

Karlsruhe – Strasbourg  
o. Prof. Dr. O. Rentz  
Prof. Dr. L. Zilliox

**Deutsch-Französisches Institut für  
Umweltforschung (DFIU)**

**Institut Franco-Allemand de Recherche sur  
l'Environnement (IFARE)**

**Bericht über  
Beste Verfügbare Techniken (BVT) im Bereich  
der Lack- und Klebstoffverarbeitung in Deutschland**

**-Teilband I: Lackverarbeitung-**

Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU)

Universität Karlsruhe (TH)

o. Prof. Dr. O. Rentz

N. Peters, S. Nunge, J. Geldermann, O. Rentz

Karlsruhe, August 2002

**Band I: Lackverarbeitung  
Band II: Klebstoffverarbeitung**

---

# Inhaltsverzeichnis

## Zusammenfassung

|  |      |
|--|------|
| Allgemeine Informationen   | I    |
| I Gegenstand des Dokumentes  | I    |
| I.1 Kontext  | I    |
| I.1.1 Umweltgefährdung   | I    |
| I.1.2 Bedeutung der IVU-Richtlinie   | II   |
| I.1.3 Begriffsdefinition "Beste Verfügbare Techniken"  | II   |
| II Relevante deutsche und internationale umweltrechtliche Regelwerke   | III  |
| II.1 Internationale Verpflichtungen  | IV   |
| II.1.1 UN/ECE Konvention über den grenzüberschreitenden Ferntransport von Luftschadstoffen und ihre Folgeprotokolle                              | IV   |
| II.1.2 Die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen der Europäischen Union (NEC-Richtlinie)   | V    |
| II.1.3 Die Lösemittel-Richtlinie der Europäischen Union  | V    |
| II.2 Rechtsgrundlagen in Deutschland   | VI   |
| II.2.1 Gesetze   | VII  |
| II.2.1.1 Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)  | VII  |
| II.2.1.2 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)  | VII  |
| II.2.1.3 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)   | VII  |
| II.2.2 Verordnungen  | VIII |
| II.2.2.1 Bundesimmissionsschutzverordnungen (BImSchV)  | VIII |
| II.2.2.2 Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)   | VIII |
| II.2.2.3 Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (31. BImSchV) | IX   |
| II.3 Gegenstand des Forschungsvorhabens  | IX   |
| 1 Allgemeine Informationen über lösemittelanwendende Anlagen der Lackverarbeitung  | 1    |
| 1.1 Anforderungen an die Lackbeschichtung  | 1    |
| 1.2 Beschichtungsmaterialien   | 2    |
| 1.2.1 Lacksysteme  | 4    |
| 1.2.1.1 Lösemittelhaltige Lacksysteme  | 4    |
| 1.2.1.2 Wasserverdünnbare Lacksysteme  | 4    |
| 1.2.1.3 Strahlenhärtende Lacksysteme   | 5    |
| 1.2.1.4 Pulverlacke  | 5    |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 1.2.2    | Lackaufbau   | 6         |
| 1.3      | Umweltbelastungen  | 7         |
| 1.4      | Lackverbräuche und Emissionsentwicklung bei lackverarbeitenden Anlagen                             | 8         |
| 1.5      | Industrielle Tätigkeiten mit hohem Potential der Umweltbelastung                                   | 11        |
| 1.6      | Entwicklung bei der Lackverarbeitung   | 11        |
| <b>2</b> | <b>Automobilserienlackierung</b>   | <b>14</b> |
| 2.1      | Allgemeine Informationen   | 14        |
| 2.1.1    | Einteilung von Fahrzeugklassen (gemäß Richtlinie 70/156/EWG)                                       | 14        |
| 2.1.2    | Produktions- bzw. Absatzzahlen in der Automobilindustrie   | 15        |
| 2.1.3    | Emissionsgrenzwerte nach Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG der Europäischen Union | 16        |
| 2.1.4    | Qualitätsanforderungen   | 16        |
| 2.2      | Verwendete technische Prozesse und Verfahren   | 17        |
| 2.2.1    | Eingesetzte Lackmaterialien  | 19        |
| 2.2.2    | Lackierprozesse  | 22        |
| 2.2.2.1  | Lackauftragsverfahren  | 22        |
| 2.2.2.2  | Beschreibung der einzelnen Prozessschritte   | 23        |
| 2.3      | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte  | 34        |
| 2.3.1    | Verbrauch von Eingangsstoffen  | 34        |
| 2.3.2    | Emissionen in die Luft   | 35        |
| 2.3.3    | Abwasser   | 36        |
| 2.3.3.1  | Abwasser aus Vorbehandlung und KTL   | 36        |
| 2.3.3.2  | Abwasser aus den Lackierprozessen  | 36        |
| 2.3.4    | Abfälle  | 38        |
| 2.3.5    | Energiebedarf  | 41        |
| 2.3.6    | Kosten   | 41        |
| 2.4      | Ermittlung der BVT-Kandidaten  | 41        |
| 2.4.1    | Einsatz lösemittelarmer bzw. -freier Lacke   | 41        |
| 2.4.1.1  | Wasserverdünnbare Lacksysteme  | 43        |
| 2.4.1.2  | Pulvverlacke   | 43        |
| 2.4.1.3  | Einsatz emissionsarmer Auftrags- und Versorgungstechniken  | 46        |
| 2.4.1.4  | Ergänzende Maßnahmen im Lackierumfeld  | 47        |
| 2.4.1.5  | Maßnahmen zur Vermeidung von Abwasser  | 48        |
| 2.4.1.6  | Maßnahmen zur Verminderung von Abfällen  | 51        |
| 2.4.2    | Einsatz nachgeschalteter Verfahren   | 55        |
| 2.4.2.1  | Primärabscheidung der Lackpartikel   | 55        |
| 2.4.2.2  | Sekundärabscheidung der Lackpartikel   | 55        |
| 2.4.2.3  | Lösemittelaufkonzentrierung als Vorstufe zur Abscheidung   | 55        |
| 2.5      | Vorschlag der besten verfügbaren Techniken   | 56        |

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.6      | Neue fortschrittliche Verfahren                    | 58        |
| 2.7      | Schlussfolgerungen und Empfehlungen                | 64        |
| <b>3</b> | <b>Sonstige Fahrzeuglackierung</b>                 | <b>67</b> |
| 3.1      | Lackierung von Nutzfahrzeugen                      | 67        |
| 3.1.1    | Allgemeine Informationen                           | 67        |
| 3.1.2    | Verwendete technische Prozesse und Verfahren       | 68        |
| 3.1.2.1  | Lackierung von Fahrerhäusern                       | 69        |
| 3.1.2.2  | Lackierung von Lkw-Fahrgestellen                   | 69        |
| 3.1.2.3  | Lackierung von Nutzfahrzeugachsen                  | 70        |
| 3.1.3    | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte            | 70        |
| 3.1.3.1  | Verbrauch von Eingangsstoffen                      | 70        |
| 3.1.3.2  | Emissionen in die Luft                             | 71        |
| 3.1.3.3  | Abwasser   | 71        |
| 3.1.3.4  | Abfälle  | 72        |
| 3.1.3.5  | Energiebedarf                                      | 72        |
| 3.1.4    | Ermittlung der BVT-Kandidaten                      | 72        |
| 3.1.4.1  | Leichte Nutzfahrzeuge                              | 72        |
| 3.1.4.2  | Lkw-Fahrgestelle, Achsen und Fahrerhäuser          | 73        |
| 3.1.5    | Vorschlag für besten verfügbaren Techniken         | 74        |
| 3.1.6    | Neue fortschrittliche Verfahren                    | 75        |
| 3.2      | Lackierung von Bussen                              | 76        |
| 3.2.1    | Allgemeine Informationen                           | 76        |
| 3.2.1.1  | Qualitätsanforderungen                             | 77        |
| 3.2.2    | Verwendete technische Prozesse und Verfahren       | 78        |
| 3.2.2.1  | Vorbehandlung                                      | 79        |
| 3.2.2.2  | Grundierung / KTL                                  | 79        |
| 3.2.2.3  | Nahtabdichtung und Unterbodenschutz                | 79        |
| 3.2.2.4  | Füllerauftrag                                      | 80        |
| 3.2.2.5  | Decklackierung                                     | 80        |
| 3.2.2.6  | Hohlraumkonservierung                              | 80        |
| 3.2.2.7  | Anlagenbeispiele für die Lackierung von Omnibussen | 80        |
| 3.2.3    | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte            | 82        |
| 3.2.3.1  | Verbrauch von Eingangsstoffen                      | 82        |
| 3.2.3.2  | Emissionen in die Luft                             | 82        |
| 3.2.3.3  | Abwasser   | 83        |
| 3.2.3.4  | Abfälle  | 83        |
| 3.2.3.5  | Energiebedarf                                      | 83        |
| 3.2.4    | Ermittlung der BVT-Kandidaten                      | 84        |
| 3.2.5    | Vorschlag der besten verfügbaren Techniken         | 84        |
| 3.2.6    | Schlussfolgerungen und Empfehlungen                | 85        |
| 3.3      | Lackierung von Großfahrzeugen                      | 87        |
| 3.3.1    | Allgemeine Informationen                           | 87        |
| 3.3.2    | Verwendete technische Prozesse und Verfahren       | 87        |
| 3.3.3    | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte            | 88        |

---

---

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 3.3.4   | Ermittlung der BVT-Kandidaten   | 93  |
| 3.3.4.1 | Vorbehandlung   | 93  |
| 3.3.4.2 | Lösemittelarme bzw. -freie Lacksysteme  | 93  |
| 3.3.4.3 | Verbesserte Lackauftragsverfahren   | 93  |
| 3.3.4.4 | Abluftreinigungsverfahren   | 93  |
| 3.3.5   | Vorschlag der besten verfügbaren Techniken  | 94  |
| 3.3.6   | Neue fortschrittliche Verfahren   | 95  |
| 3.3.7   | Schlussfolgerungen und Empfehlungen   | 95  |
| <br>    |   |     |
| 3.4     | Lackierung von Wohnwagen und Wohnmobilen  | 96  |
| 3.4.1   | Allgemeine Informationen  | 96  |
| 3.4.2   | Verwendete technische Prozesse und Verfahren  | 96  |
| 3.4.3   | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte   | 96  |
| 3.5     | Flugzeuglackierung  | 97  |
| 3.5.1   | Instandhaltung  | 97  |
| 3.5.1.1 | Allgemeine Informationen  | 97  |
| 3.5.1.2 | Verwendete Prozesse und Verfahren   | 97  |
| 3.5.1.3 | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte   | 99  |
| 3.5.1.4 | Ermittlung der BVT-Kandidaten   | 101 |
| 3.5.1.5 | Auswahl der besten verfügbaren Techniken  | 101 |
| 3.5.2   | Flugzeugneubau  | 102 |
| 3.5.2.1 | Verwendete Prozesse und Verfahren im Flugzeugneubau                                 | 102 |
| 3.5.2.2 | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte   | 104 |
| 3.5.2.3 | Ermittlung der BVT-Kandidaten   | 106 |
| 3.5.2.4 | Vorschlag der besten verfügbaren Techniken  | 107 |
| 3.5.2.5 | Neue fortschrittliche Verfahren   | 107 |
| <br>    |   |     |
| 3.6     | Lackierung von Schienenwagen  | 108 |
| 3.6.1   | Allgemeine Informationen  | 108 |
| 3.6.2   | Verwendete technische Prozesse und Verfahren  | 108 |
| 3.6.2.1 | Vorbehandlung der Rohbaukarosse   | 111 |
| 3.6.2.2 | Grundierung (Außen und Innen)   | 111 |
| 3.6.2.3 | Spachteln   | 111 |
| 3.6.2.4 | Füller (i.d.R. nur Außen)   | 111 |
| 3.6.2.5 | Decklackierung (i.d.R. nur Außen)   | 112 |
| 3.6.2.6 | Unterbodenschutz  | 112 |
| 3.6.3   | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte   | 112 |
| 3.6.3.1 | Energiebedarf   | 114 |
| 3.6.4   | Ermittlung der BVT-Kandidaten   | 115 |
| 3.6.5   | Vorschlag der besten verfügbaren Techniken  | 116 |
| 3.6.6   | Neue fortschrittliche Verfahren   | 117 |
| 3.6.7   | Schlussfolgerungen und Empfehlungen   | 117 |
| <br>    |   |     |
| 3.7     | Schiffslackierung   | 118 |
| 3.7.1   | Allgemeine Informationen  | 118 |
| 3.7.2   | Verwendete technische Prozesse und Verfahren für die Lackierung von Handelsschiffen | 118 |
| 3.7.2.1 | Vorbehandlung   | 119 |
| 3.7.2.2 | Beschichtungen  | 121 |
| 3.7.2.3 | Auftrag des Primers   | 122 |

---

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.7.2.4  | Korrosionsschutz im Unterwasserbereich                           | 123        |
| 3.7.2.5  | Haftvermittler (Unterwasserbereich)                              | 123        |
| 3.7.2.6  | Antifouling (Unterwasserbereich)                                 | 123        |
| 3.7.2.7  | Grundierung  | 124        |
| 3.7.2.8  | Decklack   | 126        |
| 3.7.3    | Beschichtung von Yachten   | 126        |
| 3.7.3.1  | Vorbehandlung und Primerauftrag auf Schwarzstahl                 | 126        |
| 3.7.3.2  | Vorbehandlung und Primerauftrag auf Aluminium                    | 127        |
| 3.7.3.3  | Überwasserbereich und Aufbauten, Schwarzstahl: Zwischenanstrich  | 127        |
| 3.7.3.4  | Aufbauten, Aluminium: Zwischenanstrich                           | 127        |
| 3.7.3.5  | Spachteln  | 128        |
| 3.7.3.6  | Täuschungsanstrich / Füller                                      | 128        |
| 3.7.4    | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte                          | 128        |
| 3.7.4.1  | Emissionen in die Luft   | 130        |
| 3.7.4.2  | Abwasser   | 131        |
| 3.7.4.3  | Abfälle  | 132        |
| 3.7.4.4  | Energiebedarf  | 132        |
| 3.7.5    | Ermittlung der BVT-Kandidaten                                    | 132        |
| 3.7.6    | Auswahl der BVT-Kandidaten                                       | 134        |
| 3.7.7    | Neue fortschrittliche Verfahren                                  | 135        |
| <b>4</b> | <b>SERIENLACKIERUNG VON KUNSTSTOFFWERKSTÜCKEN</b>                | <b>139</b> |
| 4.1      | Allgemeine Informationen   | 139        |
| 4.1.1    | Besonderheiten des Substrates Kunststoff                         | 140        |
| 4.2      | Verwendete technische Prozesse und Verfahren                     | 140        |
| 4.2.1    | Lackierung von Stoßfängern                                       | 142        |
| 4.3      | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte                          | 145        |
| 4.3.1    | Lackierung von Radzierblenden                                    | 148        |
| 4.3.2    | Lackierung von Lenkrädern  | 150        |
| 4.3.3    | Lackierung von Reflektoren                                       | 150        |
| 4.3.4    | Lackierung in der Herstellung von Fernseh- / HiFi- /EDV-Gehäusen | 150        |
| 4.3.5    | Ermittlung der BVT-Kandidaten                                    | 151        |
| 4.4      | Vorschlag der besten verfügbaren Techniken                       | 153        |
| 4.5      | Neue fortschrittliche Verfahren                                  | 154        |
| 4.6      | Schlussfolgerungen und Empfehlungen                              | 154        |
| <b>5</b> | <b>SERIENLACKIERUNG VON METALLWERKSTÜCKEN</b>                    | <b>157</b> |
| 5.1      | Allgemeine Informationen   | 157        |
| 5.1.1    | Anforderungen an die Lackierung von Metallwerkstücken            | 157        |
| 5.2      | Verwendete technische Prozesse und Verfahren                     | 158        |
| 5.2.1    | Lackierung von Stahlmöbeln                                       | 158        |

---

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.2.2    | Lackierung von Regalsystemen   | 159        |
| 5.2.3    | Lackierung von Haushaltsgeräte                                       | 160        |
| 5.2.4    | Lackierung von Hochspannungsschalschränke                            | 161        |
| 5.2.5    | Lackierung von Motorengehäusen                                       | 161        |
| 5.2.6    | Lackierung von Scheibenwischern                                      | 162        |
| 5.2.7    | Lackierung im Maschinenbau   | 163        |
| 5.2.8    | Lackierung von Fassadenelementen                                     | 164        |
| 5.2.9    | Lackierung von Möbeln für den Krankenhaus-Bedarf                     | 164        |
| 5.2.10   | Lackierung von Heizkörpern   | 164        |
| 5.2.11   | Lackierung von Fahrrad- und Motorradrahmen                           | 165        |
| 5.2.12   | Lackierung von Pkw-Kühlern   | 166        |
| 5.2.13   | Beschichtung von Bremscheiben  | 166        |
| 5.2.14   | Lackierung von Aluminiumfelgen                                       | 167        |
| 5.3      | Ermittlung der BVT-Kandidaten  | 169        |
| 5.4      | Bestimmung der besten verfügbaren Techniken                          | 170        |
| 5.5      | Neue fortschrittliche Verfahren                                      | 171        |
| <b>6</b> | <b>Bandbeschichtung</b>  | <b>174</b> |
| 6.1      | Allgemeine Informationen   | 174        |
| 6.1.1    | Struktur der Bandbeschichtungsindustrie und Standorte in Deutschland | 174        |
| 6.1.2    | Anforderungen an bandbeschichtete Erzeugnisse                        | 178        |
| 6.1.3    | Rechtliche Anforderungen an die VOC-Minderung                        | 178        |
| 6.2      | Verwendete technische Prozesse und Verfahren                         | 178        |
| 6.2.1    | Prozessablauf  | 179        |
| 6.2.1.1  | Reinigung und chemische Vorbehandlung der Metallocberfläche          | 180        |
| 6.2.1.2  | Konventionelle Beschichtung der Metallocberfläche                    | 181        |
| 6.2.1.3  | Pulverbeschichtung   | 181        |
| 6.2.1.4  | Weitere Prozesse und Oberflächennachbehandlung                       | 181        |
| 6.2.1.5  | Eingesetzte Beschichtungsmaterialien                                 | 182        |
| 6.3      | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte                              | 183        |
| 6.3.1    | Verbrauch von Eingangsstoffen  | 183        |
| 6.3.2    | Emissionen in die Luft   | 183        |
| 6.3.3    | Abwasser   | 184        |
| 6.3.4    | Abfälle  | 184        |
| 6.3.5    | Energiebedarf  | 184        |
| 6.4      | Ermittlung der BVT-Kandidaten  | 185        |
| 6.4.1    | Einsatz von lösemittelhaltigen Lacken und Abluftreinigung            | 185        |
| 6.4.2    | Einsatz lösemittelarmer bzw. freier Lacksysteme                      | 185        |
| 6.5      | Vorschlag für beste verfügbare Techniken                             | 186        |
| 6.6      | Neue fortschrittliche Verfahren                                      | 186        |
| 6.6.1    | Pulverlacke  | 186        |

---

---

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 6.6.2   | Lacksysteme auf Wasserbasis                                      | 187 |
| 7       | Emballagenlackierung   | 190 |
| 7.1     | Allgemeine Informationen   | 190 |
| 7.2     | Herstellung von Getränkendosen aus Weißblech                     | 191 |
| 7.2.1   | Verwendete Prozesse und Verfahren                                | 192 |
| 7.2.2   | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte                          | 193 |
| 7.2.3   | Ermittlung der BVT-Kandidaten                                    | 194 |
| 7.2.4   | Vorschlag für beste verfügbare Techniken                         | 195 |
| 7.3     | Lackierung von Getränkendosen aus Aluminium                      | 195 |
| 7.3.1.  | Verwendete Prozesse und Verfahren                                | 195 |
| 8       | Holz- und Möbellackierung  | 198 |
| 8.1     | Allgemeine Informationen   | 198 |
| 8.1.1   | Struktur des Holzverarbeitungssektors                            | 198 |
| 8.1.2   | Emissionsgrenzwerte nach der 31. BImSchV                         | 199 |
| 8.2     | Verwendete technische Prozesse und Verfahren                     | 200 |
| 8.2.1   | Eingesetzte Beschichtungsmaterialien für Holz und Holzwerkstoffe | 200 |
| 8.2.1.1 | Vorbehandlung  | 201 |
| 8.2.1.2 | Grundierung  | 203 |
| 8.2.1.3 | Decklackierung   | 203 |
| 8.2.1.4 | Zusammenfassung  | 206 |
| 8.2.1.5 | Auftragsverfahren  | 210 |
| 8.2.1.6 | Abdunstung und Trocknungs- / Härtungsverfahren                   | 211 |
| 8.2.2   | Beispiele von Lackierprozessen                                   | 213 |
| 8.3     | Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte                          | 218 |
| 8.3.1   | Verbrauch von Eingangsstoffen                                    | 218 |
| 8.3.1.1 | Emissionen in die Luft   | 220 |
| 8.3.1.2 | Abwasser   | 220 |
| 8.3.1.3 | Abfälle  | 221 |
| 8.3.1.4 | Energieverbrauch   | 221 |
| 8.3.1.5 | Kosten   | 222 |
| 8.4     | Ermittlung der BVT-Kandidaten                                    | 224 |
| 8.4.1   | Emissionsarme bzw. -freie Lacksysteme                            | 224 |
| 8.4.2   | Lackauftragsverfahren mit verbessertem Wirkungsgrad              | 226 |
| 8.4.3   | Verbrauchsarme Lackversorgung                                    | 228 |
| 8.4.4   | Abgasreinigungsverfahren   | 229 |
| 8.5     | Vorschlag der besten verfügbaren Techniken                       | 229 |
| 8.6     | Neue fortschrittliche Verfahren                                  | 233 |

---

---

|                                    |   |     |
|------------------------------------|---|-----|
| 8.7                                | Schlussfolgerungen und Empfehlungen                                       | 234 |
| Teilband I: Anhänge zum Endbericht |   |     |
| Anhang I:                          |   | 238 |
| I.1                                | Energieeinsatz in Lackieranlagen  | 240 |
| I.2                                | Einsetzbare Maßnahmen zur Minderung des Energieeinsatzes                  | 241 |
| I.2.1                              | Minderung des Energieeinsatzes bei Neuanlagen                             | 241 |
| I.2.2                              | Minderung des Energieeinsatzes bei bestehenden Lackieranlagen             | 242 |
| I.3                                | Entwicklungen und Blick in die Zukunft                                    | 243 |
| Anhang II:                         |   | 245 |
| II.1                               | Vorbehandlung von Metalluntergründen                                      | 247 |
| II.1.1                             | Mechanische Verfahren   | 247 |
| II.1.2                             | Entfettungsverfahren  | 248 |
| II.1.3                             | Chemische Verfahren   | 248 |
| II.2                               | Vorbehandlung von Kunststoffuntergründen                                  | 252 |
| II.3                               | Vorbehandlung von Holzuntergründen  | 254 |
| Anhang III:                        |   | 256 |
| III.1                              | Auftragsverfahren mit hohem Wirkungsgrad                                  | 257 |
| III.2                              | Spritzverfahren   | 259 |
| III.2.1                            | Spritzlackieren ohne elektrostatische Lackaufladung                       | 259 |
| III.2.2                            | Airlesszerstäubung  | 262 |
| III.2.3                            | Elektrostatisches Spritzen  | 262 |
| III.2.4                            | Elektrostatisch zerstäubende Verfahren                                    | 263 |
| III.2.5                            | Hochrotationsverfahren  | 263 |
| III.2.6                            | Elektrostatische Druckluft-, Airless- und Airmix-Spritzverfahren          | 264 |
| III.2.7                            | Elektrostatische Verarbeitung von Wasserlacken                            | 265 |
| III.2.8                            | Verarbeitung von Pulverlacken   | 265 |
| III.3                              | Abscheidung bzw. Rückgewinnung von Lackoverspray aus Spritzlackieranlagen | 266 |
| III.3.1                            | Nassabscheidung   | 266 |
| III.3.2                            | Trockenabscheidung  | 267 |
| III.3.3                            | Rückgewinnungsverfahren   | 267 |
| Anhang IV:                         |   | 270 |
| IV.1                               | Trocknen mittels Wärmeträger Luft (Umluft)                                | 271 |
| IV.2                               | Infrarot-Strahlungstrocknung  | 273 |

