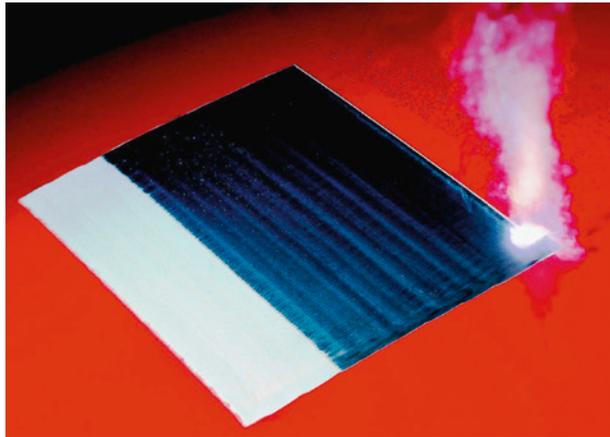


Bild 2.23 Abtrag einzelner Lackschichten; bis auf den Primer (weißer Bereich) und bis auf den Grundwerkstoff (schwarzer Bereich) (Werkbild: SLCR GmbH) [17]

3. Reinigen

Das Entfernen von Öl, Fett, Schmutz, Trennmittelresten, Produktrückständen oder anderen Kontamination kann mittels Laser schnell gezielt und ohne Hilfsmittel erfolgen. Ein besonderer Vorteil bei vielen Anwendungen ist die verschleißfreie Reinigung mittels Laser, so dass die Standzeit von Formen oder Werkzeugen deutlich erhöht ist. Zudem ist ein Vor- oder Nachbehandlung meist nicht notwendig.

4. Abtragen

Manche Anwendungen fordern den Abtrag der oberen Schichten. Es werden von Metallen gezielt Oxidschichten entfernt oder diese aufgeraut. Von Faserverbundwerkstoffen lassen sich die Harzschichten abtragen und die Fasern freilegen, um gezielt Reparaturen durchzuführen. Dabei kann durch das Einstellen der Parameter ein sehr feiner gezielter und kontinuierlich reproduzierbarer Abtrag erreicht werden.

5. Markieren/Gravieren

Eine weitere Form der Oberflächenbearbeitung ist das Markieren. Bei dieser Variante werden Daten, Informationen oder Logos aufgebracht, die zur Bauteilidentifizierung oder -kennzeichnung dienen.

Die Einhaltung der Arbeitsplatzsicherheit ist zwingendes Kriterium zur Nutzung von Lasern. Im Bereich der Oberflächenbearbeitung kommen meist Laser der Laserklasse IV zum Einsatz. Daher ist eine Umhausung dieser Bereiche zur Vermeidung des Austritts von Laserstrahlung erforderlich. Des Weiteren ist es notwendig, den Arbeitsplatz gegen unbefugtes Betreten zu schützen. Dies gehört zum Standard heutiger Lasersysteme und stellt in den meisten Fällen keine große Herausforderung dar.

Ist der Aufenthalt von Personen im Gefahrenbereich unumgänglich, z. B. bei einer manuellen Bearbeitung oder aus anderen Gründen, so ist darauf zu achten, dass die Augen keiner indirekten Laserstrahlung ausgesetzt werden. Das Tragen von Laserschutzbrillen ist unerlässlich.

Die Effektivität der Laserreinigung lässt sich in vielen Fällen unmittelbar visuell überprüfen. Geht es um die Abreinigung von filmischen Verschmutzungen, so ist die Überprüfung mit laserinduzierter Fluoreszenzspektroskopie möglich. Ist eine definierte Oberflächenaufräufung das Ziel, so geben Untersuchungen mittels AFM (Rasterkraftmikroskopie) oder Weißlichtinterferometrie Aufschluss über die erzeugte Rauheit.

2.3.7 Nasschemische Reinigung

Dieses Reinigungsverfahren ist sicherlich die effektivste und intensivste Möglichkeit, Bauteile von Verschmutzungen aller Art zu reinigen. Mithilfe dieser Technologie können Kleinteile als Schüttgut in Einkammeranlagen gereinigt werden. In großen 5-Zonen-PowerWash-Anlagen werden Bauteile, wie z. B. Stoßfänger, Schweller, Windabweiser, direkt in der Lackieranlage gereinigt.

Die Anlagen arbeiten alle nach dem gleichen Prinzip: waschen – spülen – trocknen. In den Anlagen für Schüttgut werden die Teile in Körben eingebracht, gereinigt, mit vollentsalztem Wasser (VE-Wasser) gespült und anschließend getrocknet. Die Trocknung erfolgt mittels Umluft- oder Kondensationstrockner. Aufgrund der Baugröße ist mit diesem Anlagentyp eine Vakuumtrocknung möglich, sodass auch Kapillar- bzw. Problemgeometrien den Prozess optimal getrocknet verlassen.