---

---

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| IV.3      | UV-Trocknung   | 275 |
| IV.4      | Trocknung durch Elektronenstrahlen   | 278 |
| IV.5      | Trocknung durch Induktion  | 278 |
| IV.6      | Trocknung durch Mikrowellen  | 278 |
| IV.7      | Zusammenfassung  | 279 |
| Anhang V: |  | 283 |
| 1.        | Abgasreinigung durch thermische Oxidation                                      | 286 |
| 1.1       | Thermische Nachverbrennung mit rekuperativer und regenerativer Abgasvorwärmung | 287 |
| 1.1.1     | Thermisch rekuperative Nachverbrennung   | 287 |
| 1.1.1.1   | Apparativer Aufbau   | 288 |
| 1.1.1.2   | Anwendung  | 289 |
| 1.1.2     | Thermische regenerative Nachverbrennung (RNV)                                  | 290 |
| 1.1.2.1   | Apparativer Aufbau   | 290 |
| 1.1.2.2   | Anwendung  | 292 |
| 1.1.3     | Eigenschaften der rekuperativen und regenerativen thermischen Nachverbrennung  | 293 |
| 1.1.4     | Einflussgrößen   | 294 |
| 1.1.5     | Investitionen und Betriebskosten   | 295 |
| 1.1.6     | Behandelbare Stoffe  | 295 |
| 1.2       | Katalytische Nachverbrennung   | 295 |
| 1.2.1     | Apparativer Aufbau   | 296 |
| 1.2.2     | Behandelbare Stoffe  | 298 |
| 1.2.3     | Einflussgrößen   | 298 |
| 1.2.4     | Anwendung  | 298 |
| 1.2.5     | Investitionen und Betriebskosten   | 300 |
| 2         | Adsorption   | 301 |
| 2.1       | Verfahrensprinzip  | 301 |
| 2.1.1     | Apparativer Aufbau   | 302 |
| 2.1.2     | Desorptionsverfahren   | 303 |
| 2.1.3     | Adsorptionsmittel  | 306 |
| 2.2       | Behandelbare Stoffe  | 307 |
| 2.3       | Haupteinflussgrößen  | 307 |
| 2.4       | Anwendung  | 307 |
| 2.5       | Investitionen und Betriebskosten   | 308 |

---

---

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 2.6   | Nebeneffekte   | 309 |
| 3   | Absorption   | 310 |
| 3.1   | Verfahrensbeschreibung                                 | 310 |
| 3.1.1   | Absorptionsschritt                                     | 310 |
| 3.1.2   | Regeneration   | 311 |
| 3.2   | Behandelbare Stoffe                                    | 311 |
| 3.3   | Absorbens  | 312 |
| 3.4   | Haupteinflussgrößen                                    | 312 |
| 3.5   | Anwendung  | 313 |
| 3.6   | Investitionen und Betriebskosten                       | 313 |
| 4   | Biologische Verfahren                                  | 315 |
| 4.1   | Biofilter  | 315 |
| 4.1.1   | Verfahrensbeschreibung                                 | 315 |
| 4.1.1.1   | Apparativer Aufbau                                     | 315 |
| 4.1.2   | Behandelbare Stoffe                                    | 319 |
| 4.1.3   | Anwendung  | 321 |
| 4.1.4   | Investitionen und Betriebskosten                       | 321 |
| 4.2   | Biowäscher   | 321 |
| 4.2.1   | Apparativer Aufbau                                     | 322 |
| 4.2.2   | Waschflüssigkeiten                                     | 323 |
| 4.2.3   | Behandelbare Stoffe                                    | 324 |
| 4.2.4   | Einflussgrößen auf die Anwendbarkeit der Biowäscher    | 324 |
| 4.2.5   | Anwendungen  | 324 |
| 4.2.6   | Investitionen und Betriebskosten                       | 325 |
| 5   | Kondensation   | 325 |
| 5.1   | Verfahrensprinzip                                      | 325 |
| 5.1.1   | Kondensationsmittel                                    | 326 |
| 5.1.2   | Behandelbare Stoffe                                    | 327 |
| 5.1.3   | Anwendung  | 327 |
| 5.1.4   | Investitionen und Betriebskosten                       | 328 |
| 6   | Kriterien zur Auswahl der Emissionsminderungsmaßnahmen | 329 |
| Anhang VI: Fallstudien  |  | 337 |
| VI.1 Fallstudie zur Serienlackierung von Pkws bei der Volkswagen AG |  | 337 |
| VI.2 Fallstudie bei der BMW AG, Werk Dingolfing                     |  | 367 |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| VI.3 Fallstudie zur Serienlackierung von Pkws bei der DaimlerChrysler AG, Werk Rastatt | 371 |
| VI.4 Fallstudie bei der Dynamit Nobel Kunststoff GmbH, Werk Sterbfritz                 | 380 |
| VI.5 Fallstudie zur Lackierung von Getränkedosen                                       | 390 |
| Anhang VI.I: Daten zur Lackierung von Metallwerkstücken                                | 420 |
| Anhang VII: Fragebögen zur Datenabfrage  | 419 |
| <br>   |     |
| VII.1 Audi AG, Werk Ingolstadt   | 420 |
| VII.2 Opel Eisenach GmbH   | 435 |
| VIII.3 HFP-Bandstahl   | 465 |
| VII.4 Plastic Omnium Automotive Components GmbH  | 478 |

---

# Abbildungsverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 1: Untersuchte Industriebereiche der Lack- und Klebstoffverarbeitung  |     |
| Abbildung 2: Serienlackierung von PKW   |     |
| Abbildung 3: Lackierprozess von Bussen  |     |
| Abbildung 1-1: Abhängigkeit von Produktgeometrie und Qualitätskriterien   | 2   |
| Abbildung 1-2: Lackbestandteile   | 3   |
| Abbildung 1-3: Aufbau einer Automobilserien-Lackierung  | 6   |
| Abbildung 1-4: Stoffströme bei der Spritzlackierung mit konventioneller Technik  | 7   |
| Abbildung 1-5: Überblick über die Entwicklung der Lackherstellungs- und der Losemitteleinsatzmengen                      | 8   |
| Abbildung 2-1: Definition der Fahrzeugklassen nach Richtlinie 70/156/EWG  | 15  |
| Abbildung 2-2: Funktionalität und Umweltbelastungen des Lackaufbaus am Fahrzeug  | 21  |
| Abbildung 2-3: KTL-Tauchanlage  | 24  |
| Abbildung 2-4: Auftrag des Unterbodenschutzes auf die um 180° gedrehten Karosse   | 25  |
| Abbildung 2-5: Hochrotationsglocken   | 26  |
| Abbildung 2-6: Decklackauftrag mit Robotern   | 30  |
| Abbildung 2-7: Vollautomatisierter Decklackiervorgang für Dach und Seiten  | 30  |
| Abbildung 2-8: Automatisierter Auftrag von Metallic- bzw. Perleffektlacke im Spraymate-Verfahren                            | 31  |
| Abbildung 2-9: Trocknertunnel   | 32  |
| Abbildung 2-10: Schema des Pulverklarlacksystems bei der BMW AG, Werk Dingolfing  | 44  |
| Abbildung 2-11: Betriebskostenvergleich zwischen den konventionellen 2K-Klarlack und dem Pulverklarlack ohne Materialkosten | 45  |
| Abbildung 2-12: Schema der Entfettung mit Ultrafiltration (UF)  | 49  |
| Abbildung 2-13: Schema des KTL-Bereichs mit Ultrafiltration (UF)  | 49  |
| Abbildung 2-14: Schema des Phosphatierbereichs mit Ionenaustauscher   | 50  |
| Abbildung 3-1: Allgemeines Fließbild des Lackierprozesses von Bussen  | 78  |
| Abbildung 3-2: Schiffsentlackung mittels Hochdruckwasserstrahlen  | 121 |
| Abbildung 3-3: Automatische Beschichtungsanlage mit Oversprayabsaugung  | 122 |
| Abbildung 3-4: Dockabwasserbehandlung bei der Blohm & Voss, Hamburg   | 131 |
| Abbildung 4-1: Prozessablauf der Stofangerlackierung  | 143 |
| Abbildung 4-2: Aufteilung der Losemitteleinsatzmenge   | 147 |
| Abbildung 4-3: Lackierung von Radzierblenden mit konventionellen Lacken   | 149 |
| Abbildung 6-1: Coil Coating im Automobilbau   | 175 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 6-2: Vereinfachtes Fließschema der Bandbeschichtung       | 179 |
| Abbildung 6-3: Abbildung einer Coil Coating Bandbeschichtungsanlage | 180 |
| Abbildung 7-1: Herstellungsprozess für Getränkedosen                | 191 |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Durchgeführte Fallstudien für den Bereich der Klebstoffanwendung   |    |
| Tabelle 2: Durchgeführte Fallstudien für den Bereich der Lackanwendung  |    |
| Tabelle 3: Einsatz verschiedener Lackierkonzepte in Deutschland   |    |
| Tabelle 4: Beste verfügbare Techniken für die Serienlackierung von Pkw  |    |
| Tabelle 5. Beste verfügbare Techniken den Sektor der Holz- und Möbellackierung  |    |
| Tabelle 6: Anwendung von Haftklebstoffen für Klebebänder  |    |
| Tabelle II-1: Untersuchte Industriebereiche der Lack- und Klebstoffverarbeitung   | X  |
| Tabelle 1-1: Anforderungen von Lackierprozessen nach Anwendungsbereich  | 1  |
| Tabelle 1-2: Übersicht über den Verbrauch an Farben und Lacke in Deutschland<br>für das Jahr 1999 sowie die Marktentwicklung für das Jahr<br>2000 (Prognose) nach Anwendungsbereichen | 9  |
| Tabelle 1-3: Marktentwicklung der unterschiedlichen Produktkategorien in<br>Deutschland für die Jahre 1999 und 2000 (Prognose)  | 10 |
| Tabelle 2-1: Definitionen der Fahrzeugklassen nach RL 70/156/EWG  | 15 |
| Tabelle 2-2: Gesamtemissionsgrenzwerte für die Beschichtung von neuen Pkw und<br>Nutzfahrzeugen   | 16 |
| Tabelle 2-3: Übersicht über die eingesetzten Lackmaterialien für die Serienlackierung von<br>Automobilkarossen  | 19 |
| Tabelle 2-4: Einsatz der verschiedenen Lacksysteme in der Pkw-Serienlackierung in<br>Deutschland im Jahr 2000   | 22 |
| Tabelle 2-5: Typische Parameter der Elektrotauchlackierung  | 24 |
| Tabelle 2-6: Spezifische Lackverbräuche nach Lacksystemen   | 34 |
| Tabelle 2-7: Übersicht über Abfälle aus Automobilserienlackieranlagen   | 39 |
| Tabelle 2-8: Vermeidung von Abfällen, aufgegliedert nach Abfallarten, in der<br>Fahrzeugserienlackierung  | 52 |
| Tabelle 2-9: Verwertung von Abfällen, aufgegliedert nach Abfallarten, in der<br>Fahrzeugserienlackierung  | 53 |
| Tabelle 2-10: Beste verfügbare Techniken für die PKW-Serienlackierung in<br>Deutschland   | 57 |
| Tabelle 2-11: Fortschrittliche Verfahren und beste verfügbare Techniken in der Pkw-<br>Serienlackierung in Deutschland  | 60 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 3-1: Emissionsgrenzwerte für die Beschichtung von neuen Fahrerhäusern und neuen Nutzfahrzeugen nach 31.BImSchV                                  | 68  |
| Tabelle 3-2: Spezifische Lackverbräuche nach Lacksystemen für die Lackierung von neuen Fahrerhäusern  | 70  |
| Tabelle 3-3: Spezifische VOC-Emissionen für die Lackierung von neuen Fahrerhäusern  | 71  |
| Tabelle 3-4: Übersicht über Gasverbrauch und Produktion der Lackierung von LKW-Fahrgestellen und Fahrerhäusern für das Jahr 2000 im MAN Werk in München | 72  |
| Tabelle 3-5: Einsatz der verschiedenen Lacksystemen in der Buslackierung in Deutschland   | 76  |
| Tabelle 3-6: Gesamtemissionsgrenzwerte für die Beschichtung von neuen Bussen nach 31.BImSchV  | 77  |
| Tabelle 3-7: Spezifische Lackverbräuche nach Lackschicht  | 82  |
| Tabelle 3-8 : Spezifische VOC-Emissionen nach Lackschicht bzw. Anwendung  | 83  |
| Tabelle 3-10: Beste verfügbare Techniken für die Lackierung von Bussen  | 85  |
| Tabelle 3-11: Wesentliche technische und wirtschaftliche Parameter für drei Konzepte zur Lackierung von Landmaschinen                                   | 91  |
| Tabelle 3-13: Ergebnisse einer technischen Bewertung von vier Lackkonzepten   | 94  |
| Tabelle 3-15: Verbrauchsmengen am Beispiel der Lufthansa  | 100 |
| Tabelle 3-16: Beschichtete Oberfläche am Beispiel einer A 320   | 104 |
| Tabelle 3-17: Verbrauch von Eingangsstoffen bei der Flugzeugaußenlackierung   | 105 |
| Tabelle 3-18: Lackaufbau für Schienenwagen in Anlehnung an die technischen Fertigungsbedingungen der DB AG  | 110 |
| Tabelle 3-19: Verbrauch von Eingangsstoffen pro beschichtetem   | 113 |
| Tabelle 3-20: Beschichtung der Baugruppen des Rohbaus mit überwiegend wasserverdünnbaren Lacken   | 115 |
| Tabelle 3-21: Verbrauch von Eingangsstoffen pro beschichtetes Schiff  | 129 |
| Tabelle 3-22: Verbrauch von Eingangsstoffen pro beschichtete Yacht  | 129 |
| Tabelle 4-1: Emissionsgrenzwerte für die Beschichtung von Kunststoffoberflächen nach 31. BImschV  | 142 |
| Tabelle 4-2: Lösemittelanteile für eingesetzte Lacksysteme bei der Lackierung von Stoßfängern   | 145 |
| Tabelle 4-3: VOC-Einsatz im Jahr 2000   | 146 |
| Tabelle 4-4: Vergleich hinsichtlich der Lösemittelgehalte von eingesetzten Lacksystemen bei der Lackierung von Radzierblenden                           | 149 |
| Tabelle 4-5: Zusammensetzung und Vor- und Nachteile der gängigsten Grundierungen auf Wasserbasis im Vergleich   | 152 |

---

---

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 4-6: Ergebnisse der Untersuchungen zum Einsatz von elektrostatischen Lackapplikationsverfahren  | 153 |
| Tabelle 5-1: Kostenvergleich zwischen einem konventionellen Lack und einem UV-Pulverlack bei der Beschichtung von vorgefertigten Motorblöcken | 167 |
| Tabelle 5-2: Erreichbare Auftragswirkungsgrade und Einschränkungen für unterschiedliche Auftragsverfahren bei Metallwerkstücken               | 175 |
| Tabelle 5-3: Erreichbare Auftragswirkungsgrade und Einschränkungen für unterschiedliche Auftragsverfahren bei Metallwerkstücken               | 170 |
| Tabelle 6-1: Standorte der Bandbeschichtungsanlagen in Deutschland  | 175 |
| Tabelle 6-2: Liefermengen bandbeschichteter Metalle in Westeuropa für das Jahr 2000   | 177 |
| Tabelle 6-3: Mengen und Entwicklung der Inlandsnachfrage in Deutschland für den Sektor der Bandbeschichtung                                   | 177 |
| Tabelle 6-4: Emissionsbegrenzungen bei der Bandbeschichtung nach der 31. BImSchV  | 178 |
| Tabelle 6-5: Zusammensetzung der eingesetzten Decklacksysteme für die Bandbeschichtung von Metallen in Westeuropa für das Jahr 1999           | 182 |
| Tabelle 6-6: Lackverbräuche nach Lacksystemen   | 183 |
| Tabelle 6-7: Emissionsfaktoren für VOC-Emissionen   | 184 |
| Tabelle 7-1: Emissionsbegrenzungen nach der 31. BImSchV für Neuanlagen  | 191 |
| Tabelle 8-1: Emissionsbegrenzungen bei der Holzbeschichtung gemäß 31. BImSchV   | 200 |
| Tabelle 8-2: Zusammensetzungen von verschiedenen Beizen   | 202 |
| Tabelle 8-3: Übersicht über Beiz- und Lacktypen und entsprechende Eigenschaften   | 207 |
| Tabelle 8-4: Erreichbare Auftragswirkungsgrade für unterschiedliche Verfahren   | 211 |
| Tabelle 8-5: Auftragsmengen für unterschiedliche Auftragsverfahren  | 218 |
| Tabelle 8-6: Eingesetzte Lack- und Lösemittelmengen für verschiedenen Produktionsbereiche der Holz- und Möbellackierung                       | 219 |
| Tabelle 8-7: Spezifische VOC-Emissionen für verschiedenen Minderungsmaßnahmen   | 220 |
| Tabelle 8-8: Preise für verschiedene Geräte und Aggregate in der Holz- und Möbel-lackierung   | 222 |
| Tabelle 8-9: Vergleich zwischen einem konventionellen und einem fortschrittlichen Lackierkonzept  | 230 |
| Tabelle 8-10: Vergleich der Lackiekonzepte  | 231 |
| Tabelle 8-11: Einfluss der Anlagentechnik auf Lackbedarf, Lösemittelverbrauch und das Abfallaufkommen   | 232 |
| Tabelle 8-12: Beste verfügbare Techniken für den Sektor der Holz und Möbel-lackierung   | 232 |

---

## Zusammenfassung

Die vom Rat der Europäischen Union erlassene *Richtlinie über die integrierte Verminderung und Vermeidung der Umweltverschmutzung* IVU-RL, 96/61/EG hat wesentliche Auswirkungen auf Genehmigungen des Betriebs einer Vielzahl von Industrieanlagen. Als zentrales Element zur Umsetzung der IVU-Richtlinie wird in Art. 16 Abs. 2 ein Informationsaustausch auf europäischer Ebene über die “Besten Verfügbaren Techniken” für die im Anhang I der IVU-RL aufgeführten Industrieanlagen gefordert. An diesem von der EU-Kommission organisierten Informationsaustausch sind sowohl die betroffenen Industrien, als auch die Mitgliedsstaaten der Europäischen Gemeinschaft beteiligt. Inhalte des Informationsaustausches sind Angaben über die in der IVU-RL angeführten Industriebereiche zu angewandten und Besten Verfügbaren Techniken für die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, Einsatzstoffen und Emissionen in Boden, Wasser und Luft.

Der vorliegende Abschlussbericht dokumentiert Inhalte und Ergebnisse des Projektes *Beste Verfügbare Techniken (BVT) im Bereich der Lack- und Klebstoffverarbeitung in Deutschland*, dass vom Deutsch-Französischem Institut für Umweltforschung (DFIU-IFARE, Universität Karlsruhe) im Auftrag des Umweltbundesamtes erarbeitet wurde. Die Ergebnisse des Projektes sollen als Vorschläge für mögliche BVT für Anlagen zur Lack- und Klebstoffanwendung (Teilbereiche der Nr. 6.7 des Anhangs IIIVU-RL: Behandlung von Oberflächen von Stoffen, Gegenständen oder Erzeugnissen unter Verwendung von organischen Lösemitteln) in die künftigen Arbeiten auf europäischer Ebene eingebracht werden.

## Ausgangslage und Zielsetzung

Im Anhang I, 6.7 der IVU-Richtlinie, sind die industriellen Tätigkeiten der Lack- und Klebstoffverarbeitung nicht explizit genannt, sondern indirekt über die Verbrauchskapazitäten von mehr als 150 kg pro Stunde oder 200 t Lösemittel pro Jahr, definiert. Diese Definition unterscheidet sich von den übrigen im Anhang I genannten industriellen Sektoren. Daher mussten relevante Industriebereiche durch eine umfassende Literaturrecherche zunächst identifiziert werden. Bereits in einer sehr frühen Projektphase wurden Kontakte zu Unternehmen und Industrieverbänden sowie zu Behörden aufgenommen und ein Arbeitskreis organisiert.

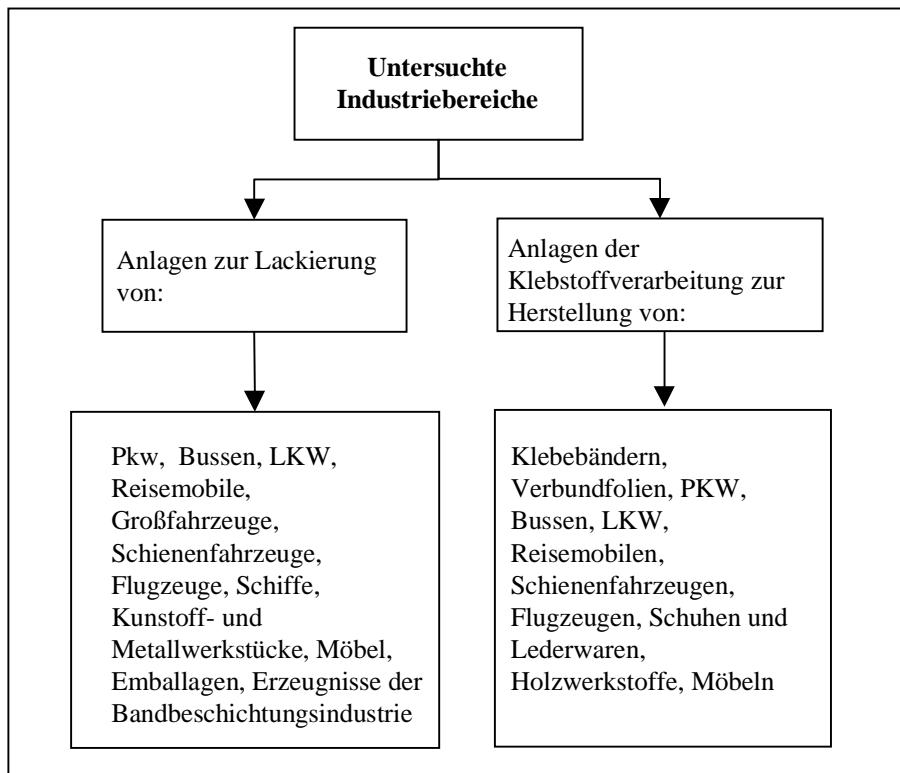


Abbildung 1: *Untersuchte Industriebereiche der Lack- und Klebstoffverarbeitung*

Die Prozessbeschreibungen basieren überwiegend auf **Fallstudien** und **Betriebsbesichtigungen** repräsentativer Anlagen sowie aktueller Fachliteratur. Zur Beschreibung der umweltrelevanten Input- und Outputströme der Unternehmen wurde im Rahmen von Fallstudien, die zur Zeit eingesetzten technischen Prozesse und Verfahren einer umfassenden Analyse unterzogen. Dabei wurden die Prozessschritte Vorbehandlung, Beschichtung und Nachbehandlung anhand des Durchlaufs typischer Werkstücke bzw. Oberflächen in relevanten IVU-Anlagen bzw. Anlagen, die vor dem Einsatz von Minderungsmaßnahmen IVU-Anlagen waren, identifiziert und die zugehörigen Input- und Outputströme beschrieben. Darüber hinaus wurden technische Optionen zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, soweit vorhanden, charakterisiert. Ziel der Fallstudien war im Wesentlichen die Ermittlung folgender Informationen:

- Allgemeine Informationen zur Anlage / zum Prozess
- Emissionen in die Luft
- Wasserseite Emissionen
- Abfall
- Verbrauch an Einsatzstoffen und Energie
- Sonstige Daten wie Angaben über Abwärme und Kostenangaben zu eingesetzten Maßnahmen.

---

In einigen Bereichen war es aufgrund der angespannten Wettbewerbssituation der Unternehmen nicht möglich, detaillierte Betriebsdaten, sondern nur allgemeine Verfahrensbeschreibungen, zu erhalten.

Auf der Grundlage der ermittelten Daten und Informationen wurden die *Besten Verfügbareren Techniken* (BVT) identifiziert und soweit möglich techno-ökonomisch analysiert und medienübergreifend bewertet.

Der Bilanzraum für die medienübergreifende Bewertung ist dabei die jeweilige Anlage. Umweltbelastungen, die in Vorketten der betrachteten Produktionsprozesse auftreten, wie beispielsweise bei der Produktion von Lacken und Klebstoffen oder während der Gebrauchsphase und Entsorgung der Produkte, können auf Grund der Komplexität der hergestellten Produkte und Prozesse i.a. nicht betrachtet werden. In Bereichen, in denen es zwischen eingesetzten Verfahren bedeutende Unterschieden in Bezug auf Umweltbelastungen außerhalb der untersuchten Anlagen kommt, wurde dies herausgestellt.

Durch die Unterstützung des Forschungsvorhabens durch Industrie, Verbände und Behörden wurde sichergestellt, dass ein realistisches Bild der deutschen Anlagen an das EIPPCB Sevilla übermittelt wird.

Die erarbeiteten Kapitel wurden im Rahmen von Arbeitstreffen mit Industrievertretern, Verbänden und Behördenvertretern oder im Rahmen von Workshops des begleitenden Arbeitskreises abgestimmt. Während der Projektlaufzeit wurden daher fünf Workshops vom DFIU organisiert. Im Folgenden sind die durchgeführten Fallstudien aufgeführt.

Tabelle 1: Durchgeführte Fallstudien für den Bereich der Klebstoffverarbeitung

| <b>Branche</b>                      | <b>Unternehmen</b>  |
|-------------------------------------|---|
| <b>Herstellung von Klebebändern</b> | Astorplast Klebetechnik AG / Werk Alfdorf,<br>Tesa AG / Werk Hausbruch bei Hamburg  |
| <b>Papier- und Verpackung</b>       | CRYOVAC Sealed Air Cooperation / Werk Flensburg,<br>Bischof + Klein GmbH & Co. KG / Werk Lengerich  |
| <b>Transport</b>                    | Volkswagen AG / Werk Wolfsburg,<br>AUDI AG / Werk Ingolstadt,<br>MAN AG / Werk Salzgitter,<br>Ford Werke / Saarlouis,<br>MAN AG / Werk München,<br>EVO BUS / Werk Mannheim,<br>Daimlerchrysler / Werk Raststatt,<br>LHB-ALSTOM / Werk Salzgitter,<br>Hymer AG / Werk Greifswald,<br>Johnson Controls / Neustadt,<br>Johnson Controls / Greifswald |
| <b>Schuh- und Lederindustrie</b>    | Salamander / Werk Kornwestheim,<br>RICOSTA / Werk Donaueschingen,<br>Gabor / Werk Rosenheim,<br>Navajo Dr. Genger Schuhfabrik GmbH / Hinterweidentahl,<br>Schuh- und Lederwarenmesse / Pirmasens  |
| <b>Holz- und Möbelindustrie</b>     | Schiedermöbel-Wohnmöbel GmbH & Co. KG / Werk Schieder,<br>ALNO AG / Werk Pfullendorf,<br>Dunlop AG / Werk Hanau   |

Tabelle 2: Durchgeführte Fallstudien für den Bereich der Lackanwendung

| <b>Branche</b>                           | <b>Unternehmen</b>  |
|--|---|
| <b>Automobilserienlackierung</b>         | Ford Werke / Köln<br>Volkswagen Werke / Wolfsburg, Hannover und Emden,<br>DaimlerChrysler / Werk Raststatt<br>Audi AG / Ingolstadt,<br>BMW AG / Werk Dingolfingen,<br>Opel Werke / Eisenach<br>Verband der Automobilindustrie (VDA) Frankfurt |
| <b>Buslackierung</b>                     | EvoBus, DaimlerChrysler AG / Mannheim,<br>MAN / Werk München  |
| <b>LKW-Lackierung</b>                    | MAN Werk München,   |
| <b>Lackierung von Reisemobilen</b>       | Hymer AG / Bad Waldsee  |
| <b>Lackierung von Großfahrzeugen</b>     | Claas Saulgau GmbH / Saulgau  |
| <b>Lackierung von Schienenfahrzeugen</b> | LHB-ALSTOM /Werk Salzgitter   |
| <b>Flugzeuglackierung</b>                | Lufthansa Technik / Hamburg,<br>Airbus / Hamburg  |
| <b>Schiffslackierung</b>                 | Jos Lambert GmbH Meyerwerft / Papenburg,<br>Bremerhafener Dockgesellschaft / Bremerhaven,<br>Blohm+Voss Repair GmbH / Hamburg,<br>JAFO Technologie / Hamburg,<br>Ecco-Paint Workshop / Hamburg  |
| <b>Lackierung von Kunststoffteilen</b>   | Dynamit Nobel AG / Werk Sterbfritz  |
| <b>Bandbeschichtung</b>                  | ECCA Fachverband<br>Bandbeschichtung,<br>VAW Aluminium AG / Grevenbroich  |
| <b>Emballagenbeschichtung</b>            | Verband Metallverpackungen / Düsseldorf,<br>Rexam / Berlin  |
| <b>Holz- und Möbellackierung</b>         | Alno AG / Pfullendorf,<br>Schiedermöbel GmbH / Werk Schieder  |

---

## **Ergebnisse der Untersuchungen zu BVT in Industriebereichen der Lackanwendung**

In den letzten Jahren nahm der Verbrauch von lösemittelfreien und –armen Lacksystemen (Pulver-, Wasser- und strahlenhärtende Lacksysteme) zu, während die Nachfrage nach lösemittelhaltigen Lacksystemen rückläufig war. Durch die 31. BImschV<sup>1</sup> wird sich diese Tendenz weiter verstärken. Tendenziell sind in allen Bereichen insgesamt geringere Lackverbräuche zu verzeichnen. Dies ist u.a. auf die fortschreitende Applikation von Dünnschichten und auf optimierte Lackauftragsverfahren zurückzuführen. In einzelnen Sektoren werden nach wie vor größere Mengen an lösemittelhaltigen Lacksystemen verarbeitet, wie beispielsweise in der Bandbeschichtung oder bei der Lackierung von Nutzfahrzeugen. Hier werden Emissionsverminderungen durch den Einsatz von nachgeschalteten Abgasreinigungsverfahren erreicht.

Prozessbeschreibungen allgemeiner Verfahren, die in vielen Bereichen der Lack- und Klebstoffanwendung eingesetzt werden, sind in den folgenden Anhängen zusammenfassend dokumentiert:

Anhang I: Möglichkeiten zur Energieeinsparung bei der Lackverarbeitung

Anhang II: Vorbehandlungsverfahren

Anhang III: Lackauftragsverfahren

Anhang VI: Trocknungsverfahren

Anhang V: Prozessnachgeschaltete Maßnahmen zur Verminderung von flüchtigen organischen Verbindungen (Abgasreinigungsverfahren )

Anhang VI: Fallstudien Lackanwendung

Anhang VII: Fragebögen

Neben den Fallstudien wurden von einzelnen Unternehmen mittels Fragebögen weitere Daten erhoben. Sowohl die Fallstudien als auch die Fragebögen, sind in den Anhängen (VI und VII) zum Berichtsband „Lackanwendung“ dokumentiert.

### **Industriebereiche der Lackanwendung**

#### **Automobilserienlackierung**

Die Serienlackierung von PKW kann in die Arbeitsschritte Vorbehandlung, Kathodische Tauchlackierung, Unterbodenschutz und Auftrag von Füller, Basislack und ggf. Klarlack unterteilt werden (vgl. Abb. 2).

---

<sup>1</sup> Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen

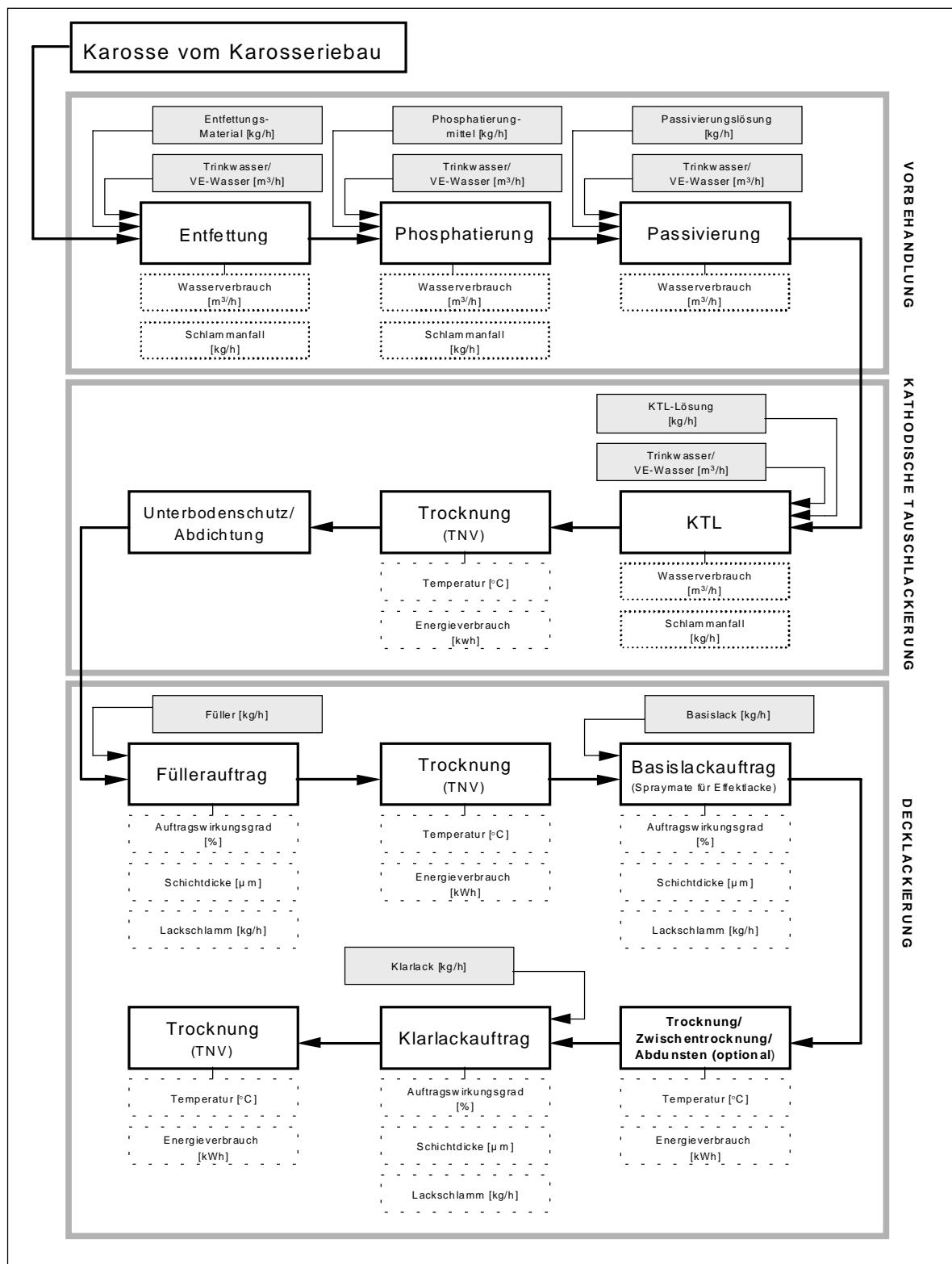


Abbildung 2: Serienlackierung von PKW

Wesentliche Unterschiede bestehen bei den Herstellern in Bezug auf die Verarbeitung der Lackmaterialien.

Tabelle 3: Einsatz verschiedener Lackierkonzepte in Deutschland

| Lackierprozess  | Füller      |             | Basislack (uni / metallic) |             | Klarlack    |                               | Anteil<br>[%] |
|---|-------------|-------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------------------------|---------------|
|   | Wasser      | Lösemittel  | Wasser                     | Lösemittel  | Lösemittel  | lösemittel-<br>arm bzw. -frei |               |
| <i>Prozeß mit Innovationsanteil</i>   |             |             |                            |             |             |                               | 13,0          |
| 1   |             |             |                            |             |             |                               |               |
| 2   |             |             |                            |             |             | Pulverslurry                  |               |
| 3   |             |             |                            |             |             | Pulver                        |               |
| <i>Wasserlackprozeß mit konventionellem Klarlack</i>                              |             |             |                            |             |             |                               | 60,2          |
| 4   |             |             |                            |             |             |                               |               |
| <i>Mixprozesse: Wasserlack und konventioneller Lack</i>                           |             |             |                            |             |             |                               | 15,8          |
| 5   |             |             |                            |             |             |                               |               |
| 6   |             | *           |                            |             |             |                               |               |
| 7   |             |             |                            |             |             |                               |               |
| <i>Konventionelle Prozesse (mit teilweiser Abluftreinigung aus Spritzkabinen)</i> |             |             |                            |             |             |                               | 11,1          |
| 8   |             | *           |                            |             |             |                               |               |
| 9   |             | *           |                            |             | *           | *                             |               |
| <b>Anteil [%]</b>   | <b>67,2</b> | <b>32,8</b> | <b>87,7</b>                | <b>12,3</b> | <b>86,5</b> | <b>13,5</b>                   | 100%          |

\* Abluftreinigung der Spritzzone

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die von den deutschen Automobilherstellern angewendeten Lackierkonzepte (Konzepte 1 – 9). Die jeweiligen Anteile errechnen sich aus den im Jahr 2000 hergestellten Fahrzeugen. Den größten Anteil hat die Verwendung von wasserbasiertem Füller (67,2 %) und wasserbasiertem Basislack (87,7 %) sowie konventionell-lösemittelbasiertem Klarlack (86,5 %). Dieser Wasserlackprozess mit konventionellem Klarlack (als Prozess 4 bezeichnet) kann auf Grund seiner Verbreitung als Stand der Technik definiert werden.

Innovative Verfahren verwenden lösemittelfreie oder lösemittelarme Klarlacksysteme. So wird im Prozess 2 kein Füller appliziert.

Im Mixprozess 6 wird beim Auftrag des lösemittelhaltigen Füllers eine Abgasreinigung der Spritzzonенabluft als sekundäre Emissionsminderungsmaßnahme eingesetzt.

Ausschließlich konventionelle Verfahren werden in Altanlagen verwendet. Im Prozess 8 und 9 wenden einige Hersteller eine Abluftreinigung nach den Trocknern und in Teilbereichen beim Auftrag von Füller, Basis- und Klarlack zur Emissionsminderung an.

Als **beste verfügbare Techniken für die Automobilserienlackierung** können lackspezifische Techniken, als auch verfahrensspezifische Techniken ausgewählt werden:

#### **Lackspezifische Techniken:**

Für den Bereich der **Fahrzeuggrundierung** können die heute eingesetzten, wasserbasierten, **bleifreien Elektrotauchlacke** auf Grund der geringen Lösemittelgehalte und der hohen

Materialausnutzung, zusammen mit der **Chrom-IV freien Passivierung**, als etablierte beste verfügbare Technik bezeichnet werden.

In Tabelle 4 sind die derzeit realisierten fortschrittlichsten Lackierprozesse (Lackierkonzepte A – D), die heute in der PKW-Serienlackierung für den Auftrag von Füller, Basislack und Klarlack angewendet werden, als beste verfügbaren Techniken, aufgelistet.

Tabelle 4: Beste verfügbare Techniken für die PKW-Serienlackierung in Deutschland

| Lackier-konzept | Füller |            | Basislack<br>(uni / metallic) | Klarlack   |                              | Legende:                          |
|-----------------|--------|------------|-------------------------------|------------|------------------------------|-----------------------------------|
|                 | Wasser | Lösemittel | Wasser                        | Lösemittel | lösemittel-arm<br>bzw. -frei |                                   |
| A               | ■      |            | ■                             |            | ■                            | wasserverdünbarer Lack            |
| B               |        |            | ■                             |            | ■ Pulverslurry               | lösemittelhaltiger Lack           |
| C               |        | ■          | ■                             |            | ■ Pulver                     | lösemittelarmer- oder freier Lack |
| D               | ■      |            | ■                             | ■          |                              |                                   |

Der Lackierprozess A mit Verwendung von wasserbasiertem Klarlack führt zu einer starken Reduktion der VOC-Emissionen, im Vergleich zu konventionellen Verfahren mit lösemittelhaltigen Produkten. Durch geeignete Verfahren ist ein Recycling des Oversprays möglich.

Durch die Kombination von Wasserbasislack und Pulverslurry im Prozess B, werden sehr geringe VOC-Emissionen erreicht. Durch die Nass in Nass-Lackierung von Basislack und Pulverslurry entfällt eine energieaufwendige Zwischentrocknung.

Die Applikation von Pulverklarlack im Prozess C, führt zu Energieeinsparung von mehr als 10 % im Vergleich zum konventionellen 2K-Klarlack. Das Pulverlacksystem erzeugt kein Abwasser und keine VOC-Emissionen. Der Overspray kann recycelt werden. Der derzeit eingesetzte, lösemittelbasierte Füller wird bis zum Jahr 2003 durch wasserbasierte Produkte ersetzt.

Der Wasserlackprozess mit konventionellem Klarlack (Prozess D), ermöglicht durch Kombination von wasserbasiertem Füller und Basislack eine wirksame Reduktion der VOC-Emissionen.

Innerhalb dieser besten verfügbaren Techniken sind die nachfolgend aufgeführten verfahrensspezifischen Technologien geeignet, die Umweltbelastungen weiter zu verringern.

---

Mit den Verfahren und verfahrensspezifischen Techniken werden Emissionswerte von 10 - 35 g VOC pro lackiertem Quadratmeter Oberfläche, erreicht.

#### **Verfahrensspezifische Techniken:**

- Lackauftrag mit einem hohen Anteil an elektrostatischer Applikation
- Reduzierung von Farbwechselverlusten (Molchtechnik)
- Optimierung von Schichtdickenprofilen
- Chrom(VI)-freie Passivierung
- Badpflegemaßnahmen durch Ultrafiltration bei der Entfettung und KTL der Rohkarossen
- Einsatz von Inonenaustauschern bei der Phosphatierung und Passivierung

#### **Lackierung von Nutzfahrzeugen**

#### **Lackierung von Bussen**

Der Lackierprozess von Bussen unterscheidet sich von der PKW-Serienlackierung durch den geringeren Grad der Automatisierung und das Fehlen einer festen Farbpalette, da überwiegend nach Kundenwunsch lackiert wird. Die Unternehmen sind daher gezwungen mehrere tausend Decklackfarbtöne vorzuhalten bzw. rezepturmäßig zu bevorraten. Es werden überwiegend lösemittelhaltige Lacke verarbeitet. Eine kostengünstige Lackierung kann dabei vor allem durch manuelle Lackierung erzielt werden. Tabelle 4 enthält eine Übersicht der besten verfügbaren Techniken.

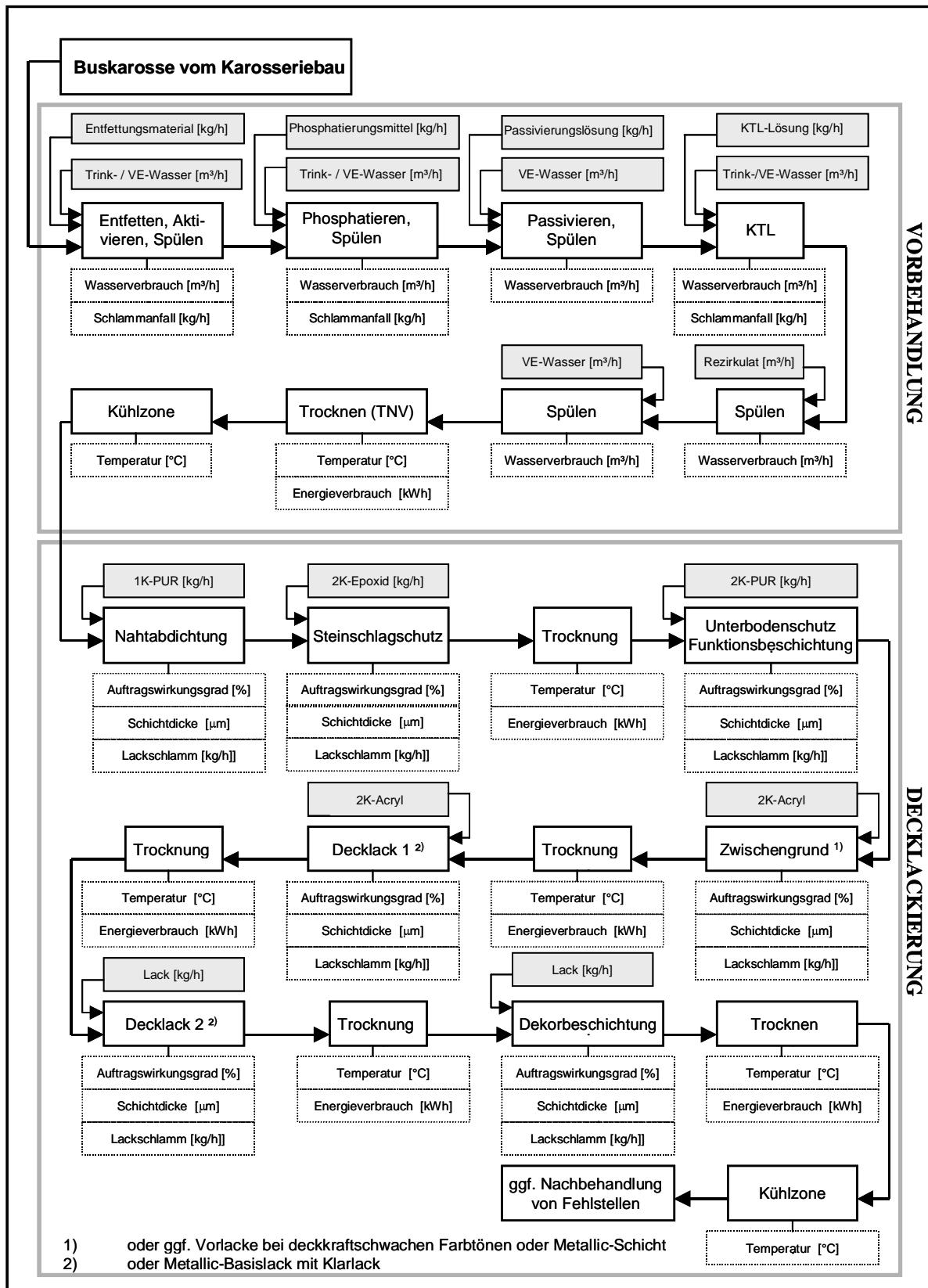


Abbildung 3: Lackierprozess von Bussen

---

**Tabelle 4: Beste verfügbare Techniken für die Lackierung von Bussen**

| Bereich             | Beste verfügbare Techniken / Verfahren  |
|---------------------|---|
| Grundierung         | KTL mit wasserverdünnbarem, bleifreiem Tauchlack,   |
| Nahtabdichtung      | Wasserbasierte Nahtabdichtung   |
| Decklack            | Lösemittelhaltige Decklacksysteme, Auftrag mit elektrostatischer Unterstützung, thermische Abluftreinigung der Abluftströme aus Spritzkabinen und Trocknern |
| Achslackierung      | Wasserverdünnbare Lacke   |
| Körperschalldämmung | Lösemittelfreies Schallschutzmaterial auf Polyurethanbasis  |

Durch die Anwendung der Techniken lassen sich Emissionswerte von weniger als 225 g pro m<sup>2</sup> lackierter Oberfläche erreichen.

### **Lackierung von LKW**

Bei der Lackierung von LKW-Fahrerhäusern werden für Grundierung und Füllerung bereits wasserverdünnbare Lacke appliziert. Der Auftrag der Grundierung erfolgt dabei durch die KTL-Technik. Als Decklacke werden wasser- und lösemittelbasierte Lacke appliziert. Wasserverdünnbare Lacke kommen bei Standardfarbtönen zur Anwendung und werden als Einschichtsysteme verarbeitet. Konventionelle Lacksysteme werden überwiegend bei Sonderfarben verarbeitet. Zur Verminderung von VOC-Emissionen lassen sich die folgende verfahrens- und lackspezifische Techniken als BVT anwenden:

#### *Lackspezifische Techniken:*

- Einsatz von wasserverdünnbarer Grundierung mit Applikation durch Tauchverfahren für Stahlprofile des Fahrgestells
- Verwendung von wasserverdünnbaren Einschichtdecklacken für Chassis und Fahrerhäuser bei Uni-Lackierungen
- Einsatz von High-Solid Einschicht-Lacksystemen auf Fahrgestellen (ohne Grundierung)
- Verwendung von wasserverdünnbaren Lacken bei der Achslackierung

#### *Verfahrensspezifische Techniken*

- Applikation von Lacken mit einem hohen Anteil an elektrostatischen Verfahren. Bei manuellen Verfahren, Einsatz von HVLP-Spritzpistolen
- Reduzierung der Farbwechselverluste durch molchbare Ringleitungen
- Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs: Kaskadenführung in der Vorbehandlung, Dekantationssysteme.

Durch die Anwendung der genannten Techniken werden VOC-Emissionswerte von (45 g/m<sup>2</sup>) bei Fahrerhäusern und (70 g/m<sup>2</sup>) bei der LKW-Lackierung (einschließlich Fahrgestell- und Achslackierung) erreicht.

---

## Lackierung von Großfahrzeugen

Neben guten optischen Eigenschaften werden an die Lackierung von Land- und Baumaschinen hohe Anforderungen an den **Korrosionsschutz** gestellt. Die Lackierung ist starken chemischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt..