Muss ein größeres Teileaufkommen gereinigt werden, kommen mehrstufige Wasch- und Spülsysteme mit Heißlufttrocknung zum Einsatz. Hierbei werden die Teile getaucht und eine flächendeckende Reinigung erzielt. Durch Dreh-, Schwenk- und Hub-/Senkbewegungen der Warenkörbe wird die Reinigungs- und Trocknungswirkung unterstützt.

Große Bauteile, wie sie z. B. im Exterieurbereich bei Automobilen zum Einsatz kommen, durchlaufen auf den bestückten Skids eine 5-Stufen-Waschanlage. Dort werden Verschmutzungen aller Art, wie Produktionsrückstände, Fingerabdrücke, Blütenstaub, Ablagerungen von Staplerabgasen etc. abgereinigt.

In der ersten Stufe findet die Reinigung und Entfettung der Teile statt. Je nach Verunreinigung werden saure, alkalische oder neutrale Reiniger auf die Teile gespritzt, die die unerwünschten Stoffe von der Oberfläche lösen beziehungsweise emulgieren oder diese durch die hohe kinetische Energie des Spritzstrahls wegschwemmen. Der Reinigung schließen sich drei Zonen an, in denen die Werkstücke mit VE- und Stadtwater gespült werden. In der letzten, der 5. Stufe wird nur VE-Wasser (Deionat) auf die Teile gesprüht, um eventuelle Rückstände, die das Stadtwater beim Trocknen hinterlässt, auszuschließen.

Die nachfolgende Abblaszone, die die bestückten Skids durchlaufen, dient zunächst zum Ausblasen der Wassernester in den Werkstückvertiefungen. Anschließend wird der Wasserfilm von der Werkstückoberfläche abgeblasen und die evtl. am Rand hängenden Tropfen gezielt entfernt. Nun passieren die Skids mit den Bauteilen den Umlufttrockner, der das verbliebene Haftwater trocknet. In der anschließenden Kühlzone werden die Werkstücke wieder auf Raumtemperatur gebracht und können der Lackierkabine zugeführt werden.

Kommt vor dem Auftrag des Basislacks eine weitere Reinigungsanlage zum Einsatz, dann besitzt diese nur drei Zonen. Da die Bauteile keine groben Verschmutzungen mehr sondern nur noch Feinstaub vom Zwischenschleifen aufweisen, werden mildere Reinigungszusätze verwendet. Um den Reiniger abzuspülen, reichen hier eine Spülstufe mit VE- und Stadtwater und die Zone mit reinem VE-Wasser aus. Es schließen sich Abblas-, Trocken- und Kühlzone an, bevor der Basislack appliziert wird.

Es können alle thermoplastischen Kunststoffe gereinigt werden. Da die Werkstücke eine 3- oder 5-Stufen-Waschanlage durchlaufen, ist die Temperatur des Haftwassertrockners von 80 bis 100 °C zu berücksichtigen. Die Thermoplasteile müssen nahezu formschlüssig aufgenommen werden, damit es durch die bei diesen Temperaturen ggf. stattfindende Umorientierung der Molekülketten zu keinem Verzug der Bauteile kommt. Glasfaserverstärkte Bauteile aus Polyurethan-Schaum (RRIM) können ebenfalls die Reinigungsstationen durchlaufen.

Durch die große Anlagenvielfalt können mit diesem Verfahren alle Bauteilgeometrien und -größen entweder inline oder out-off-line gereinigt werden. Die Bauteile werden optimal auf den Beschichtungsprozess vorbereitet, da der eingesetzte Reiniger auf die Verschmutzung abgestimmt wird. So werden Thermoplaste z. B. mit alkalischen oder neutralen Reinigern behandelt und RRIM-Bauteile, wegen des vom Fertigungsprozess an der Oberfläche vorhandenen Zinkstearats, sauer gereinigt.

Aufgrund der aufwendigen Anlagentechnik und des hohen Energieverbrauchs handelt es sich um ein kostenintensives Verfahren, sowohl beim Invest als auch im

laufenden Betrieb. Die Wasserqualität der Reinigungs- und Spülbäder muss ständig kontrolliert werden, um die erwünschte Reinigungswirkung zu erzielen und die Verschmutzungen nicht zu verschleppen. Wird das anhaftende Wasser nicht komplett abgetrocknet, so kann es in die Lackschicht eingeschlossen werden und wirkt sich in Form von Blasen negativ auf das Lackierergebnis aus.