Für die Lackierung von Großfahrzeugen sind folgende emissionsmindernden Techniken verfügbar:

- Wässrig-alkalische Reinigung mit nachgeschalteter chrom-VI-freier Zink-Phosphatierung
- Grundierung durch KTL mit wasserverdünnbaren, bleifreien Elektrotauchlacken unter Verwendung von Kaskadenführung und Ultrafiltration für die Spülbecken der KTL.
- Applikation von wasserverdünnbaren Einschicht-Decklacken über manuelle Spritzverfahren

## Flugzellackierung

Bei der Lackierung von Flugzeugen muss auf Grund von verschiedenen Prozessen und Techniken zwischen **Instandhaltung** und **Neubau** unterschieden werden. Bei der Instandhaltung werden z.B. Reparaturen von Lackschäden durchgeführt oder eine Neulackierung der Außenflächen vorgenommen. Pro lackiertem m<sup>2</sup> Aussenfläche mit konventionellen Lacksystemen werden ca. 600 g VOC emittiert.

Zur Reduktion der VOC-Emissionen bei der Instandhaltung, können ausschließlich prozessintegrierte Maßnahmen angewendet werden. Folgende Techniken können eingesetzt werden:

### Instandhaltung

- Entlackung mit Benzylalkohol-Ameisensäure
- Applikation chromatfreier Zwischenprimer
- Auftrag von High-Solid Decklacksysteme ohne zusätzlichen Klarlackauftrag
- Lackapplikation mit elektrostatischer Unterstützung

### Neubau

Folgende Techniken können für den Neubau von Flugzeugen ausgewählt werden:

- Konventionelles 3-Schichtsystem (Washprimer, Primer, Decklack) mit High-Solid-Decklack ohne Klarlackauftrag für eine Reduktion der VOC-Emissionen um 30 % im Vergleich zum konventionellen System.
- Lackapplikation mit elektrostatischer Unterstützung für die Außenlackierung
- Automatische Lackapplikation mit Abluftreinigung für die Teilelackierung

## Lackierung von Schienenfahrzeugen

An die Lackierung von Schienenfahrzeugen werden neben hohen optischen Ansprüchen große Anforderungen an den Korrosionsschutz gestellt. Die Lackierung muss eine hohe

---

Wetterbeständigkeit, Resistenz gegen Stäube aus Kohlenbürstenabrieb aufweisen, sowie beständig gegen aggressive Reinigungsmittel (Graffitientfernung) sein.

Zur Verminderung der Umweltbelastung können folgende Techniken als BVT definiert werden, mit der Emissionswerte von weniger als 110 g/m<sup>2</sup> erreicht werden:

- Einsatz eines durchgängigen Wasserlackkonzeptes für Grundierung, Füller und Decklack und Verwendung von konventionellem Klarlack bei Zweischichtlackierungen.
- Einsatz von styrolarmen Spachtelmassen und Minimalspachtelung.
- Hoher Anteil an vorbeschichteten Blechen.
- Optimierte Applikationstechnik: HVLP, Airless und Airmix.
- Kreislaufführung von Reinigungsverdünnungen durch Destillation sowie Destillation lösemittelhaltiger Lack- und Farbschlämme und Abfälle.

## **Schiffslackierung**

Bei der Lackierung von Handelsschiffen steht der Korrosionsschutz und Haftungseigenschaften der Beschichtung im Vordergrund. Auf den Unterwasserbereich werden Anstriche appliziert, die ein Festsetzen von Organismen an die Oberfläche verhindern sollen. Für die Bestimmung von BVT muss zwischen Neubau und Instandhaltung, unterschieden werden. Während beim Schiffsneubau einzelne Teile oder Rumpfsegmente oftmals in geschlossenen Hallen produziert und beschichtet werden, findet die Lackapplikation und Vorbehandlung bei der Instandhaltung in Schwimm- oder Trockendocks statt.

### *Neubau*

- Lackapplikation mit einem hohen Anteil an Elektrostatik-Air-Mix-Verfahren.
- Geschlossenen Beschichtungsanlagen für große Schiffssektionen im Schiffsneubau mit Absaugung der Abluft und Reinigung über filternde Staubabscheider, Abgasbehandlung über Adsorptionsanlagen und thermischer Verwertung der rückgewonnenen Lösemittel und Wiederverwertung der Strahlmittel. Es werden VOC-Emissionen von 23 mg/m<sup>3</sup> im Reingas erreicht.

### *Instandhaltung*

- Druckwasserstrahlen zur Entlackung mit Abwasserreinigung der Dockabwässer und Wiederverwendung des Wassers.
- Für die Applikation im Dock gewölbten und nicht senkrechten Flächen kann das Airless-Verfahren als bereits etablierte, beste verfügbare Technik bezeichnet werden. Für gerade, senkrechte Flächen ist der Einsatz von mobilen Applikationseinrichtungen mit Oversprayabsaugung die emissionsärmste Technik.
- Spannen von Netzen zur Oversprayabscheidung an den Dockenden.

---

### Neubau und Instandhaltung

- Verwendung von TBT-freien Antifouling-Anstrichen wie Silikonbeschichtungen oder Beschichtungen mit Microfaser-Lacken oder anderen biozidfreien Verfahren in Neubau und Reparatur. Die Auswahl richtet sich nach den Einsatzbedingungen des Schiffs.
- Verwendung von Mehrweg-Farbgroßemballagen für die Standardanstrichsysteme in Neubau und Reparatur.

### **Serienlackierung von Kunststoffwerkstücken**

Wegen der großen Produktvielfalt des Sektors erfolgt eine Beschreibung vorwiegend anhand von ausgewählten Werkstücken der Automobilzulieferindustrie. Hier werden für die meisten Anwendungen bereits lösemittelarme oder lösemittelfreie Beschichtungen im Serieneinsatz verarbeitet. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Werkstücke, Kunststoffe und Anforderungen an die Beschichtung, können beste verfügbare Techniken für die Serienlackierung von Werkstücken aus Kunststoff nur in allgemeiner Form abgeleitet werden:

- Hoher Anteil an elektrostatischer Applikation
- Molchbare Ringleitungen bei automatischer Applikation
- Applikation wasserverdünntbarer Systeme für Grundierung und Decklack oder Pulverlacke
- Einsatz von UV-härtenden Klarlacken

### **Serienlackierung von Metallwerkstücken**

Der Sektor der Serienlackierung von Metallwerkstücken ist breit gefächert. Die Beschreibung des Bereichs erfolgt anhand der Produkte: **Hausgeräte, Stahlmöbel, Bürogeräte, Schaltschränke, Heizkörper, Fassadenelemente, Felgen, Motorblöcke, Bremsscheiben, Kühler, Scheibenwischer** sowie **Rahmen für Motorräder und Fahrräder**. Auf Grund des großen Spektrums an eingesetzten Techniken und der sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Beschichtung der Produkte, kann eine einheitliche BVT-Bestimmung für diesen Sektor nicht vorgenommen werden, sondern sie erfolgt exemplarisch.

Die nachfolgenden Verfahren stellen für die Lackierung von Metallwerkstücken besonders fortschrittliche Verfahren dar und sind für die meisten Anwendungen verfügbar.

#### Beschichtung von Stahloberflächen:

- Wässrige Reinigungs- und Spülprozesse mit Integration wassersparender Maßnahmen wie Kreislaufführung der Spülmedien,
- kataphoretische Tauchlackierung, ggf. mit anschließender Decklackierung entweder mit Flüssig- oder Pulverlack,

- 
- lösemittelarme Flüssiglacksysteme,
  - Pulverbeschichtung mit Pulveroverspray-Recycling,
  - oversprayarme Auftragsverfahren in Kombination mit Nasslackoverspray-Rückgewinnung.

#### Beschichtung von Aluminiumoberflächen:

- Chromfreie Vorbehandlung
- Wässrige Reinigungs- und Spülprozesse mit Integration wassersparender Maßnahmen wie Kreislaufführung der Spülmedien
- Beschichtung mit Pulverlacken oder einer Kombination aus Pulver- und wasserverdünnbaren Lacken

Bei der Felgenbeschichtung können die Lösemittelemissionen pro Felge um 90 %, der Lackabfall um mehr als 85 % und der Lackverbrauch um mehr als 10 % gesenkt werden. Der Energiebedarf bleibt im Vergleich zum konventionellen Prozess gleich.

#### **Bandbeschichtung**

Bei der Beschichtung von Stahl- oder Aluminiumbändern und -blechen sind der Korrosionsschutz und die optische Oberflächenqualität von vorrangiger Bedeutung. Die Coil-Coating-Industrie ist gekennzeichnet durch einerseits große Konzerne mit integrierten Anlagen und meist eigener Weiterverarbeitung (insbesondere in der Stahlindustrie), andererseits durch mittelständische Industriebetriebe mit vergleichsweise kleineren, langsameren Anlagen und oft spezialisiertem Produktangebot.

Derzeit können die folgenden Verfahrenstechniken als beste verfügbaren Techniken in Deutschland betrachtet werden:

- Vorbehandlung: Verwendung des abwasserfreien no-rinse Verfahrens
- Beschichtung: Verwendung von konventionellen lösemittelhaltigen Lacksystemen in Kombination mit einer nachgeschalteten thermischen Nachverbrennung mit einer Gesamtemission von 3 % VOC bezogen auf die eingesetzten Lösemittel und einem Emissionswert im Reingas der TNV von 20 mg C/m<sup>3</sup>

#### **Emballagenlackierung (Getränkedosen)**

Bei der Herstellung von Getränkedosen aus Weißblech werden heute überwiegend wasserverdünnbare Lacksysteme appliziert. Diese Lacke enthalten zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften organische Lösemittel. Lösemittelfreie Lacksysteme sind derzeit nicht verfügbar.

- Verwendung von wasserverdünnbaren Lacken und Einsatz von thermisch regenerativer Nachverbrennung der Abgase aus Trocknern und Anlagen der Lack- und Druckfarbenapplikation.

- Einsatz von Gravurwalzen zur Einsparung von Druckfarbe

- Einsatz von Overvarnish zur Einsparung von Außenlack

Durch Anwendung der Techniken und der thermischen Nachverbrennung werden Gesamtemissionen von 3 % VOC bezogen auf die eingesetzten Lösemittel und einem Emissionswerte im Reingas der TNV von 20 mg C/m<sup>3</sup> erreicht.

### **Holz- und Möbellackierung**

Holz ist ein natürlicher Rohstoff, den Inhomogenität und Anisotropie kennzeichnen. Des weiteren besitzt Holz unregelmäßige Eigenschaften bezüglich der Oberflächenstruktur (Wuchsunregelmäßigkeiten), der Inhaltsstoffe (Harze, Wachse, Wasser) und des elektrischen Oberflächenwiderstands. Farbe, Struktur und Porenbild des Holzes sind Eigenschaften, die ggf. durch den Lackiervorgang erhalten bzw. in ihrer Wirkung verstärkt werden sollen; zudem ist von Bedeutung, ob eine offenporige oder geschlossenporige Oberfläche erzeugt werden soll.

Tabelle 5 zeigt die Auswahl an besten verfügbaren Techniken, aufgegliedert nach Produktionsbereichen der Holz- und Möbelindustrie.

Tabelle 5: Beste verfügbare Techniken für den Sektor der Holz- und Möbellackierung

| <b>Produktionsbereich</b>                   | <b>Beste verfügbare Technik(en)</b>  |
|---|--|
| Spanplatten für Wohn- und Schlafzimmermöbel | Wasserverdünnbare Lacksysteme mit NIR-Trocknung und UV-härtende Lacksysteme für sämtliche Lackschichten  |
| Stühle und Tische                           | Wasserverdünnbare Lacksysteme für die Grundierung und die Decklackierung mit elektrostatischer Spritzapplikation und Trocknung bei Raumtemperatur oder forcierte Trocknung |
| MDF-Platten                                 | Pulverbeschichtung, elektrostatisches Spritzverfahren  |
|   | Wasserverdünnbare- und UV-härtenden Lacksysteme, Walzverfahren, Düsen- bzw. UV-Trocknung   |
|   | UV-härtender Pulverlack, Spritzverfahren   |
| Fenster                                     | Lacksysteme auf Wasserbasis, Fluten für die Holzimprägnierung und die Grundierung, elektrostatisches Spritzverfahren für die Decklackierung                                |
| Treppen<br>(Massivholz,<br>Holzwerkstoffe)  | Lack auf Wasserbasis für die Grundierung und die Decklackierung  |
| Küchenmöbel                                 | Lacksysteme auf PUR- und Polyester-Basis   |

| <b>Produktionsbereich</b>                                   | <b>Beste verfügbare Technik(en)</b>   |
|---|---|
| Ebene Flächen, Büromöbel, Parkett, Türen, Schlafzimmermöbel | Wasserverdünnbare Beize, Kombi-Beize<br>PUR-Lacksysteme, Walzverfahren, physikalische Trocknung<br>UPE-Lacksysteme, Walzverfahren, UV-härtend |
| Spritzverfahren   | Lackrückgewinnung: bei Einsatz von Wasserlacken und lösemittelfreien Lacken   |

## **Ergebnisse der Untersuchungen zu BVT in Industriebereichen der Klebstoffanwendung**

Auf Grund der starken Substitution lösemittelhaltiger Klebstoffe und in geringem Umfang durch Abwanderung von Unternehmen in Niedriglohnländer, existieren in Deutschland heute nur noch wenige Industrieanlagen mit einer Lösemittelverbrauchskapazität von 150 kg/h oder 200t/a. IVU-relevante Anlagen existieren in Deutschland im Bereich der Klebstoffanwendung in den Sektoren Klebebandherstellung und der Papier- und Verpackungsindustrie zur Herstellung von Verbundfolien. In diesen Bereichen sind noch nicht für alle Anwendungen lösemittelfreie oder lösemittelarme Produkte verfügbar, hier werden die entstehenden VOC-Emissionen durch nachgeschaltete Abgasreinigungstechniken vermindert. (vgl. Anhang V, Teilband Lackanwendung).

## Herstellung von Klebebändern

Die Auswahl des Klebstoffsystems richtet sich nach der technischen Anwendung der Klebebänder.

Tabelle 6: Anwendungen von Haftklebstoffen für Klebebänder

| Einsatzbereich der Klebebänder | Anwendung   | Haftklebstoff  |
|--------------------------------|---|--|
| Verpackung                     | Haftetiketten, Verpackungsklebebänder   | SIS-Blockpolymere als Schmelzklebstoff, <b>lösemittelbasierte Naturkautschukklebstoffe (SB)</b> , wasserbasierte Acrylatdispersionen |
| Papierindustrie                | Spleißen von Papierrollen, Übertragungsklebebänder  | Wasserlösliche Polyacrylate  |
| Automobilindustrie             | Transferklebebänder für Zier- und Flankenschutzleisten, Dämmatten, Montagehilfen für Radkasten- und Schwellerblenden, Klebebänder für das Wickeln von Kabelbäumen | <b>Lösemittelbasierte Naturkautschukklebstoffe, Acrylsäureester und Acrylate</b>   |
| Bauindustrie                   | Schaumstoffklebebänder zur Dichtung von Fenstern, zum Abdichten von Bau- und Dehnungsfugen, Teppichbodenklebebänder etc.  | <b>Acrylatklebstoffe, auf Basis von Lösemitteln</b> oder als wässrige Dispersion   |
| Medizin                        | Medizinische Tapes, Heftpflaster  | <b>Reinacrylate, Polyacrylate</b>  |
| Möbelindustrie                 | Transferklebebänder für Spiegel etc.  | <b>Acrylatklebstoffe, lösemittelhaltig</b> oder wässrig  |

Lösemittelhaltige Klebstoffe sind krusiv hervorgehoben

Die Bestimmung einer einheitlichen BVT hinsichtlich der Einsatzprodukte für die Herstellung sämtlicher Produkte des Sektors ist daher nicht möglich, sondern muss sich an den geforderten Eigenschaften der Produkte orientieren:

- Schmelzklebstoffsysteme und Dispersionen für das untere Leistungsspektrum von Verpackungs-, Abklebe- und doppelseitigen Klebebändern.
- UV-vernetzende Systeme bis zum unteren Leistungsspektrum lösemittelbasierter Klebstoffe bei Transfer-, Verpackungs- und Abdeckklebebändern.
- Lösemittelbasierte Klebmassen für stark beanspruchte Klebebandanwendungen. Bisher sind keine lösemittelfreien Klebmassen mit gleichwertigen Eigenschaften verfügbar, so dass es im oberen Qualitätssegment derzeit keine Alternative zu lösemittelbasierten Klebstoffen

---

gibt. Für diesen Bereich sind Techniken wie Adsorptionsanlagen und Inertgastrockner mit nachgeschalteter Kondensation verfügbar, die Emissionen in die Umwelt vermindern und eine Wiederverwertung der Lösemittel ermöglichen. Die von der 31. BImschV festgelegten Grenzwerte können damit eingehalten werden.

Daten zum Produktionsprozess von Klebebändern, sind im Anhang Fallstudien Klebebandherstellung, dokumentiert.

### **Papier- und Verpackungsindustrie: Herstellung von Verbundfolien**

Lösemittelhaltige Klebstoffe werden in der Papier- und Verpackungsindustrie mit einem Anteil von 6 % am Gesamtverbrauch fast ausschließlich in der Verbundfolienherstellung verarbeitet. Die Herstellung von Verbundfolien für Lebensmittelverpackungen hat den größten Anteil an der Verbundfolienkaschierung. Innerhalb dieses Bereiches ist die Herstellung von sog. Snack- Food-Verpackungen am bedeutsamsten [VDI 1512]. Aufgrund der geringen Klebstoffmengen bei der Herstellung von Industrieverpackungen wurde auf die Herstellung von Konsumverpackungen eingegangen.

Die Auswahl der besten verfügbaren Techniken orientiert sich an dem verwendeten Klebstoffsysteem, da die Beschichtungstechniken weitgehend ähnlich sind.

- Bei Massenverbunden, an die keine erhöhten Anforderungen bestehen, ist die Verwendung von lösemittelfreien Klebstoffen bereits etablierte BVT.
- Einsatz von lösemittelbasierten Klebstoffen mit hohen Feststoffgehalten (High-Solid-Systeme) für den High-Performance-Bereich für mechanisch, thermisch oder chemisch stark beanspruchte Verpackungen und bei der Herstellung von wechselnden Verbunden mit unterschiedlichen Materialien in der selben Kaschieranlage. Nachgeschaltete Abluftreinigungsverfahren, wie z. B. die Absorption ermöglichen dabei einem hohen Anteil an Wiederverwendung der Lösemittel durch Destillation. Bei nicht wiederverwendbaren Lösemitteln (z.B. in Folge stark wechselnder Lösemittelgemische), wird die thermische Abluftreinigung eingesetzt. Reingaswerte von < 20 mg C/m<sup>3</sup> werden erreicht.
- Reduktion diffuser Emissionen durch Destillation von lösemittelhaltigen Klebstoffresten und Reinigungslösemitteln mit anschließender Verwertung der Lösemittel.

---

# Allgemeine Informationen

## I Gegenstand des Dokumentes

### I.1 Kontext

Der Rat der Europäischen Union verabschiedete am 24.9.1996 die Richtlinie über die Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie, 96/61/EG [IVU-RL 1996]). Durch diese Richtlinie wird auf europäischer Ebene eine Harmonisierung der Genehmigungsverfahren für den Betrieb industrieller Anlagen angestrebt [BECKER 1997]. Die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union werden somit bei der Zulassung von bestimmten umweltrelevanten Anlagen zu einem “integriertem Konzept“ verpflichtet [RENTZ 1998]. Vorrangiges Ziel der IVU-Richtlinie ist gemäß Artikel 1 die Erreichung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt. Sie sieht Maßnahmen zur Vermeidung oder, falls dies nicht möglich ist, zur Verminderung von Emissionen aus bestimmten industriellen Tätigkeiten in Luft, Wasser und Boden vor. Anhang I der IVU-Richtlinie enthält eine Liste industrieller Aktivitäten, die gezielt durch die IVU-Richtlinie erfasst werden; insbesondere **“Anlagen zur Behandlung von Oberflächen von Stoffen, Gegenständen oder Erzeugnissen unter Verwendung von organischen Lösemitteln, insbesondere zum Appretieren, Bedrucken, Beschichten, Entfetten, Imprägnieren, Kleben, Lackieren, Reinigen oder Tränken“** (Nummer 6.7 des Anhangs I).

#### I.1.1 Umweltgefährdung

Die aufgeführten Anlagen weisen auf Grund der Emissionen an flüchtigen organischen Verbindungen<sup>1</sup> (VOC) ein großes Umweltgefährdungspotential auf. Die emittierten organischen Verbindungen besitzen darüber hinaus, in Folge ihrer neurotoxikologischen Eigenschaften, unmittelbare gesundheitsschädigende Wirkung. Die nach der Applikation in die Umwelt emittierten VOC unterliegen in der bodennahen Atmosphäre in Anwesenheit von

---

<sup>1</sup> Eine flüchtige organische Verbindung (engl. volatile organic compounds, VOC) bezeichnet eine organische Verbindung, die bei 293,15 K einen Dampfdruck von 0,01 kPa oder mehr hat oder unter den jeweiligen Verwendungsbedingungen eine entsprechende Flüchtigkeit aufweist. [LM-RL 1999]

---

Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) und Sonnenlicht photochemischen Reaktionen, die zur Bildung von ökotoxischen Photooxidantien führen. Neben den dabei entstehenden PAN (Peroxyacetyl-Nitrat) und Aldehyden ist vor allem das photochemisch gebildete Ozon umweltrelevant. Das Ozon ist der Hauptverursacher für den photochemischen Smog (Sommersmog).

### I.1.2 Bedeutung der IVU- Richtlinie

Das Instrument zur Umsetzung der Ziele der IVU-Richtlinie besteht in der Vergabe von Genehmigungen für den Betrieb industrieller Anlagen (neue und bestehende Anlagen). Im Rahmen des vorgesehenen Genehmigungsverfahrens beinhaltet die Richtlinie wesentliche Neuerungen gegenüber früheren Ansätzen zum Schutz der Umwelt, u.a. gegenüber der Industrieanlagenrichtlinie 84/360/EWG, die durch die IVU-Richtlinie abgelöst wird. Die bedeutendste Änderung und Weiterentwicklung stellt der integrierte Ansatz des Umweltschutzes im Sinne einer medienübergreifenden Betrachtung unter Berücksichtigung der Gefahren einer Verlagerung der Umweltverschmutzung von einem Medium in ein anderes (vgl. u.a. Artikel 9 (3) und 9 (4)) dar. [BECKER 1997, RENTZ 1999]

Zur materiellen Umsetzung der IVU-Richtlinie wird die Anwendung von “Besten Verfügbaren Techniken“ (BVT) herangezogen. Die BVT sollen v.a. dazu dienen, Emissionsgrenzwerte für bestimmte Schadstoffe, die im Anhang III der Richtlinie aufgeführt sind, für die durch die IVU- Richtlinie erfassten Anlagen festzulegen.

### I.1.3 Begriffsdefinition “Beste Verfügbare Techniken“

Gemäß Artikel 2, Abschnitt 11 der IVU-Richtlinie bezeichnen “Beste Verfügbare Techniken“ *“den effizientesten und fortschrittlichsten Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden, der spezielle Techniken als praktisch geeignet erscheinen lässt, grundsätzlich als Grundlage für Emissionsgrenzwerte zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt allgemein zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern.“* Dabei bezeichnet:

- ‘Technik’ sowohl die angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie die Anlage geplant, gebaut, gewartet, betrieben und stillgelegt wird;
- ‘verfügbar’ die Techniken, die in einem Maßstab entwickelt sind, der unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses die Anwendung unter in dem betreffenden industriellen Sektor wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen ermöglicht, gleich, ob diese Techniken innerhalb des betreffenden Mitgliedstaats ver-

---

wendet oder hergestellt werden, sofern sie zu vertretbaren Bedingungen für den Betreiber zugänglich sind;

- ‘beste’ die Techniken, die am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt beitragen.

Bei der Bestimmung der Besten Verfügbaren Techniken sind sämtliche Aspekte, die bereits bei der Ermittlung der BVT-Kandidaten beschrieben wurden, zusammenfassend heranzuziehen und zu bewerten, insbesondere (gemäß Anhang IV der IVU-Richtlinie):

1. Einsatz abfallarmer Technologien
2. Einsatz von weniger gefährlichen Stoffen
3. Förderung der Rückgewinnung und Wiederverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle
4. Vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im industriellen Maßstab erprobt wurden
5. Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen
6. Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen
7. Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen
8. Für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit
9. Verbrauch an Rohstoffen und Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz
10. Die Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern
11. Die Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für die Umwelt zu verringern
12. Die von der Kommission gemäß Art. 16, Abs. 2 oder von internationalen Organisationen veröffentlichten Informationen

## **II Relevante deutsche und internationale umweltrechtliche Regelwerke**

Die neben der IVU-Richtlinie existierenden nationalen und internationalen Regelwerke, die u.a. industrielle Lösemittelanwendung betreffen, sind nachfolgend beschrieben.

Dieser Abschnitt soll einen kurzen Überblick über relevante umweltrechtliche Regelwerke auf internationaler und deutscher Ebene in Bezug auf die vorliegende Fragestellung vermitteln.

---

## **II.1 Internationale Verpflichtungen**

Als internationale Verpflichtungen für Anlagen aus lackverarbeitende Bereiche sind die Protokolle der UN/ECE im Rahmen der Konvention über den grenzüberschreitenden Ferntransport von Luftschadstoffen, die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen der Europäischen Union (sog. NEC-Richtlinie) und die Richtlinie über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen für bestimmte Tätigkeiten, zu nennen [LM-RL 1999].

### **II.1.1 UN/ECE Konvention über den grenzüberschreitenden Ferntransport von Luftschadstoffen und ihre Folgeprotokolle**

Die Konvention über den grenzüberschreitenden Ferntransport von Luftschadstoffen (engl. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, CLRTAP) der Wirtschaftskommission für Europa unter den Vereinten Nationen (engl. United Nations Economic Commission for Europe, UN/ECE) stellt einen Meilenstein in der internationalen Umweltpolitik dar. Die Konvention hat es ermöglicht, die internationale Umweltgesetzgebung zu entwickeln und den wesentlichen Rahmen zur Überwachung und Minderung der Gefährdung der Umwelt und der menschlichen Gesundheit durch die grenzüberschreitende Luftverschmutzung zu schaffen. Die Konvention wurde 1979 durch 34 Staaten und die Europäische Gemeinschaft unterzeichnet. Sie war das erste international verbindliche Instrument, das sich mit Luftreinhalteprobleme in einem grenzüberschreitenden Kontext beschäftigt. Diese Konvention hat die allgemeinen Prinzipien der internationalen Kooperation für die Minderung der Luftverschmutzung und den institutionellen Rahmen geschaffen, um Forschung und Politik zusammenzubringen.

Verwirklicht wurde die Konvention durch fünf spezifische Protokolle. Das jüngste Protokoll, *Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone* (auch Göteborg Protokoll genannt) wurde Ende 1999 unterzeichnet. Darin sind die Emissionsobergrenzen für das Jahr 2010 für die vier Luftschadstoffe Schwefel ( $\text{SO}_2$ ), Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), VOC und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) festgelegt. So beträgt beispielsweise die Obergrenze für Deutschland 995 Tonnen VOC für das Jahr 2010, was eine Minderung von etwa 70 % gegenüber dem Jahr 1990 ausmacht. Diese Obergrenze ist bei der Umsetzung von weiteren internationalen Regelwerken (wie z.B. 99/13/EG Lösemittel-Richtlinie) zu realisieren.

Ferner sind Emissionsgrenzwerte für diese vier Luftschadstoffe für spezifische Emissionsquellen und beste verfügbare Techniken in den Technischen Anhängen des Göteborg Protokolls festgelegt. Diese können bzw. müssen bei einem nationalen Minderungsplan ebenfalls Berücksichtigung finden. (vgl. [UN/ECE ])

---

## **II.1.2 Die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen der Europäischen Union (NEC-Richtlinie)**

Das Göteborg-Protokoll der UNECE wird in der EU durch die Richtlinie 2001/81/EG über nationale Emissionshöchstgrenzen für die Luftschadstoffe ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$  und VOC) umgesetzt. Nach der englischen Bezeichnung "national emission ceilings" ist sie auch als "NEC-Richtlinie" bekannt.

Sie legt für die einzelnen Mitgliedsstaaten verbindliche nationale Emissionshöchstgrenzen ab dem Jahr 2010 fest, wobei einzelne Abweichungen vom Göteborg-Protokoll vorliegen. Bis Oktober 2002 müssen alle Mitgliedstaaten Programme erstellen, wie die erforderlichen Emissionsminderungen erreicht werden sollen.

Dabei bestimmen die nationalen Behörden selbst, welche Maßnahmen am geeignetsten sind, um diese Emissionshöchstgrenzen einzuhalten. Bei dem Datum 2010 handelt es sich jedoch nur um ein Zwischenziel, bei dem das Ökosystemgebiet gegenüber der Situation im Jahr 1990 in praktisch allen Gebieten um mindestens 50 % verringert werden soll. Die Emissionsfracht für VOC soll in Deutschland bis 2010 auf 995 Kilotonnen reduziert werden (vgl. [EU 2001]).

## **II.1.3 Die Lösemittel-Richtlinie der Europäischen Union**

Die Lösemittel-Richtlinie [LM-RL 1999] umfasst die Verminderung von flüchtigen organischen Verbindungen, die aus 21 relevanten Tätigkeitsbereichen der Lösemittelanwendung emittiert werden. Die Richtlinie gliedert sich in einen allgemeinen Teil mit grundsätzlichen Anforderungen und in einen branchenspezifischen Teil, in dem

- Tätigkeitsbereiche definiert (Anhang I),
- Schwellenwerte und Emissionsgrenzwerte für die Anlagen der 21 Tätigkeitsbereiche aufgeführt (Anhang IIA),
- Grundsätze und Anforderungen für einen betrieblichen Reduzierungsplan genannt (Anhang IIB) und,
- Leitlinien zur Aufstellung einer betrieblichen Lösemittelbilanz vorgegeben werden (Anhang III).

Die Umsetzung der europäischen Richtlinie in nationales Recht erfolgte im August 2001 (vgl. auch [MAHRWALD 2000]).

Im Vergleich zur TA Luft deckt die Lösemittel-Richtlinie ebenfalls den größten Teil der bisher nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen im Bereich der Lackanwendung ab.

Ein wesentlicher Bestandteil der EU-Lösemittelrichtlinie bildet der Lösemittelwirtschaftsplan (engl. Solvent Management Plan).

---

## *Der Lösemittelwirtschaftsplan*

Der Lösemittelwirtschaftsplan stellt eine bestimmte Form der Stoffbilanzierung dar, indem die Betriebe in regelmäßigen Abständen, ihre Input- und Outputströme von Lösemitteln erfassen mit dem Ziel, einen effizienten Materialeinsatz zu erreichen. Dabei sind einzelne Lösemittel, die nach den Klassifizierungsgrundsätzen des Chemikalienrechts als krebs erzeugend, erbgutverändernd, reproduktionstoxisch oder besonders gesundheitsschädlich gelten, gesondert auszuweisen. Die Behörden prüfen die vorgelegten Lösemittelwirtschaftspläne auf Vollständigkeit und Plausibilität und vereinbaren ggf. mit den Betrieben konkrete Minderungsziele. [ RENTZ 2001, MAY 2001]

## **II.2 Rechtsgrundlagen in Deutschland**

Die wesentlichen nationalen Anforderungen an die klebstoff- und lackverarbeitenden Unternehmen werden im folgenden kurz aufgeführt. Wichtige Rechtsgrundlage für Industrieanlagen in Deutschland sind im wesentlichen in den folgenden Gesetze und Verordnungen definiert.:

- Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)
- Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (31. BImschV) (März 2001).
- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

In Deutschland wird bei Genehmigung von Industrieanlagen die Beeinträchtigung aller Umweltmedien berücksichtigt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Emissionen aber auch auch Lärmbelastung etc. werden berücksichtigt. Durch die Anwendung des Vorsorgeprinzips werden für die Belastung Grenzwerte festgelegt und deren Einhaltung von den Genehmigungsbehörden überwacht. Die Umsetzung von Umweltgesetzen und Verordnungen obliegt den einzelnen Bundesländern. Grenzwerte können sich in den Bundesländern daher unterscheiden. Für die Errichtung neuer Industrieanlagen, die ein Potential der Umweltgefährdung aufweisen, ist zudem die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung vorgeschrieben (UVP-Gesetz).

---

## **II.2.1 Gesetze**

### **II.2.1.1 Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)**

In Deutschland gilt als Grundlage für die Reinhaltung der Luft das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) und als technische Verwaltungsvorschrift die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft). Dieses Gesetz spezifiziert die Anforderungen an genehmigungspflichtige Anlagen und befasst sich mit den Grundsätzen und Abläufen von Genehmigungsverfahren sowie mit Straftaten und Ordnungswidrigkeiten. Die Anforderungen an Anlagen werden über Emissionsgrenzwerte festgelegt. Die TA Luft dient vorwiegend den Genehmigungsbehörden für bundeseinheitliche Orientierungswerte, wie die im § 1 des BImSchG festgelegten Ziele definiert und überwacht werden sollen. Neben der Dokumentation des „Standes der Technik“, formuliert sie auch neue Grundsätze wie Altanlagensanierung, Dynamisierung, Massenbegrenzung, etc. (vgl. [MAY 2001]).

### **II.2.1.2 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)**

Gemäß Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) müssen sämtliche Betriebe, die einen jährlichen Anfall von 2 t besonders überwachungsbedürftigen Abfällen bzw. 2 000 t überwachungsbedürftigen Abfällen überschreiten, ein Abfallwirtschaftskonzept (§19) und eine Abfallbilanz (§20) erstellen. Dafür sind u.a. Angaben über Art, Menge und Entsorgungsweg dieser Abfälle zu machen. Die Erstellung eines betrieblichen *Abfallwirtschaftskonzepts* wurde erstmals für das Jahr 1999 für einen Zeitraum von 5 Jahren gefordert und soll Angaben enthalten über [MAY 1997]:

- Art und Menge der erzeugten Abfälle,
- getroffene und geplante Maßnahmen zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung,
- Begründung der Beseitigungsnotwendigkeit,
- Verwertungs- und Beseitigungswege,
- Standort- und Anlagenplanung bei der Eigenentsorgung, und
- Verbleibnachweise bei der Entsorgung innerhalb und außerhalb von Deutschland.

Die *Abfallbilanz* hingegen stellt eine rückblickende Beschreibung zum abgelaufenen Abfallwirtschaftsjahr, bei der die Punkte 1, 3 und 6 der obigen Aufzählung zu erfüllen sind. Entsprechende Bilanzen waren erstmals 1998 rückblickend für das Jahr 1997 zu erstellen.

### **II.2.1.3 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)**

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) bildet die Grundlage für den Schutz von Grund- und Oberflächengewässern. Gemäß dieses Gesetzes sind Abwasser, die gefährliche Stoffe enthalten, vor der Ableitung nach dem Stand der Technik zu reinigen. Dafür werden die

---

gefährlichen Stoffe in Wassergefährdungsklassen (WGK) eingeteilt: Lösemittelhaltige Lacke entsprechen z.B. WGK 2 (wassergefährdend) und wasserbasierende Lacke WGK 1 (schwach wassergefährdend). Die entsprechenden Informationen sind auf den Sicherheitsdatenblättern der Lackmaterialien und Lösemittel gekennzeichnet.

Ergänzt wird das WHG durch die Verwaltungsvorschriften für 57 Branchen, in denen die Grenzwerte für bestimmte Stoffe und Parameter festgelegt sind. Vereinheitlicht werden diese branchenspezifischen Regelungen schrittweise in der Allgemeinen Rahmenverwaltungsvorschrift (sog. TA Wasser) über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer. Zusätzlich zu den durch Grenzwerte festgelegten Anforderungen wird auch der Stand der Technik über allgemeine Forderungen formuliert. (vgl. [MAY 2001])

## **II.2.2 Verordnungen**

### **II.2.2.1 Bundesimmissionsschutzverordnungen (BImSchV)**

Da die Zielvorgaben des Bundesimmissionsschutzgesetzes für konkrete Fragen der technischen Planung nicht ausreichen, wurden bislang 31 Bundesimmissionsschutzverordnungen verabschiedet. Im Rahmen von Anlagen zur Behandlung von Oberflächen sind insbesondere die nachfolgenden von Bedeutung (vgl. [MAY 2001]):

- 2. BImSchV: Halogenwasserstoffe (März 1991)
- 4. BImSchV: Genehmigungsbedürftige Anlagen (November 1985)
- 12. BImSchV: Störfall-Verordnung (September 1991).
- 31. BImSchV: Umsetzung der am 11. März 1999 vom Rat der Europäischen Union erlassenen Richtlinie 1999/13/EG (vgl. II.2.2.3)

### **II.2.2.2 Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)**

Gemäss § 16 Abschnitt 3a der GefStoffV ist der Anlagenbetreiber dazu verpflichtet, ein Verzeichnis aller Gefahrstoffe zu führen, mit denen die Arbeitnehmer umgehen. Das Verzeichnis soll Angaben über Bezeichnungen, Kennzeichnungen und Menge der Gefahrstoffe im Betrieb sowie über Arbeitsbereiche, in denen mit Gefahrstoffen umgegangen wird, beinhalten [MAY 1997]. Diese Verordnung richtet sich nicht nach Schwellenwerten; die Erstellung von Bilanzen wird grundsätzlich gefordert.

---

### **II.2.2.3 Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (31. BImSchV)**

Diese Verordnung stellt die Umsetzung der EU Lösemittel-Richtlinie in deutsches Recht dar [31. BIMSchV 2001]. Dabei werden einzelne Anforderungen der EU Lösemittel-Richtlinie strenger umgesetzt werden als es nach EU-Vorgaben erforderlich wäre. Übergeordnetes Ziel ist das Erreichung der im Göteborg Protokoll festgelegte VOC-Emissionshöchstmenge von 995 t für das Jahr 2010.

## **II.3 Gegenstand des Forschungsvorhabens**

Im Rahmen der Umsetzung der IVU-Richtlinie wurde der vorliegende Bericht über die besten verfügbaren Techniken für die Bereiche der industriellen Lack- und Klebstoffanwendung erstellt. Dieser Bericht ist der deutsche Beitrag zu den europäischen BVT-Merkblättern für die genannten Bereiche. Die Federführung für die Erstellung der europäischen BVT-Merkblätter in sämtlichen Sektoren liegt beim Institute for Prospective Technological Studies (IPTS) in Sevilla. Dem Terminplan zufolge soll mit den Arbeiten an den BVT-Merkblättern “Oberflächenbehandlung unter Verwendung von organischen Lösemitteln für die Bereiche Lack- und Klebstoffanwendung“ im Frühjahr 2002 auf europäischer Ebene begonnen werden<sup>2</sup>. Das Umweltbundesamt fungiert dabei als nationale Koordinierungsstelle im Auftrag der Bundesregierung.

Aufgrund einer umfassenden Recherche der Fachliteratur sowie zahlreicher Expertendiskussionen mit Industrievertretern und Vertretern von Industrieverbänden, wurden die Bereiche mit größten Verbräuchen an Lösemitteln ausgewählt, die für die Erstellung des vorliegenden Berichtes untersucht wurden (vgl. Tabelle II-1).

Das Produktspektrum der Industriebereiche ist dabei sehr vielfältig und resultiert in stark unterschiedlichen Anforderungen an Klebeverbindungen und Lackbeschichtungen. Daher unterscheiden sich die Fertigungsprozesse und eingesetzten Techniken der untersuchten Bereiche sehr stark voneinander, so dass sie nur getrennt beschrieben werden können. Zur Festlegung der BAT-Kandidaten ist dabei eine ausführliche Beschreibung der eingesetzten Techniken erforderlich, um Fehlinterpretationen bei der weiteren Erstellung der BREFs auszuschließen (vgl. [IPPC 2002]).

---

<sup>2</sup> Zu Beginn des Projektes wurde von einem Start der TWG im Sommer 2000 ausgegangen

Tabelle II-1: *Untersuchte Industriebereiche der Lack- und Klebstoffverarbeitung*

| <b>Klebstoffverarbeitung<br/>Anlagen zur Herstellung von:</b> | <b>Lackverarbeitung<br/>Anlagen zur Lackierung<br/>von:</b> |
|---|---|
| Klebebändern  | PKW   |
| Verbundfolien   | Bussen und LKW  |
| PKW   | Reisemobilen  |
| Nutzfahrzeuge: Busse, LKW                                     | Großfahrzeuge   |
| Reisemobilen  | Schienenfahrzeuge   |
| Schienenfahrzeuge   | Flugzeuge   |
| Flugzeuge   | Schiffe   |
| Schuhen und Lederwaren  | Kunststoffteile   |
| Holzwerkstoffe und Möbel                                      | Möbeln  |
|   | Metallwerkstücken   |
|   | Erzeugnisse der<br>Bandbeschichtungsindustrie               |
|   | Emballagen  |

Zur Beschreibung der umweltrelevanten Input- und Outputströme der Unternehmen, wurden im Forschungsvorhaben die zur Zeit eingesetzten technischen Prozesse und Verfahren einer umfassenden Analyse unterzogen. Bei den untersuchten Produktionssystemen handelt es sich um sehr heterogene Bereiche, in denen mehrere tausend Einsatzstoffe verarbeitet werden. Da für die Fragestellung nur wenig aktuelle Fachliteratur existiert, basieren die Prozessbeschreibungen überwiegend auf Fallstudien und Betriebsbesichtigungen repräsentativer Anlagen. Dabei wurden die Prozessschritte Vorbehandlung, Beschichtung und Nachbehandlung anhand des Durchlaufs typischer Werkstücke bzw. Oberflächen in

---

relevanten IVU-Anlagen bzw. Anlagen, die vor dem Einsatz von Minderungsmaßnahmen IVU-Anlagen waren, identifiziert und die zugehörigen Massen- und z. T. Energieströme beschrieben. Darüber hinaus wurden technische Optionen zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, soweit vorhanden, charakterisiert. Ziel der Fallstudien war im Wesentlichen die Ermittlung folgender Informationen:

- Allgemeine Informationen zur Anlage/zum Prozess
- Emissionen in die Luft
- Wasserseitige Emissionen
- Abfall
- Verbrauch an Einsatzstoffen und Energie
- Sonstige Daten wie Angaben über Abwärme, eventuell Kostenangaben zu eingesetzten Maßnahmen.

Auf Grundlage der ermittelten Daten und Informationen wurden die *Besten Verfügbaren Techniken* (BVT) identifiziert und soweit möglich techno-ökonomisch analysiert und medienübergreifend bewertet.

Der Bilanzraum für die medienübergreifende Bewertung ist dabei die jeweilige Anlage. Umweltbelastungen die in Vorketten der betrachteten Produktionsprozesse auftreten, wie beispielsweise bei der Produktion von Lacken und Klebstoffen oder während der Gebrauchsphase und Entsorgung der Produktes, können auf Grund der Komplexität der hergestellten Produkte und Prozesse i.a. nicht betrachtet werden. In Bereichen, in denen es zwischen eingesetzten Verfahren zu bedeutenden Unterschieden in Bezug auf Umweltbelastungen außerhalb der untersuchten Anlagen kommt, wurde dies herausgestellt.

Durch die Unterstützung des Forschungsvorhabens durch Industrie, Verbände und Behörden wurde sichergestellt, dass zum einen auf beiden Seiten Doppelarbeit vermieden wird und zum anderen ein realistisches Bild der deutschen Anlagen an das EIPPCB Sevilla übermittelt wird.

---

## **Quellenverzeichnis**

### **[BECKER 1997]**

BECKER, B.: *Einführung in Inhalt, Bedeutung und Probleme der Umsetzung der Richtlinie 96/61/EG des Rates der Europäischen Union vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung*, in: Deutsches Verwaltungsblatt, DVB1, Carl Heymanns Verlag, 1. Mai 1997, S. 588-596

### **[EU 2001]**

Nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe <http://www.europa.eu.int>

### **[IPPC 2002]**

IPPC: Economic and Cross-Media Effects Technical Working Group: Draft record of interim meeting 30.01.02 – 1. 02.02, Sevilla

### **[IVU-RL 1996]**

RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: *Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung*, in: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 257, 10.10.1999

### **[LM-RL 1999]**

RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: *Richtlinie 1999/13/EG des Rates vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösemittel entstehen*, in: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 85/1, 29.03.1999

### **[MAHRWALD 2000]**

MAHRWALD, B.: *EG-Lösemittelrichtlinie – Umsetzung in Deutschland und weitere Ziele*, in: Journal für Oberflächentechnik, 3/2000

### **[MAY 1997]**

MAY, T.: *Umweltmanagement im Lackierbetrieb*, Hannover, 1997

### **[MAY 2001]**

MAY, TH.: *Emissionsminderung und Abfallvermeidung*, in: Besser Lackieren - Jahrbuch 2001, Vincentz Verlag, Hannover. 2001

### **[31. BIMSCHEV 2001]**

BUNDESREGIERUNG: *Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen*, März 2001

### **[RENTZ 1998]**

RENTZ, O.; GELDERMANN, J.; JAHN, CH.; SPENGLER, Th.: *Vorschlag für eine medienübergreifende Bewertungsmethode zur Identifikation der "Besten Verfügbareren Techniken" BVT im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Kommission*, Forschungsprojekt 109 05 006 im Auftrag des Umweltbundesamtes (Berlin), Karlsruhe, Januar 1998

### **[RENTZ 2001]**

RENTZ, O. AVCI, N., GELDERMANN, J.: *Study for the implementation and development of an internet based information exchange between Member States, the European Commission and the activities concerned on the use of organic*

---

*substances and their potential substitutes according to article 7 Directive  
1999/13/EC*, Final report, DFIU, University of Karlsruhe, October 2001

URL: [www.voc-infoex.uni-karlsruhe.de](http://www.voc-infoex.uni-karlsruhe.de)

**[UN/ECE ]**

*The 1999 Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone*, in:  
Internet-Seiten <http://www.unece.org/env/lrtap>

**[VDI 3455]**

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *Emissionsminderung - Anlagen zur Serienlackierung von  
Automobilkarossern (VDI 3455)*, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, in: VDI/DIN-  
Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3, Düsseldorf, April 1996

**[VDI 3462]**

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *Emissionsminderung - Holzbearbeitung und -verarbeitung -  
Bearbeitung und Veredelung des Holzes und der Holzwerkstoffe (VDI 3462)*, Kommission  
Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, in: VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3,  
Düsseldorf, Oktober 1996

---

# 1 Allgemeine Informationen über lösemittel-anwendende Anlagen der Lackverarbeitung

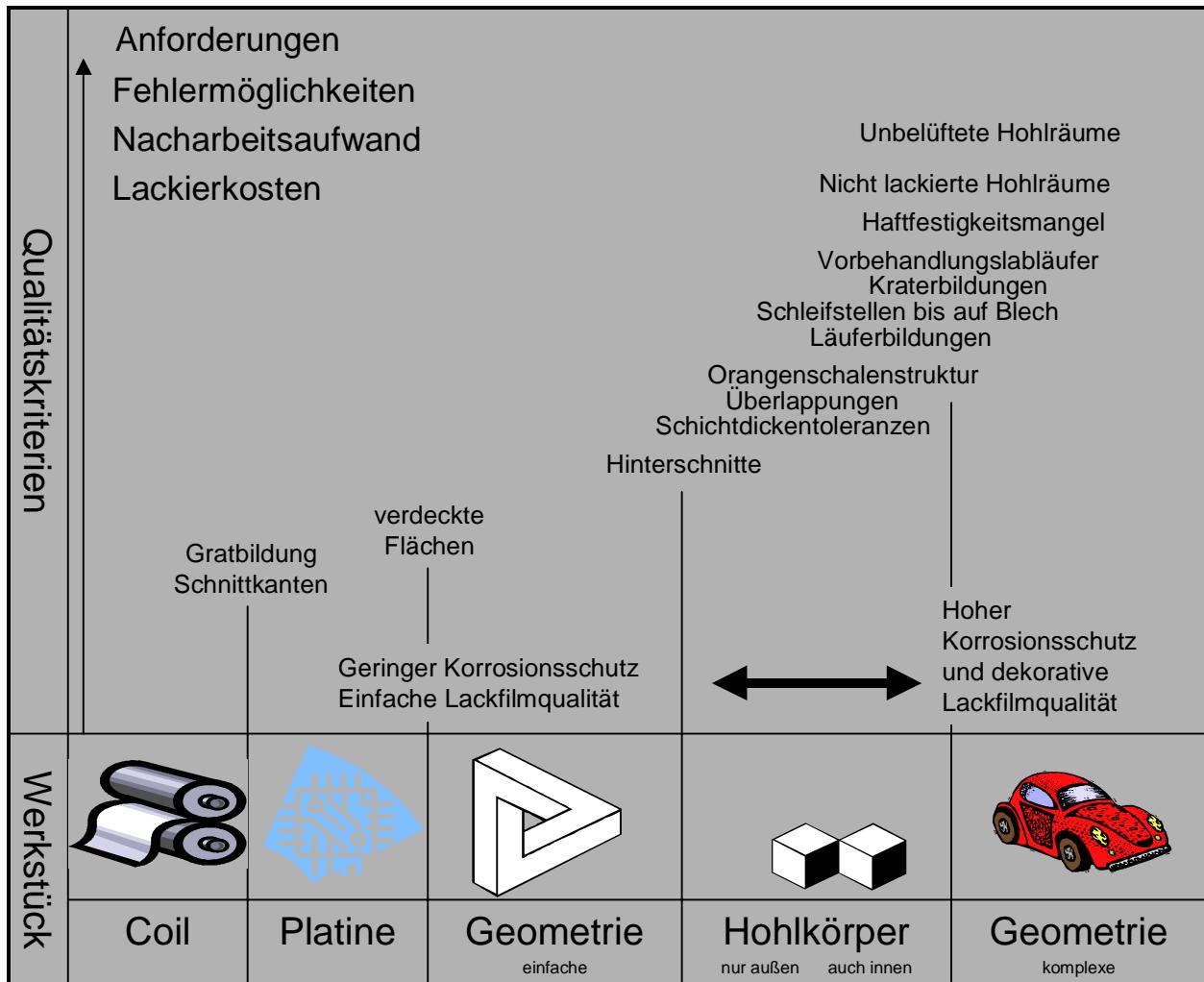
## 1.1 Anforderungen an die Lackbeschichtung

Die Anforderungen an die Oberflächenbeschichtung unterscheiden sich in den einzelnen Produktionsbereichen stark. Während z.B. bei der Schiffslackierung die Beschichtung vorwiegend dem Korrosionsschutz dient, stehen bei der Automobilserienlackierung zusätzlich die optischen Eigenschaften im Vordergrund. Eine Veranschaulichung der Anforderung an die Beschichtungen zeigt Tabelle 1-1 und Abbildung 1-1.