Seinen Hauptanwendungsbereich hat dieses Reinigungsverfahren im Automobilsektor. Hier werden in der Regel Exterieurteile, wie Stoßfänger, Schweller, Ramm-schutzleisten, Spiegelgehäuse, vor der Lackierung gereinigt. Den arbeitssicherheitstechnischen Anforderungen wird beim Bau der Anlagen Rechnung getragen. Beim Einfüllen, Wechseln bzw. Kontrollieren des Reinigungsbades muss wegen der eingesetzten Chemikalien geeignete Schutzkleidung getragen werden. Die Separierung der abgeschwemmten Schmutzpartikel erfolgt über Kammerfilterpressen in der Abwasseraufbereitung. Die so entstandenen Platten können entsprechend der Vorgaben entsorgt werden. Für das Wasser aus der Waschanlage sind die Einlassverordnungen der örtlichen Behörden zu beachten.

Mittels Partikelzählsystem kann die Reinigungswirkung des Verfahrens kontrolliert werden. Analytische Messverfahren, wie TOF-SIMS (Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometrie) oder ATR-Spektroskopie (Infrarotspektroskopie in abgeschwächter Totalreflexion), ermöglichen es, eine unbekannte Verschmutzung zu charakterisieren und das geeignete Reinigungsmittel zu wählen. Eine erneute Messung zeigt dann den Erfolg der Reinigung. Ansonsten müssen die Prüfmethode zur Lackhaftung, wie Gitterschnitt, Klima-Wechsel-Test oder Salzsprühtest die Effektivität der Methode nachweisen.

Wird trotz der durchgeführten Reinigung keine ausreichende Haftfestigkeit der Beschichtung auf dem Bauteil erzielt, muss zusätzlich eine Oberflächenaktivierung mit einem geeigneten Verfahren erfolgen.

■ 2.4 Aktivierungsverfahren

Um Polymere für Veredelungsschritte, wie Lackieren, Bedrucken, Verkleben, Beflocken, Kaschieren, zu modifizieren, gibt es eine Reihe von Verfahren. Alle diese Vorbehandlungsmethoden haben ihre Besonderheiten und sind deshalb für die eine oder andere Anwendung besonders geeignet. So sind für die Aktivierung von Kleinteilen als Schüttgut die Vakuumprozesse prädestiniert, für die Vorbehandlung großflächiger Teile in der Linie die Beflammung und Klebenuten werden mittels atmosphärischem Plasma optimal erfasst. Entscheidend für die Auswahl eines Verfahrens ist jedoch, dass Werkstoff, Aktivierung und Auftrag einen guten Verbund ergeben, um so allen Qualitätsprüfungen Stand zu halten.

2.4.1 Beflammung

Professor Werner Kreidl hat in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts in den USA erstmals eine Gasflamme zur Verbesserung der Haftfestigkeit auf Polyolefinen eingesetzt. Die Methode wurde deshalb zunächst als Kreidl-Verfahren bezeichnet.

Bei diesem Vorbehandlungsverfahren kommt die Polymeroberfläche kurzzeitig mit einer Gasflamme in Kontakt. Die hochreaktiven Spezies in der Flamme brechen Molekülbindungen an der Substratoberfläche auf und es können sich sauerstoffhaltige, polare Gruppen anlagern, die die Benetzbarkeit des Substrats verbessern (vgl. Bild 2.24).

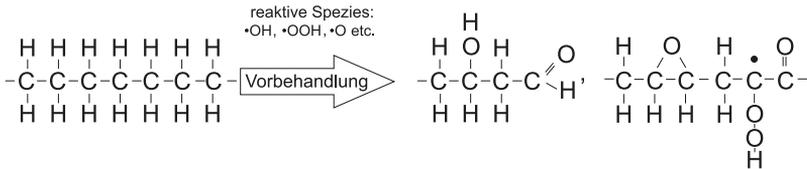
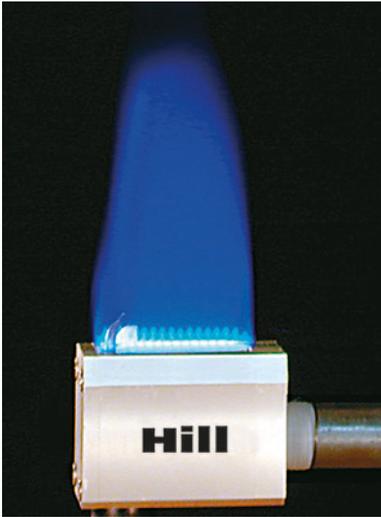


Bild 2.24 Anlagerung von sauerstoffhaltigen, funktionellen Gruppen in eine Polyethylenkette