Tabelle 1-1: Anforderungen von Lackierprozessen nach Anwendungsbereich [BROCK 1998]

|  | Anforderungen  |   |
|--|--|---|
|  | groß/hoch  | geringer  |
| Technologische Anforderungen   | Schiffslackierung mit Langzeit-Korrosionsschutz          | Möbel und Geräte für den Innengebrauch                        |
| Optische Ansprüche an die Oberfläche   | Automobile   | (Land-)Maschinen  |
| Größe des Werkstückes  | Schiffe, Flugzeuge                                       | Getränkedosen, Regalteile                                     |
| Geometrische Form des Substrats  | Hohleiteile: Autos, Rohre                                | Möbeltüren  |
| Spezielle Anforderungen, z. B. an elektrische Leitfähigkeit der Beschichtung | Leitlacke auf Kunststoffgehäusen, isolierende Drahtlacke | Andere Gebrauchslacke, z.B. biozide Wirkung bei Schiffslacken |

Abbildung 1-1: Abhängigkeit von Produktgeometrie und Qualitätskriterien [GRUPP 1999]



## 1.2 Beschichtungsmaterialien

Lackmaterialien bestehen aus flüchtigen und nichtflüchtigen Bestandteilen. Der nichtflüchtige Anteil verbleibt nach der Applikation und Härtung oder Trocknung auf dem zu beschichtenden Substrat zurück. Der Anteil der flüchtigen Bestandteile hängt dabei vom jeweiligen Lacksystem und den Applikationsbedingungen ab. Die fargebenden Basislacke zur Automobilserienlackierung können bis zu 80 Gew. % flüchtige Bestandteile enthalten [ONDRADESCHECK 2002], während Pulverlacke frei von flüchtigen organischen Komponenten sind. Abbildung 1-2 zeigt die Bestandteile von Flüssiglackrezepturen.

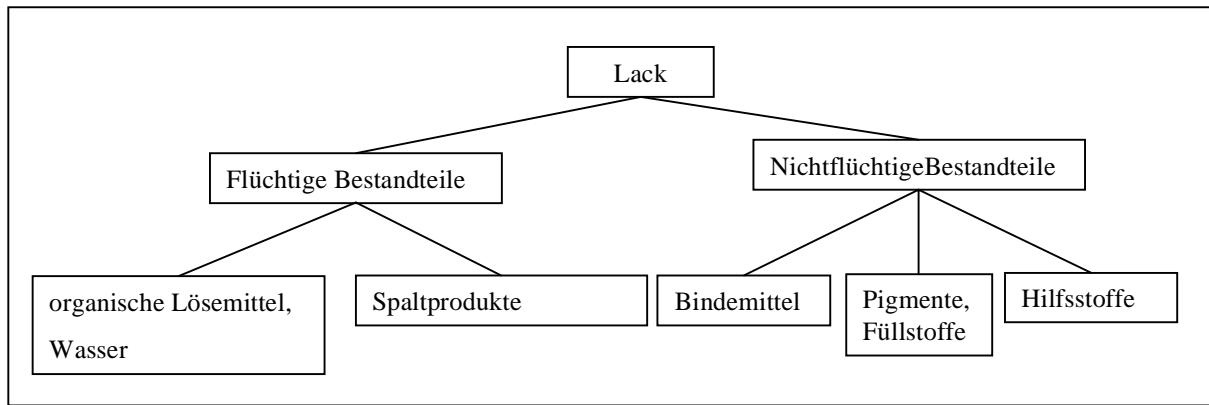


Abbildung 1-2: *Lackbestandteile* [ONDRATSCHECK 2002]

**Lösemittel** sollen die Lackbestandteile lösen oder dispergieren und so in eine für die Verarbeitung notwendige Form bringen. Über eine Zugabe von Lösemitteln kann das Material an die Applikationsbedingungen angepasst werden. Die Verdunstung der Lösemittel erfolgt bei der Applikation und während des Trocknungsvorganges. Als Lösemittel kommen hauptsächlich Gemische aus Kohlenwasserstoffen (Xylol, Toulol, Siedegrenzbenzine), Alkoholen, Ester und Ketonen zum Einsatz. Bei wasserverdünnbaren Lacksystemen ist Wasser das Hauptlösemittel. In der Literatur existieren unterschiedliche Definitionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC). Daher wird im Folgenden die VOC-Definition der 31. BImschV. verwendet:

*Als flüchtige organische Verbindung (VOC) wird eine organische Substanz verstanden, die bei 293,15 K einen Dampfdruck von 0,01 kPa oder mehr aufweist oder unter den Verwendungsbedingungen eine entsprechende Flüchtigkeit aufweist [RL 1999/13/EG].*

**Spaltprodukte**, die z.T. auch VOC darstellen, werden bei der Vernetzung der Bindemittelkomponenten und in Folge thermischer Belastung des Lackmaterials beim Trocknungsvorgang freigesetzt. Spaltprodukte sind v.a. Alkohole, Wasser und Formaldehyd. Aufgrund der vielfältigen Lackrezepturen kann eine Quantifizierung der Spaltprodukte nicht vorgenommen werden.

**Pigmente** und **Füllstoffe** sind organische und anorganische Substanzen. Während die Füllstoffe vor allem die mechanischen Eigenschaften des Lackfilms (Härte, Haftung, Biegsamkeit usw.) beeinflussen, geben die Pigmente dem Lack den Farbton. **Bindemittel** sind für die Filmeigenschaften des Applizierten Lacks verantwortlich und ermöglichen die Filmbildung. **Hilfsstoffe** werden in geringer Menge (bis ca. 2 %) dem Lackmaterial zugegeben, um bestimmte Eigenschaften wie z. B. den Lackverlauf, zu beeinflussen.

---

## 1.2.1 Lacksysteme

Im Folgenden werden die wichtigsten Lackarten, die in den Anlagen der untersuchten Industriesektoren (vgl. IVU-RL, Anhang I Nr. 6.7) zur Anwendung kommen, beschrieben:

### 1.2.1.1 Lösemittelhaltige Lacksysteme

**Lösemittelhaltige, konventionelle Lacke** bestehen aus ca. 30 – 80 Gew. % organischen Lösemitteln. Die eingesetzten Lösemittel dienen der Regulierung der Viskosität beim Verarbeiten und der Filmbildung. Die Art der Lösemittel richtet sich v.a. nach dem verwendeten Lack-Bindemitteln. Nach der Art der Flimbildung werden die Lacke in Polykondensationslacke (z.B. Phenol / Harnstoff / Melaminharzlacke), Polymerisationslacke (z.B. Polyester-, Acrylharz-, Alkydharzlacke), und Polyadditionslacke (z.B. Epoxid-Polyurethanlacke) eingeteilt.

**Festkörperreiche Lacksysteme, sog. High-Solids** stellen eine Weiterentwicklung der konventionellen lösemittelhaltigen Lack- und Beschichtungssysteme mit einem Feststoffgehalt von > 65 % dar. Die Bindemittel basieren v.a. auf Epoxiden oder 2K-Polyurethanen<sup>1</sup>. Für den Korrosionsschutz, den Landmaschinen- und Haushaltsgerätebereich werden vorwiegend High Solid Systeme auf Acryl- und Polyester-Isocyanat-Basis verwendet.

Für die Zukunft wird die Entwicklung von High Solids mit einem Festkörperanteil von 98 bis 100 % erwartet. Dafür müssen allerdings andere Lackauftragssysteme, wie z.B. Heißspritzenverfahren, entwickelt und eingesetzt werden [CULIK 2000]

### 1.2.1.2 Wasserverdünnbare Lacksysteme

Wasserverdünnbare Lacke enthalten wasserlösliche oder in Wasser dispergierbare Bindemittel. Zum Einsatz kommen v.a. Alkyde, Polyester, Acrylate, Melamin- und Epoxidharze. Die Produkte enthalten oftmals auch ca. 3 – 18 Gew. % organische Lösemittel als Lösungsvermittler und zur Verbesserung der Verlaufseigenschaften. Zur Stabilisierung bei der Lagerung, enthalten wasserverdünnbare Lacke oftmals Biozide. Bei der Anwendung von Wasserlacken treten einige Besonderheiten auf:

- **Brennbarkeit:** Normalerweise sind geringere Aufwendungen für den Brandschutz bei Applikation, Trocknung und v.a. bei Lagerung notwendig.

---

<sup>1</sup> 2-komponentig

- 
- Verdunstungsenergie: Wasser hat im Vergleich zu organischen Lösemitteln eine höhere Verdunstungsenergie. Daher muss zur Trocknung dieser Lacksysteme oftmals mehr Energie, als bei konventionellen Lacken aufgewendet werden, um vergleichbare Trocknungsgeschwindigkeiten zu erreichen.
  - Korrosion: In Folge der korrosiven Eigenschaften des Wassers müssen Leitungen der Applikationseinrichtungen in Kunststoff oder Edelstahl ausgeführt sein.
  - Luftfeuchtigkeit: Die Trocknung des Lackfilms hängt von der umgebenden Luftfeuchtigkeit ab. Daher ist die Applikation der Lacke nur unter günstigen oder definierten Luftfeuchtigkeitsbedingungen möglich.

Wasserverdünnbare Lacksysteme befinden sich seit einigen Jahrzehnten auf dem Markt und werden bereits verbreitet eingesetzt. Durch die fortschreitende Entwicklung der Lacke erweitert sich ihr Anwendungsbereich ständig. Eine Verbesserung fand vor allem beim Korrosionsschutz und Außenbeständigkeit statt. Der große Vorteil und das große Potential von Lacksystemen auf Wasserbasis beruht auf den verringerten VOC-Emissionen sowie der Möglichkeiten zum Recycling in einigen Anwendungen, z.B. durch Ultrafiltration oder andere, mechanische Recyclingverfahren. [CULIK 2000]

### 1.2.1.3 Strahlenhärtende Lacksysteme

Strahlenhärtende Lacksysteme enthalten nur geringe Mengen (ca. 2 – 5 Gew. %) organische Lösemittel oder sind 100 % Festkörpersysteme. In Sonderfällen kommen auch Lacke mit bis zu 65 Gew. % organischen Lösemitteln zur Anwendung. Strahlenhärtende Lacksysteme bestehen aus reaktiven Harzen (z.B. Epoxid, Acrylate), Monomeren oder Oligomeren und einem Photoinitiator. Grundsätzlich werden drei Härtungstechnologien angewandt: Die **Infrarothärtung, UV-Härtung und die Elektronenstrahlenhärtung**. Bei strahlenhärtenden Lacken führt eine Bestrahlung durch Adsorption der Strahlung an oder in der Lackschicht und evtl. dem Grundmaterial, durch die damit verbundener Erwärmung zur Härtung, oder es wird eine chemische Vernetzungsreaktion ausgelöst. [CULIK 2000]

### 1.2.1.4 Pulverlacke

Pulverlacke sind lösemittelfreie, feste Beschichtungsmaterialien, die bei der Applikation weder Lösemittelemissionen noch Abwasser erzeugen. Bindemittel der Pulverlacke sind Polyester oder Epoxide. In den meisten Anwendungen kann der Overspray aufgefangen und wiederverwertet werden. Durch die Erwärmung bei der Trocknung verschmilzt das Material zu einem Lackfilm. Derzeit werden Pulverlacke vorwiegend im elektrostatischen Spritzverfahren auf die Substrate (hauptsächlich Metall-, aber auch Glasuntergründe)

---

appliziert. In manchen Sektoren ist dies bereits eine etablierte Technologie. Die Gründe für die zunehmende Bedeutung von Pulverlacken umfassen u.a. die Wirtschaftlichkeit durch die Rückgewinnungs- und Wiederverwendungsmöglichkeit, die leicht automatisierbare Applikation und die offensichtlichen umweltbezogenen Vorteile. Die zukünftige Entwicklung zielt auf Niedertemperaturpulversysteme. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird die Holz- und Möbelindustrie ein wichtiger Verarbeiter von Pulverlacken werden. Auch UV- und NIR<sup>2</sup>-härtende Pulversysteme finden zunehmend Anwendung [CULIK 2000].

## 1.2.2 Lackaufbau

Zunächst dient eine Vorbehandlung der Herstellung einer definierten Oberfläche für den nachfolgenden Lackaufbau. Dazu werden im allgemeinen Reinigungs- und Entfettungsverfahren angewendet, sowie teilweise durch Phosphatieren und Passivieren eine Konversionsschicht erzeugt. Die eigentliche Lackierung besteht aus einer, meist aber aus mehreren Lackschichten, denen spezielle Aufgaben zukommen. In Abbildung 1-3 ist am Beispiel der Automobilserienlackierung ein typischer Lackaufbau dargestellt (vgl. Kapitel 2, Abschnitt 2.1.4 und 2.2).

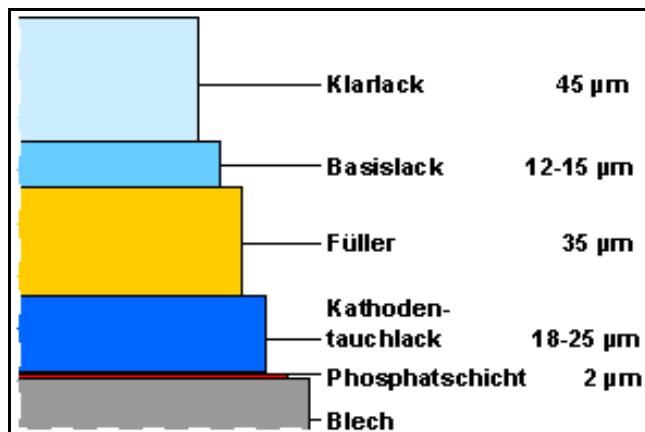


Abbildung 1-3: Aufbau einer Automobilserien-Lackierung [HARTWIG 1999])

---

<sup>2</sup> NIR: Nahes Infrarot

## 1.3 Umweltbelastungen

Umweltbelastungen ergeben sich beim Lackierprozess im wesentlichen durch VOC-Emissionen, den Energiebedarf der Anlagen sowie durch Lackabfälle. In Abbildung 1-4 sind die Stoffströme für eine Spritzlackierung mit ca. 50 % Auftragswirkungsgrad mit einem konventionellem Lack (ca. 50 % Festkörperanteil) schematisch dargestellt. Dabei verbleiben nur etwa 25 % des eingesetzten Materials in der Lackschicht. Weitere 25 % des Materials müssen als Lackschlamm entsorgt werden. Sofern keine Erfassung und Abreinigung der Abluftströme erfolgt, werden die freigesetzten organischen Lösemittel bei Applikation und Trocknung der Lackschicht in die Atmosphäre emittiert. In der Atmosphäre unterliegen die VOC zusammen mit Stickoxiden, unter dem Einfluss der Sonneneinstrahlung, komplexen photochemischen Reaktionen. Diese führen zur Bildung von Photooxidantien (z.B. bodennahem Ozon) und damit zum sog. Photosmog. Dabei weisen sowohl die emittierten VOC direkt, als auch die entstehenden Photooxidantien, neben ökologischen Risiken, ein hohes Potential der Gesundheitsschädigung auf.

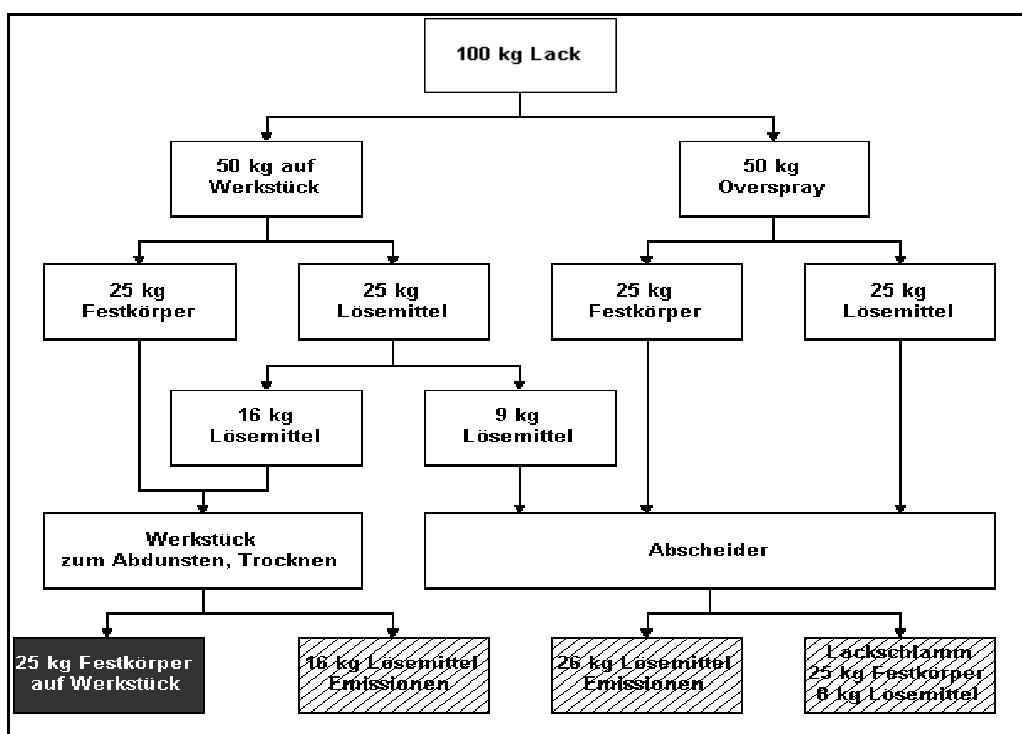


Abbildung 1-4: Stoffströme bei der Spritzlackierung mit konventioneller Technik [MAHRWALD 2001]

## 1.4 Lackverbräuche und Emissionsentwicklung bei lackverarbeitenden Anlagen

Im Zeitraum zwischen 1988 und 1997 wurde die Gesamtproduktion an Lacken in Deutschland um fast 50 % auf ca. 1.800 t/a gesteigert. Trotz einer steigenden Lackproduktion hat sich die Menge eingesetzter VOC im selben Zeitraum um etwa 5 % reduziert (vgl. Abbildung 1-5). Diese Entwicklung kommt durch die zunehmende Anwendung von lösemittelfreien oder -armen Produkten zustande.

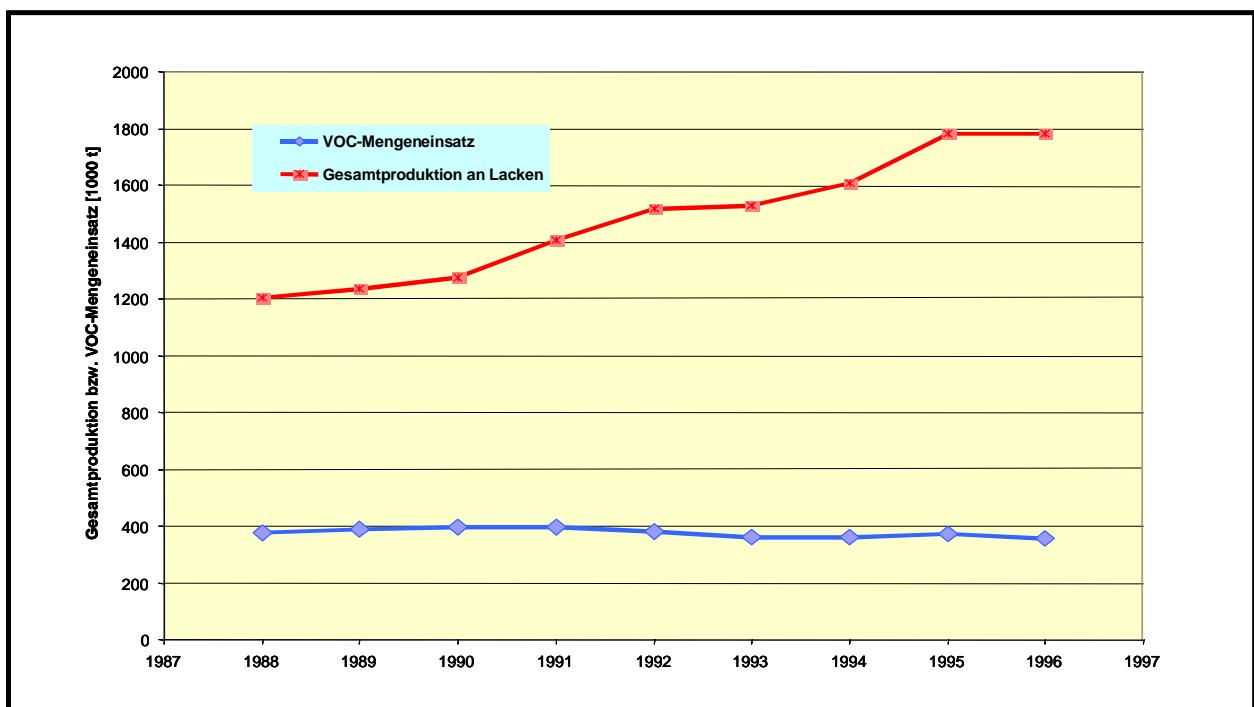


Abbildung 1-5: Übersicht über die Entwicklung der Lackherstellungs- und der Lösemittel-einsatzmengen [BMU 1997]

---

Tabelle 1-2 verdeutlicht den Verbrauch an Farben und Lacken nach Anwendungsbereichen für Deutschland für das Jahr 1999 sowie eine Prognose der Marktentwicklung für das Jahr 2000.

Im Rahmen dieser Studie wird der Baubereich trotz eines Lackverbrauchs von 69 % nicht weiter untersucht, da die Lackanwendung nicht in stationären Anlagen im Sinne der IVU-Richtlinie stattfindet. Die Autoreparaturlackierung ist aufgrund der geringen, verarbeiteten Lackmengen (2 % der Gesamtmenge) in den Betrieben nicht IVU-relevant.

*Tabelle 1-2: Übersicht über den Verbrauch an Farben und Lacken in Deutschland für das Jahr 1999 sowie die Marktentwicklung für das Jahr 2000 (Prognose) nach Anwendungsbereichen [CHEM 2000]*

| Anwendungsbereich                  | Verbrauch an Farben und Lacken |      | Menge an Farben und Lacken [t]<br>2000<br>(Prognose) | Veränderung zu 1999 |
|------------------------------------|--------------------------------|------|--|---------------------|
|                                    | 1999 [t]                       | 1999 |  |                     |
| Baubereich                         | 1 210 000                      | 69 % | 1.234.000  | +2,0 %              |
| Möbel- und Holzindustrie           | 80 400                         | 5 %  | 82.000   | +2,0 %              |
| Automobilserienlackierung          | 89 000                         | 5 %  | 89.000   | 0 %                 |
| Autoreparaturlackierung            | 33 700                         | 2 %  | 33.000   | -2,1 %              |
| Korrosionsschutz                   | 48 500                         | 3 %  | 47.300   | -2,5 %              |
| Maschinenbau                       | 43 400                         | 3 %  | 45.000   | +3,7 %              |
| Elektroindustrie                   | 35 600                         | 2 %  | 36 000   | +1,1 %              |
| Blechemballagen                    | 34 900                         | 2 %  | 35 800   | +2,6 %              |
| Metallerzeugnisse                  | 30 800                         | 2 %  | 32 000   | +3,9 %              |
| Bandbeschichtung                   | 20 500                         | 1 %  | 21 800   | +6,3 %              |
| Sonstige Anwendungen <sup>1)</sup> | 102 440                        | 6 %  | 104 100  | +1,6 %              |

1) inkl. Bauelemente, Autozubehör (Metalllackierung), Kunststoff, Papier/Folie, Schiffslackierung, Straßenmarkierung, etc.

Tabelle 1-3: *Marktentwicklung der unterschiedlichen Produktkategorien in Deutschland für die Jahre 1999 und 2000 (Prognose)* [CHEM 2000]

| Produktkategorie              | Menge an Farben und Lacken [t] |                 | Veränderung |
|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------|
|                               | 1999                           | 2000 (Prognose) |             |
| Lösemittelhaltige Lacksysteme | 247 400                        | 246 400         | -0,4 %      |
| High Solids                   | 27 450                         | 28 400          | +3,5 %      |
| Wasserlacksysteme             | 191 190                        | 196 200         | +2,6 %      |
| Pulverlacksysteme             | 40 000                         | 41 500          | +3,8 %      |
| Strahlenhärtende Lacksysteme  | 13 200                         | 13 500          | +2,3 %      |

Tabelle 1-3 gibt einen Überblick über die Marktanteile für die verschiedenen Produktkategorien in Deutschland für die Jahre 1999 und 2000 (Prognose). In den letzten Jahren, nahm der Verbrauch von umweltschonenden Produkten (Pulver-, Wasser- und strahlenhärtende Lacksysteme) zu, während die Nachfrage nach lösemittelhaltigen Lacksystemen rückläufig war. Durch die Verabschiedung der 31. BImschV<sup>3</sup> hat sich diese Tendenz noch weiter verstärkt. In einzelnen Sektoren wie beispielsweise der Bandbeschichtung oder der Lackierung von Nutzfahrzeugen werden allerdings nach wie vor, größere Mengen an lösemittelhaltigen Lacksystemen verarbeitet. Hier werden die Auflagen der Umweltgesetzgebung durch den Einsatz von thermischen Abluftreinigungsverfahren erfüllt. Tendenziell sind insgesamt geringere Lackverbräuche zu verzeichnen. Dies ist u.a. auf die fortschreitende Applikation von Dünnschichten und auf optimierte Lackauftragsverfahren zurückzuführen [CHEM 2000].

<sup>3</sup> Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen

---

## 1.5 Industrielle Tätigkeiten mit hohem Potential der Umweltbelastung

Die VOC-Emissionen aus dem Bereich der Lackverarbeitung in Deutschland verteilen sich zu:

- ca. 60 % auf nicht genehmigungsbedürftige Anlagen,
- ***ca. 10 % auf genehmigungsbedürftige Anlagen,***
- etwa 15 % auf die Verarbeitung außerhalb von Anlagen, und
- ca. 15 % auf den Maler- und Heimwerkerbereich. [BMU 1997]

In folgenden Industriebereichen werden große Mengen an Beschichtungsmaterialien eingesetzt:

- Serienlackierung von Fahrzeugen: Personenkraftwagen, Flugzeuge, Nutzfahrzeuge, Landmaschinen, Schiffe, Schienenwagen; (vgl. Kapitel 3)
- Bandbeschichtung (Stahl, Aluminium, vgl. Kap. 6);
- Emballagenlackierung: Getränkedosen, Fässer (vgl. Kap 7)
- Serienlackierung von Kunststoffteilen: Fahrzeugteile (Stoßstangen), Fernseh-/Hifi-/EDV-Gehäuse (vgl. Kap 4);
- Serienlackierung großflächiger Metallwerkstücke: Hausgeräte, Stahlmöbel, Bürogeräte, Schaltschränke etc. (vgl. Kapitel 5)
- Holz- und Möbelbeschichtung (vgl. Kapitel 8).

Für diese Industriebereiche wurden prozessintegrierte und nachgeschaltete Emissionsminderungsmaßnahmen, in Bezug auf Anwendbarkeit, untersucht.

## 1.6 Entwicklung bei der Lackverarbeitung

Durch den internationalen Kostendruck, die steigenden Qualitätsanforderungen und die Forderung nach Emissions-, Abfall- und Ressourcenreduzierung haben Betriebe der industriellen Lackverarbeitung die Lackierprozesse optimiert und teilweise auf emissionsärmere Verfahren umgestellt. Bei Anlagenerneuerungen und Modernisierungen von bestehenden Anlagen stehen daher folgende Ziele im Vordergrund:

- Verbesserung der Produktqualität, wie z.B. Kratzfestigkeit und Glanz der lackierten Oberfläche; besserter Korrosionsschutz,
- Reduktion der Prozesszeiten und damit höherer Teiledurchsatz; schnellere Trocknung zur Vermeidung der Nacharbeit; schnellere Weiterverarbeitbarkeit der lackierten Werkstücke

- 
- Verringerung des Platzbedarfs für die Anlagentechnologie;
  - Reduktion des Oversprays sowie
  - Emissionsminderung.

Als Alternative zu konventionellen Lacken werden je nach Anforderung der Substrate, zur Verminderung der VOC-Emissionen zunehmend High-Solid Lacke, wasserverdünnbare Systeme und Pulverlacke, verarbeitet.

---

## **Quellenverzeichnis**

[BMU 1997]

BUNDESUMWELTMINISTERIUM, UMWELTBUNDESAMT, VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE E. V.  
ET AL.: *Gemeinsamer Abschlußbericht zum Dialog des BMU und des VCI zu Umweltzielen am Beispiel VOC*, Dezember 1997

[BROCK 1998]

BROCK, T.; GROTEKLAES, M.; MISCHKE, P.: *Lehrbuch der Lacktechnologie*, Vincentz-Verlag,  
Hannover, 1998

[CHEM 2000]

CHEM RESEARCH GMBH: *Der Deutsche Markt für Farben und Lache 1999*, Ausarbeitung der  
Jahresstatistik im Auftrag des Verbandes der Lackindustrie, Frankfurt/Main, August 2000

[CULIK 2000]

CULIK, H.: *Haben Lacke und Beschichtungen Zukunft ?*, in: Seminarunterlagen "Wasserlacke IX",  
Wien, 23. November 2000

[GRUPP 1999]

GRUPP, TH.; HOFFMANN, U.: *Nasslackierprozess - Quo vadis?*, in: JOT Journal für Oberflächen-  
technik, Mai 1999

[MAHRWALD 2001]

MAHRWALD B.: *Verwertungsmöglichkeiten von Lackschlamm*, Niedersächsisches  
Umweltministerium, <http://www.mu.niedersachsen.de/Abteilungen/ref302/pages/mahrwald.htm>,  
08.06.01

[HARTWIG 1999]

HARTWIG U.: *Glanz ist nicht alles - vom Pigment zum Autolack*, URL: <http://www.basf-coatings.bASF.de/bASF/cinetic/d/presse/pr/990914.htm>, 03.06.2001

[ONDRADESCHEK 2002]

ONDRADESCHEK D.: *Jahrbuch besser lackieren 2002*, Vincentz Verlag, Hannover 2002

---

## **2 Automobilserienlackierung**

Die Oberflächengestaltung (Farbe, Glanz, Tiefe, etc.) hat bei der Automobilherstellung eine hohe Bedeutung, da das optische Erscheinungsbild eine subjektive, aber für den Kauf entscheidende Wahrnehmung bei dem Kunden darstellt.

Aufgrund der großen Bedeutung der Oberflächenqualität verfügen die Automobilhersteller in der Regel über eigene Abteilungen für die Prozess- und Verfahrenstechnik der Oberflächenbehandlung. Zudem besteht üblicherweise eine enge und intensive Kooperation zwischen Anlagenbauern, Lackherstellern und Automobilproduzenten, um optimale Bedingungen bei der Errichtung einer neuen Lackierstrasse und dem anschließenden Anlagenbetrieb zu gewährleisten. Dies erklärt, dass die Automobilherstellung zu den fortschrittlichsten Bereichen hinsichtlich der Lackiertechnologie gehört und daher in Deutschland einen sehr hohen Umweltstandard aufweist. Aufgrund der vergleichsweise guten technischen Dokumentation der Lackierprozesse und der zahlreichen Innovationen, werden die Prozesse in diesem Kapitel ausführlich beschrieben. Damit bilden die Prozessbeschreibungen zugleich eine Grundlage für die nachfolgenden Kapitel<sup>1</sup>.

### **2.1 Allgemeine Informationen**

#### **2.1.1 Einteilung von Fahrzeugklassen (gemäß Richtlinie 70/156/EWG)**

Insbesondere für einzuhaltende VOC-Grenzwerte gemäß der 31. BImSch-Verordnung, ist die Zuordnung der gefertigten Fahrzeuge zu einzelnen Fahrzeugklassen der Richtlinie 70/156/EWG von Relevanz. Die Definitionen der einzelnen Fahrzeugklassen, sind in Tabelle 2-1 dargestellt. Bei der Automobilserienlackierung handelt es sich vorwiegend um die Lackierung von Personenkraftwagen.

---

<sup>1</sup> Insbesondere für Kapitel 3 zur Lackierung von Nutzfahrzeugen, Schienenfahrzeugen, Schiffen und Flugzeugen

Tabelle 2-1: *Definition der Fahrzeugklassen nach Richtlinie 70/156/EWG*

| <b>Bezeichnung</b> | <b>Definition gemäß Richtlinie 70/156/EWG</b>  |
|--------------------|--|
| M1                 | Zur Personenbeförderung bestimmte Fahrzeuge, die außer dem Führersitz über höchstens 8 Sitzplätze verfügen   |
| M2                 | Zur Personenbeförderung bestimmte Fahrzeuge, die außer dem Führersitz über mehr als 8 Sitzplätze verfügen und deren Gesamtmasse <sup>2</sup> 5 Tonnen nicht übersteigt |
| M3                 | Zur Personenbeförderung bestimmte Fahrzeuge, die außer dem Führersitz über mehr als 8 Sitzplätze verfügen und deren Gesamtmasse <sup>1</sup> 5 Tonnen übersteigt       |
| N1                 | Zur Güterbeförderung bestimmte Fahrzeuge, deren Gesamtmasse <sup>1</sup> 3,5 Tonnen nicht übersteigt   |
| N2                 | Zur Güterbeförderung bestimmte Fahrzeuge, deren Gesamtmasse <sup>1</sup> 3,5 Tonnen übersteigt, aber nicht mehr als 12 Tonnen beträgt                                  |
| N3                 | Zur Güterbeförderung bestimmte Fahrzeuge, deren Gesamtmasse <sup>1</sup> 12 Tonnen übersteigt  |

In diesem Kapitel wird die Serienlackierung von Kraftfahrzeugen der Klassen M1 (Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von bis zu 3,5 t) und N1<sup>3</sup> betrachtet.

## 2.1.2 Produktions- bzw. Absatzzahlen in der Automobilindustrie

Seit 1993 erhöhte sich die Produktion von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen in Deutschland von 3,8 Mio. Einheiten auf 5,3 Mio. Einheiten für das Jahr 1999. Entsprechend stieg auch die Lacknachfrage in diesem Zeitraum. Für das Jahr 2000 liegen Schätzungen vor, die eine Inlandsnachfrage für Automobilserienlacke von 89.000 Tonnen angeben, die sich in 40 % Decklacke, 37 % KTL-Lacke, 15 % Füller sowie 8 % für Spezialprodukte (Hohlraumkonservierung, Unterbodenschutz, etc.) aufteilen. [CHEM 2000]

<sup>2</sup> Bezugsmasse: Masse des fahrbereiten Fahrzeugs abzüglich der Pauschalmasse des Fahrers von 75 kg und zuzüglich einer Pauschalmasse von 100 kg.

<sup>3</sup> Voraussetzung dabei ist, dass die Nutzfahrzeuge in der gleichen Anlage wie Pkw gefertigt werden.

---

## 2.1.3 Emissionsgrenzwerte nach Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG der Europäischen Union

Die nach Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG festgelegten Gesamtemissionsgrenzwerte für die Beschichtung von neuen Pkw und Nutzfahrzeugen sind in Tabelle 2-2 zusammengestellt.

Tabelle 2-2: *Gesamtemissionsgrenzwerte für die Beschichtung von neuen Pkw und Nutzfahrzeugen*

| Schwellenwert für den jährlichen Lösemittelverbrauch [t/a] | Gesamtemissionsgrenzwert [g/m <sup>2</sup> ] | Emissionsgrenzwert für gefasste Abgase nach Trockner [mg C/m <sup>2</sup> ] |
|--|--|---|
| <b>Pkw</b>   |  |   |
| > 15   | 35   | 50  |
| <b>Nutzfahrzeuge:</b>                                      |  |   |
| > 15   | 70   | 50  |

Es wird ein Emissionsgrenzwert<sup>4</sup> von 35 bzw. 70 g/m<sup>2</sup> und ein Emissionsgrenzwert für gefasstes Abgas nach dem Trockner von 50 mg C/m<sup>3</sup> für die Beschichtung von Pkw bzw. Nutzfahrzeugen gefordert. Der Emissionswert bezieht sich auf alle Phasen eines Verfahrens einschließlich der Reinigungsarbeiten von Applikationsanlagen und sonstigen ortsfesten Einrichtungen, die in derselben Anlage durchgeführt werden. Bei den Herstellern von Personenwagen wird derzeit in Deutschland bereits der Emissionswert von 35 g/m<sup>2</sup> erreicht und in einigen Anlagen deutlich unterschritten.

---

## 2.1.4 Qualitätsanforderungen

Die nachfolgenden Qualitätsanforderungen werden an die lackierten Karossen und daher an die Lacke gestellt:

- Langzeitschutz gegen Korrosion, Wetter, chemische Einflüsse (z.B. Vogelkot, saurer Regen), Steinschlag, Sonne, Beanspruchungen in Waschanlagen, usw.;

---

<sup>4</sup> Bei der Umsetzung der EU Lösemittel-Richtlinie in deutsches Recht sind die Emissionsgrenzwerte für VOC-Emissionen, auf den bereits in Deutschland geltenden Stand der Technik verschärft worden.

- 
- optimale Oberflächenoptik: Glanz, Fülle, Schleierfreiheit, Fehlerfreiheit sowie Gleichmäßigkeit und Konstanz bei Farnton und Effektausbildung;

Diese hohen Anforderungen können nur durch mindestens drei, meistens und zunehmend vier bis fünf oder mehr aufeinander abgestimmte Lackschichten, erreicht werden. [BROCK 1998] In Europa hat sich folgender Schichtaufbau durchgesetzt:

- Vorbehandlung (Reinigung, Phosphatierung, Passivierung)
- Katodische Tauchgrundierung (KTL)
- Unterbodenschutz/Nahtabdichtung
- Füller
- Decklack
- Hohlraumkonservierung und ggf. Transportkonservierung

Im Decklackbereich gibt es neben dem Ein-Schicht- den Zwei-Schicht-Auftrag (Basislack und Klarlack) für Metallic-Farbtöne, Effekt-Lackierungen (Perlglanz) und teilweise für Uni-Lackierungen. Die katodische Tauchgrundierung (KTL) dient in erster Linie dem vollständigen Korrosionsschutz im Innen- und Außenbereich einschließlich aller Hohlräume, Überlappungen und Verbindungen. Der Füllerauftrag dient neben den optischen Wirkungen (Untergrundabdeckung, Verlauf) in erster Linie dem Steinschlagschutz und der Haftungsregulierung. Der Decklack erfüllt neben dem optischen Effekt (Glanz, Farbe, Brillanz) wesentliche Schutzfunktionen gegen chemische und physikalische Umwelteffekte (Sonneninstrahlung, Regen, Chemikalien, Kraftstoff, Waschanlagen, mechanische Belastungen).

## 2.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Trotz unterschiedlicher Serienlackierungsprozesse von Werk zu Werk (selbst beim selben Hersteller) sind gemeinsame Eigenschaften zu verzeichnen. Die Hauptschritte umfassen die Vorreinigung, Phosphatierung, Passivierung, katodische Tauchgrundierung (KTL), Unterbodenschutz und Nahtabdichtung, Füllerauftrag, Füller-Trocknung, Auftrag des Decklackes (ein oder zwei Schichten), Trocknung des Decklackes, Hohlraumkonservierung, ggf. Transportkonservierung und Reparatur von eventuellen Lackschäden vor dem Zusammenbau. In Deutschland wird fast ausschließlich ein Zwei-Schicht-Decklack mit einem Basislack und einem Klarlack anstatt eines Ein-Schicht-Decklackes verwendet. (vgl. [GAUDOSIO 1996, VDI 1996, ACEA 1997, MAY 2000A]). Ein allgemeiner Prozessablauf ist in Abbildung 2-1) aufgeführt. Ausgewählte Prozesse der Automobilserienlackierung (Fallstudien) sind im Anhang VI dokumentiert.

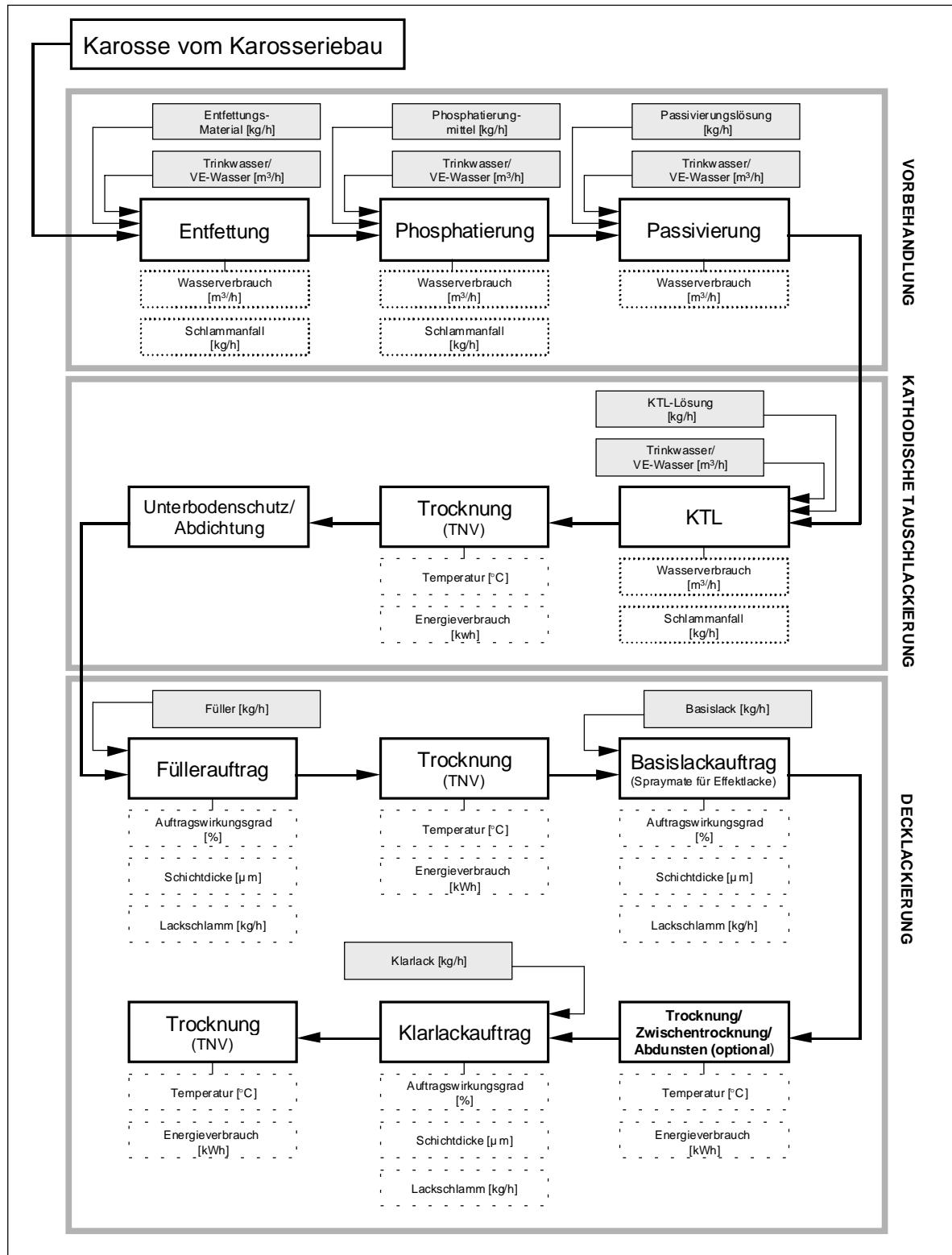


Abbildung 2-1: Serienlackierung von Pkws(eigene Darstellung basierend auf, [GRUBER 2000A])

## 2.2.1 Eingesetzte Lackmaterialien

Eine Übersicht über die eingesetzten Lackmaterialien ist in Tabelle 2-3 gegeben.