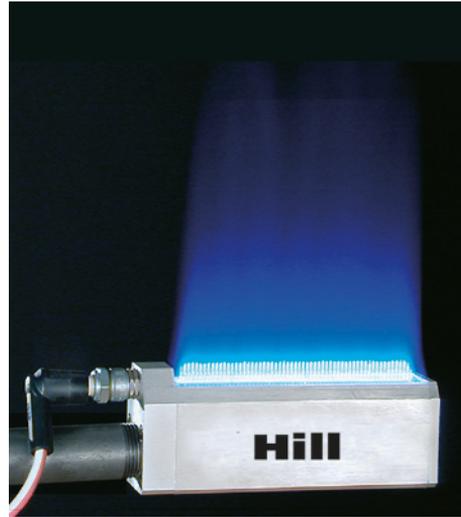
Für die Beflammung kommen Gasgemische zum Einsatz, die üblicherweise aus Luft und Methan, Propan oder Butan bestehen. Mit einem Gasgemisch, dessen Luftanteil leicht oberhalb eines stöchiometrischen Gemischs liegt (leicht mageres Gemisch), wird meist ein guter Behandlungserfolg erzielt. Für die oxidierende Wirkung der Flamme ist der beim Verbrennungsprozess aus der Umgebungsluft herangezogene Sauerstoff und vor allen Dingen der Sauerstoff aus dem zugeführten Luft-Gas-Gemisch von Bedeutung. Das optimale Gemisch muss für den vorliegenden Anwendungsfall immer ermittelt werden. Die Flamme besteht aus mehreren Zonen. Die hellblaue Zone direkt am Düsenausgang wirkt reduzierend und ist für die Vorbehandlung weniger geeignet. Die für die Aktivierung relevante, aktive Zone liegt innerhalb der Hüllflamme.

Das Vorbehandlungsergebnis wird in hohem Maße von der Auswahl des richtigen Brennertyps bestimmt. In der erzeugten Flammgeometrie und der Wärmeleistung unterscheiden sich die Brenner. Der aktive Bereich der Flamme ist so zu wählen, dass die Geometrie des zu behandelnden Substrats bestmöglich erfasst wird. Grundsätzlich wird zwischen ein- und dreireihigen Brennern unterschieden:

- Die „weiche“ Flamme der einreihigen Brenner (Bild 2.25) wird für ebene bis schwach strukturierte Flächen eingesetzt. Die aktive Zone liegt zwischen 20 und 80 mm.
- Dreireihige Brenner (Bild 2.26) arbeiten mit überhöhter Ausströmgeschwindigkeit, um einen besonders langen, aktiven Bereich auszubilden. Um das Abheben der Flamme zu verhindern, werden beidseitig Pilotflammen gebildet, die die Hauptflamme permanent nachzünden [19]. Diese Brennertypen werden zur Vor-

**Bild 2.25**

Einreihiger Standardbrenner, Serie 42
(Werkbild: Hill GmbH) [19]

**Bild 2.26**

Dreireihiger Hochleistungsbrenner, Serie 226
(Werkbild: Hill GmbH) [19]

behandlung von Flächen bei hohen Geschwindigkeiten z. B. bei robotergeführten Beflammungsköpfen und für mittel bis stark strukturierte Formteile verwendet (aktiver Bereich 20 bis 150 mm bzw. 40 bis 250 mm).

Neben dem Brennertyp beeinflussen das Mischungsverhältnis, die Leistung (Durchflussmenge), der Abstand und die Behandlungsgeschwindigkeit (Behandlungszeit) entscheidend das erzielbare Ergebnis, da diese voneinander abhängen (siehe Bild 2.27). Die optimale Abstimmung und Einhaltung dieser Parameter ist für eine reproduzierbare Vorbehandlung entscheidend.

Der Energieeintrag in die Oberfläche wird durch die Leistung und die Geschwindigkeit bestimmt. Für die Flammencharakteristik, d. h. die Temperatur, die Ionenverteilung und die Länge der aktiven Zone ist die Brennerleistung die bestimmende Größe. Ändert sich die Leistung, ändert sich auch die Flammenlänge, was ggf. einer Korrektur vom Brennerabstand zum Substrat bedarf. Die Brennerleistung wird in kW angegeben und ist direkt proportional zur Durchflussmenge der Gase. Wird zu wenig Energie in die Oberfläche eingetragen, wird die Oberflächenenergie nur unzureichend erhöht. Ist der Energieeintrag zu hoch, kann die Oberfläche anschmelzen. Die polaren Gruppen orientieren sich dann nach innen und es ist keine Aktivierung messbar. Treten Mattierungen oder Glanzstellen auf, stellen diese zwar eine optische Beeinträchtigung dar, die Vorbehandlung ist jedoch unverändert vorhanden. Die Arbeitsgeschwindigkeit wird in der Regel vom Prozess, in den die Vorbehandlungsstation integriert wird, vorgegeben, sodass die anderen Parameter angepasst werden müssen.