Tabelle 2-3: *Übersicht über die eingesetzten Lackmaterialien für die Serienlackierung von Automobilkarossern [VDI 1996, PIWOWARCYK 2000]*

| Lacksystem                                | Festkörpergehalt<br>[Gew.-%] | Lösemittelgehalt<br>[Gew.-%] | Filmdicke<br>[µm] |
|---|------------------------------|------------------------------|-------------------|
| <i>Grundierungen (Badzusammensetzung)</i> |                              |                              |                   |
| Kathodischer Tauchlack, normal            | 14 – 22                      | 1 - 6*)                      | 18 – 22           |
| Kathodischer Tauchlack, dick              | 14 – 18                      | 4 - 7*)                      | 25 – 35           |
| <i>Füller</i>                             |                              |                              |                   |
| 1K-Polyester                              | 60 – 65                      | 35 - 40                      | 20 – 40           |
| 1K-Polyester mit PU- Anteilen             | 65 – 70                      | 30 - 35                      | 25 – 40           |
| PE-Füller, wasserverdünntbar              | 50 – 55                      | 5 - 12*)                     | 20 – 40           |
| PU-Füller, wasserverdünntbar              | 50 – 55                      | 5 - 12*)                     | 20 – 40           |
| Slurry-Füller                             | 38                           | 2                            | 15 – 20           |
| Pulver-Füller                             | 100                          | 0                            | 50 – 60           |
| Schwellerschutz                           | 70 – 75                      | 25 - 30                      |                   |
| Steinschlagzwischengrund                  | 55 – 60                      | 40 - 45                      | 20 – 30           |
| <i>1-Schicht-Decklack</i>                 |                              |                              |                   |
| 1K-Decklack                               | 45 – 52                      | 48 - 55                      | 35 – 50           |
| 1K-Decklack, erhöhter Festkörperanteil    | 50 – 58                      | 42 - 50                      | 35 – 50           |
| 2K-Decklack, festkörperreich              | 63 – 73                      | 27 - 37                      | 40 – 50           |
| Basislack                                 |                              |                              |                   |
| Lösemittelhaltig                          | 20 – 40                      | 60 - 80                      | 12 – 35           |
| Wasserverdünntbar                         | 17 – 35                      | 10 - 20*)                    | 12 – 35           |
| Metallic- Basislack, erhöhter Festkörper  | 20-40                        | 60 - 80                      | 15 – 30           |
| Basislack, wasserverdünntbar              | 16 – 25                      | 8 - 18*)                     | 12 – 18           |
| <i>Klarlacke</i>                          |                              |                              |                   |
| 1K-Klarlack                               | 43 – 48                      | 57 - 60                      | 35 – 50           |
| 1K-Klarlack, erhöhter Festkörper          | 48 – 50                      | 50 - 52                      | 35 – 50           |
| 2K-Klarlack                               | 56 - 58                      | 42 - 44                      | 40 – 50           |
| 2K-Klarlack, festkörperreich              | 63 - 65                      | 35 - 37                      | 40 – 50           |
| 1K-Klarlack, wasserverdünntbar            | 42 - 49                      | 10 - 15*)                    | 35 – 50           |
| Pulver-Klarlack                           | 100                          | 0                            | 50 – 60           |
| Slurry-Klarlack                           | 38                           | 2                            | 35-40             |
| <i>Sonstige Beschichtungsstoffe</i>       |                              |                              |                   |

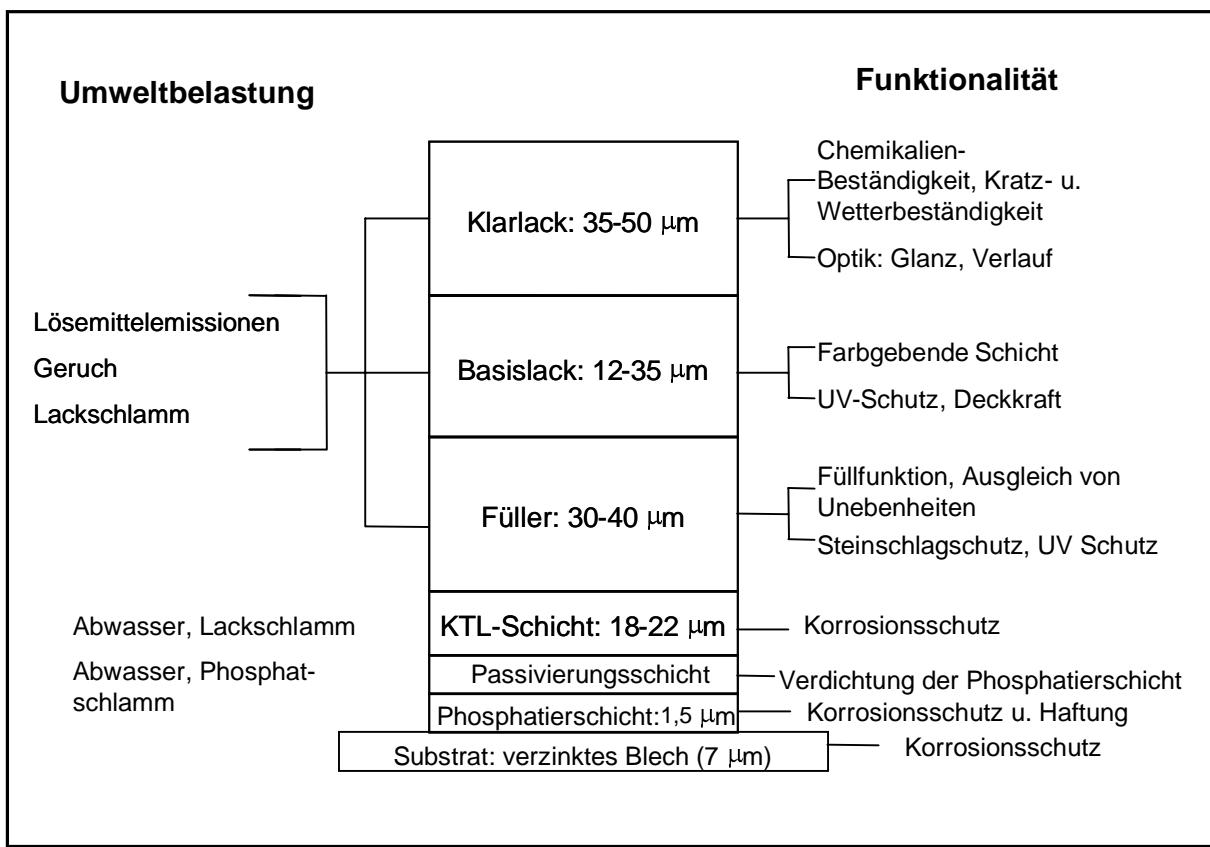
| Lacksystem                       | Festkörpergehalt<br>[Gew.-%] | Lösemittelgehalt<br>[Gew.-%] | Filmdicke<br>[µm] |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Unterbodenschutz                 | 95 – 100                     | 0 - 5                        |                   |
| Unterbodenschutz                 | 95 – 100                     | 0 - 5                        | 100 – 1200        |
| Innschutzlack Koffer-/Motorraum  | 60 - 65                      | 35 - 40                      |                   |
| Kontrastlacke (z.B. mattschwarz) | 55 - 65                      | 35 - 40                      |                   |

\*) Bei wasserverdünnbaren Lacken ist der Restanteil Wasser.

*Abkürzungen:*

PE      Polyester-Harz

PU      Polyurethan-Harz



(Quelle: Dr. GRUBER, Volkswagen AG)

Abbildung 2-1: *Funktionalität und Umweltbelastungen des Lackaufbaus am Fahrzeug*

In Abbildung 2-1 ist ein allgemeiner Lackaufbau am Fahrzeug schematisiert dargestellt. Die Funktionalität der verschiedenen Lackschichten sowie die entsprechenden möglichen Umwelteffekte sind ebenfalls aufgeführt.

Tabelle 2-4 gibt einen Überblick über die von den deutschen Automobilherstellern angewendeten Lackierkonzepte (Konzepte 1 – 10). Die jeweiligen Anteile errechnen sich aus den im Jahr 2000 hergestellten Fahrzeugen. Den größten Anteil hat die Verwendung von wasserbasiertem Füller (67,2 %) und wasserbasiertem Basislack (87,7 %) sowie konventionell-lösemittelbasiertem Klarlack (86,5 %). Dieser Wasserlackprozess mit konventionellem Klarlack (Tabelle 2-4 als Prozess 4 bezeichnet) kann auf Grund seiner Verbreitung als Stand der Beschichtungstechnik definiert werden.

Innovative Verfahren verwenden lösemittelfreie oder lösemittelarme Klarlacksysteme. Im Prozess 2 wird kein Füller appliziert.

Im Mixprozess 6 wird beim Auftrag des lösemittelhaltigen Füllers eine Abluftreinigung der Spritzkabinenabluft, als sekundäre Emissionsminderungsmaßnahme, eingesetzt.

Ausschließlich konventionelle Verfahren werden in älteren Anlagen verwendet. Im Prozess 8 und 9 wenden einige Hersteller eine Abluftreinigung der Trockneranlagen und in

Teilbereichen beim Auftrag von Füller, Basis- und Klarlack, zur Emissionsminderung an. Der Prozess deckt dabei einen Teil der leichten Nutzfahrzeuge ab und wird hier konventionsgemäß (vgl. Kap. 2.1.1 und Kap. 3.1.4.1) mit aufgeführt, da in der betroffenen Anlage Nutzfahrzeuge und PKW teilweise in gemeinsamen Anlagen beschichtet werden.

| Lackierprozess  | Füller |             | Basislack (uni / metallic) |             | Klarlack    |                               | Anteil<br>[%] |
|---|--------|-------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------------------------|---------------|
|   | Wasser | Lösemittel  | Wasser                     | Lösemittel  | Lösemittel  | lösemittel-<br>arm bzw. -frei |               |
| <i>Prozeß mit Innovationsanteil</i>   |        |             |                            |             |             |                               | 13,0          |
| 1   |        |             |                            |             |             |                               |               |
| 2   |        |             |                            |             |             |                               | Pulverslurry  |
| 3   |        |             |                            |             |             |                               | Pulver        |
| <i>Wasserlackprozeß mit konventionellem Klarlack</i>                              |        |             |                            |             |             |                               | 60,2          |
| 4   |        |             |                            |             |             |                               |               |
| <i>Mixprozesse: Wasserlack und konventioneller Lack</i>                           |        |             |                            |             |             |                               | 15,8          |
| 5   |        |             |                            |             |             |                               |               |
| 6   |        |             |                            |             |             |                               |               |
| 7   |        |             |                            |             |             |                               |               |
| <i>Konventionelle Prozesse (mit teilweiser Abluftreinigung aus Spritzkabinen)</i> |        |             |                            |             |             |                               | 11,1          |
| 8   |        |             |                            |             |             |                               |               |
| 9   |        |             |                            |             |             |                               |               |
| <b>Anteil [%]</b>   |        | <b>67,2</b> | <b>32,8</b>                | <b>87,7</b> | <b>12,3</b> | <b>86,5</b>                   | <b>13,5</b>   |
|   |        |             |                            |             |             |                               | 100%          |

\* Abluftreinigung der Spritzzone

Tabelle 2-4: Einsatz der verschiedenen Lacksysteme in der Pkw-Serienlackierung in Deutschland im Jahr 2000 [GRUBER 2001]

## 2.2.2 Lackierprozesse

### 2.2.2.1 Lackauftragsverfahren

In der Serienlackierung von Automobilkarossen werden Vorbehandlung und KTL im Tauchverfahren durchgeführt. Anschließend wird der Lack im Spritzverfahren aufgetragen. Dies erfolgt in Spritzkabinen, die hinsichtlich Staubgehalt der Luft, Temperatur und Feuchte konditioniert werden. Zur Abscheidung der Lacknebel wird die Abluft unter dem Gitterrost der Kabine im Venturi-Auswaschsystem intensiv mit Wasser vermischt. An die Spritzkabine schließt sich in Förderrichtung eine Abdunstzone an, die einen guten Verlauf und eine Viskositätsverhöhung des aufgetragenen Films ermöglicht, bevor die Karosse den Trockner erreicht. Dieser Prozess kann insbesondere bei Wasserlacken durch Warmluft und/oder Infrarot-Strahler beschleunigt werden (forciertes Abdunsten). Die elektrostatische Unterstützung von Spritzapplikationsverfahren ist grundsätzlich für Füller, Basis- und Decklackauftrag für Außenflächen anwendbar. Zu den wichtigsten Zerstäubungsarten zählen (vgl Anhang III):

- 
- Druckluftzerstäubung
  - elektrostatisches Spritzen mit pneumatischer Zerstäubung
  - Heißspritzen
  - Rotationszerstäubung (vgl. Abbildung 2-4)
  - Airlesszerstäubung

### **2.2.2.2 Beschreibung der einzelnen Prozessschritte**

Auf Grund der intensiven Forschung und Entwicklung der Automobilhersteller sind in Deutschland verschiedene fortschrittliche Verfahren im Einsatz, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

#### ***Vorbehandlung***

Im ersten Schritt der Vorbehandlung werden die Rohkarossen zunächst entfettet und anschließend gut gespült. Das Entfetten dient der Entfernung von Ölen, Fetten, Seifen, Schmutzstoffen, Rohbau-Schleifrückständen, Fremdkörpern, etc. bei 50 bis 60 °C mit wässrigen, alkalischen Reinigern, die auch Phosphate und Tenside enthalten können. Als Grundlage für den Korrosionsschutz und die Haftfestigkeit des Lackaufbaus sowie den zuverlässigen Unterrostungsschutz folgt die Zinkphosphatierung. Bei 50 bis 60 °C wird eine etwa 1,5 µm dicke Phosphatierschicht im Spritz- oder Tauchverfahren gebildet. Die Phosphatierlösungen können neben Phosphorsäure Metalle, z.B. Zink, Calcium, Mangan und Nickel, außerdem Oxidationsmittel wie Nitrit, Nitrat, Chlorat, Wasserstoffperoxid und Hydroxylaminsalz als Beschleuniger enthalten. Nach erneutem Spülen kann zur Verdichtung der Phosphatierschicht zusätzlich passiviert werden. Dies geschieht derzeit bei einigen Herstellern noch durch Einsatz von Chrom(VI)- oder Zirkonhexafluorid-Lösung. Danach muss wieder gespült werden, abschließend mit vollentsalztem (VE) Wasser. Danach gelangt die Karosserie ohne weitere Maßnahmen direkt in das KTL-Becken.

#### ***Kataphoretische Tauchlackierung (KTL)***

Heute wird in der Pkw-Lackierung aufgrund von hohen Qualitätsanforderungen an die Grundierung hinsichtlich Korrosionsschutz ausschließlich die kathodisch elektrotauchgrundiert angewendet.(vgl. Tabelle 2-5, Abbildung 2-3) Derzeit kann bleifreier Elektrotauchlack in Deutschland als Stand der Technik betrachtet werden [MAY 2000B]. Der wasserlösliche Tauchlack enthält in der Regel zwischen 14 und 22 Gew.-% Feststoff und zwischen 2 und 6 Gew.-% Lösemittel. Zur Entfernung elektrisch nicht abgeschiedener Lackpartikel wird anschließend mit Ultrafiltrat gespült. Um Lackverluste zu minimieren, wird

das durch die Ultrafiltration aus dem Tauchbad erzeugte Filtrat kaskadenförmig vom Spülzonenende zurück zum Tauchbecken geführt. Diese Kaskadenspülung stellt einen geschlossenen Kreislauf dar. Abschließend wird mit Zirkulat und VE-Wasser gespült. Außer zur Entfernung kleinerer Fehler, wird die Grundierung heute nicht mehr geschliffen. [BROCK 1998, VDI 1996] Nach der kathodischen Tauchlackierung (KTL) wird das in Hohlräumen befindliche Wasser durch geeignete Maßnahmen wie Trocknen, z.B. bei 140 °C, Kippen der Karosserie oder Abblasen mit viel Luft, entfernt [BROCK 1998, VDI 1996].

Tabelle 2-5: *Typische Parameter der Elektrotauchlackierung* [BROCK 1998]

| Parameter          | Werte                           |
|--------------------|---------------------------------|
| Angelegte Spannung | 350 bis 500 V                   |
| Schichtdicke       | 18 bis 22 (teilweise bis 30) µm |
| Abscheidezeit      | 2 bis 3 Minuten                 |
| PH-Wert des Bades  | 5,6 bis 6,6                     |
| Badtemperatur      | 26 °C                           |
| Badgrößen          | 200 bis 500 m <sup>3</sup>      |

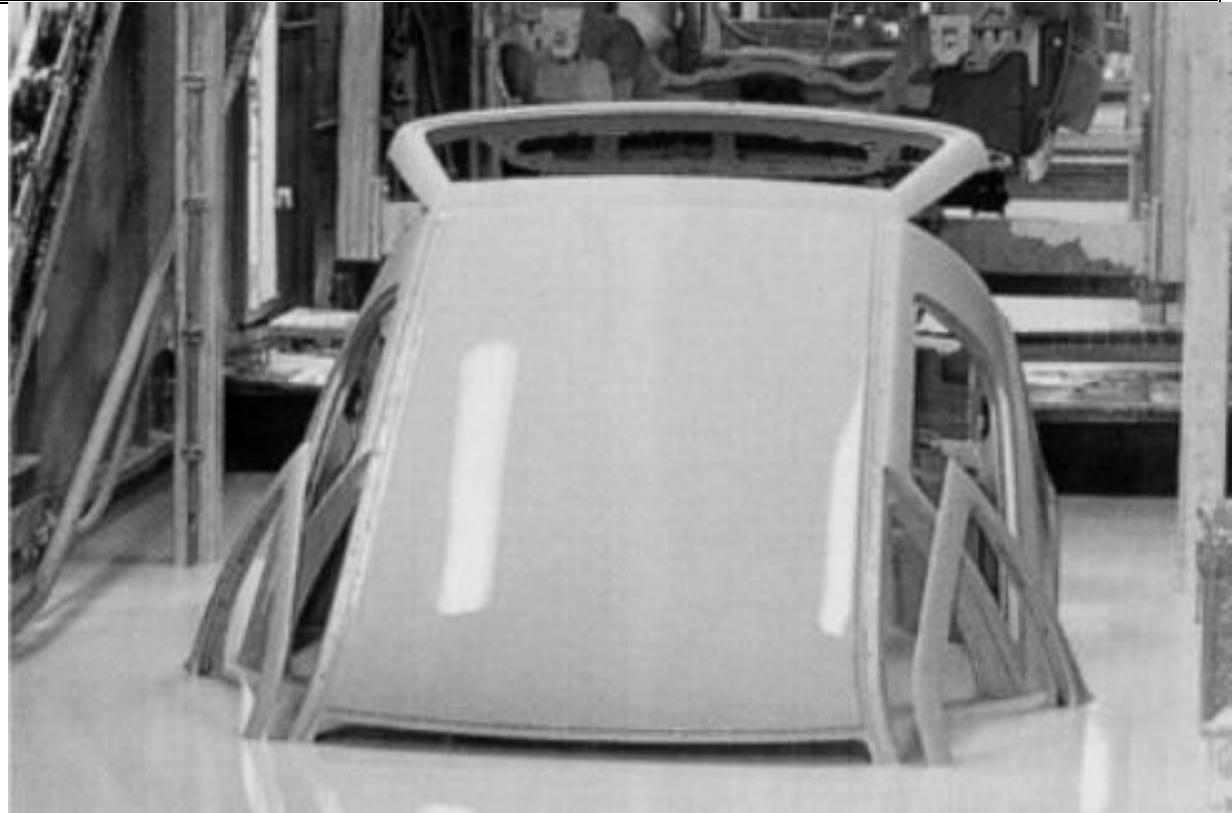


Abbildung 2-2: *KTL-Tauchanlage* [GRUBER 2001]

---

### ***Nahtabdichtung und Unterbodenschutz***

Vor dem Füllerauftrag müssen Fugen und Falze abgedichtet werden. Teils von Hand, teils mit Robotern, geschieht dies in der Regel mit unterschiedlichen PVC-Materialien unter Einsatz von Spezialpistolen. Auch der anschließend aufgetragene Unterbodenschutz (100 bis 1.200 µm) basiert auf PVC-Plastisolen oder auch auf Polyurethan. Es wird im allgemeinen von Robotern im Airlessverfahren appliziert. Teilweise wird noch, ebenfalls mit einem scharf begrenzten Airless-Spritzstrahl, ein zusätzlicher Steinschlagschutz auf besonders gefährdete Bereiche aufgebracht. Die genannten Materialien zum Unterboden- und Steinschlagschutz, aber auch Nahtabdichtungen und Hohlraumversiegelungen werden bei einigen Herstellern erst zu einem späteren Zeitpunkt der Produktion aufgetragen, z.T. erst nach Abschluss der Decklackierung im Endmontagebereich. [BROCK 1998]

Bei der Volkswagen AG erfolgt die Applikation von Unterbodenschutz im Roboterverfahren teilweise auf gedrehten Karossen (vgl. Abbildung 2-3). Dieses Verfahren ist nur anwendbar im Falle einer geeigneten Bodenstruktur mit tragfähigem Längsträger. Vorteile sind eine Verminderung des Oversprays durch reduzierten Spritzdruck und eine gleichmäßige und reproduzierbare Beschichtung. Weiterhin hat das Verfahren ergonomische Vorteile bei nachfolgenden, manuellen Tätigkeiten.



Abbildung 2-3:*Auftrag des Unterbodenschutzes auf die um 180° gedrehten Karosse*  
[GRUBER 2001]

---

Vor dem Füllerauftrag wird die Karosse noch mit Staubbindetüchern, durch Abblasen mit ionisierter Luft oder zunehmend auch mit Emufeder-Walzen gereinigt, da sich Verschmutzungen noch im späteren Decklackstand auswirken. [BROCK 1998]

### **Füllerauftrag**

Der Füller hat folgende Funktionen:

- das Ausfüllen kleinerer Unebenheiten des Untergrundes und die Vorbereitung für den Decklackauftrag,
- die Gewährleistung von Haftfestigkeit und Erreichung der qualitätsbedingten Schichtdicke,
- UV-Schutz für unterliegende KTL-Schicht.

Neben konventionellen lösemittelhaltigen Füllern werden heutzutage überwiegend wasserverdünnbare Füller eingesetzt (vgl. Tab. 2-4). Im Füllerbereich werden die Außenflächen elektrostatisch mit Hochrotationszerstäubung verarbeitet; gegebenenfalls wird der Füller an manchen Stellen (z.B. Innenräume) manuell aufgetragen. Über eine kurze Abdunstzone zur Lösemittelabgabe erreichen die gefüllerten Karossen den Füllertrockner (bis zu 175 °C).



Abbildung 2-4: Hochrotationsglocken

(Quelle: Dr. GRUBER, Volkswagen AG)

---

Durch Anpassung der Farbgebung des Füllers an den nachfolgenden Basislack ist eine Reduzierung der Basislackschichtdicke möglich. Im Fahrzeuginnenbereich kann ggf. ganz auf Basislack verzichtet werden [MAY 2000B].

Seit einigen Jahren werden in den USA und in Österreich (DaimlerChrysler, Werk Graz) Pulverfüller eingesetzt. Es wird berichtet, dass aus einer umweltorientierten Sicht diese Technologie allerdings nicht sinnvoll ist, da die Langzeiterfahrungen gezeigt haben, dass die geforderte Oberflächenqualität (u.a. wegen den hohen Schichtdicken) auf diese Weise nicht zu erreichen ist und hohe Materialverbräuche zu verzeichnen sind. In Wasser aufgeschlämmt Pulverlacke (Pulver-Slurries), die wie Flüssiglacke verarbeitet werden, befinden sich derzeit noch im Entwicklungsstadium.

### ***Reinigung/Waschverfahren***

Vor der Decklackapplikation ist eine optimale Reinigung unbedingt erforderlich. Zur Reinigung werden z.Z. hauptsächlich folgende Verfahren eingesetzt: Ionisierte Luft, Blower, Emu-Zone, komplettes Waschen der Karosserie inkl. Trocknungsprozeß und Kühlzone.

### ***Decklack***

#### **Ein-Schicht-Decklackierung**

Dieser Vorgang der Ein-Schicht-Decklackierung ist heute nur noch in Ausnahmefällen bei Unifarbtönen üblich, und selbst hier wird aus Gründen der Haltbarkeit und der optischen Oberflächenqualität zunehmend auf die Zwei- bzw. Mehrschichtdecklackierung umgestellt. Bei der Beschichtung von leichten Nutzfahrzeugen ist die Verwendung von 1-Schicht-Decklacken durchaus üblich, da am Markt spezielle Farben verlangt werden [GRUBER 2001].

#### **Decklacktypen**

Von den klassischen einkomponentigen Alkyl-, Polyester- oder Acrylat-Einbrennsystemen geht der Trend hin zu noch höhervernetzenden 1K- oder 2K-Lacken, oft isocyanatvernetzend, sowohl wasserverdünnbar als auch konventionell lösemittelhaltig. Als Pigmente werden nur extrem licht- und wetterstabile Verbindungen eingesetzt. Festkörperanteile und Lösemittelgehalte der Decklacke sind in Tabelle 2-3 dargestellt.

#### **Applikation**

Das Decklackmaterial wird überwiegend mit automatischen, elektrostatisch unterstützenden Hochrotationszerstäubern appliziert, die auch einen schnellen Farbtonwechsel innerhalb weniger Sekunden erlauben. Ein Vor- oder Nachspritzen schwieriger oder schlecht zugänglicher Stellen kann auch von Hand (pneumatisch) erfolgen. Die erforderliche

---

Trockenschichtdicke (Ein-Schicht-Decklackierung) von 35 - 50 µm wird in ein bis zwei Spritzgängen aufgebracht, evt. mit kurzer Zwischenablüftung. Anschließend wird die Lackschicht im Decklacktrockner bei 130 - 140 °C (je nach Bindemittelsystem) eingebrannt.

### Zwei-Schicht-Decklackierung

Bei der Zwei-Schicht-Decklackierung wird zunächst ein fargebender Basislack aufgebracht und anschließend mit einem Klarlack überzogen. Uni-Farbtöne wirken so attraktiver, gewinnen optisch an "Tiefe" und sind wesentlich langlebiger. Effekt- bzw. Metalliclackierungen werden dabei in zwei Schritten (Basislack und Spraymate) ausgeführt. Bei Metallic- und Effektlacken kommt das Spraymateverfahren zum Einsatz [MAY 2000B].

### Basislackmaterialien

Der Basislack wird mit einer Schichtdicke von nur 12 bis 35 µm aufgetragen. Die tatsächliche Schichtdicke richtet sich nach dem Deckvermögen des Farbtons. Zur Sicherstellung der Deckkraft werden unterschiedliche Füllerfarben verwendet. Perlmuttfarbene Basislacke, die als wesentliche Pigmente belegte Glimmer oder andere spezielle Effektpigmente enthalten, sind im allgemeinen nicht deckend und benötigen daher eine zusätzliche Basislackschicht als Untergrund; meist einen weißen, manchmal zur Hervorhebung der Interferenz-Effekte auch dunklen Basislack ("Dreischicht-Decklackierung"). Weitere neuere Effekttechniken, wie die Einfärbung von Basislacken oder Klarlacken mit löslichen Farbstoffen oder die Verwendung fluorhaltiger (stärker schmutzabweisender) Klarlacke sollen hier nur kurz erwähnt werden. Festkörperanteile und Lösemittelgehalte der Materialien sind in Tabelle 2-3 dargestellt.

### Klarlackmaterialien

Nach Einführung der Wasserfüller und Wasserbasislacke Anfang der neunziger Jahre, stellt der konventionelle Klarlack den letzten bedeutenden Lösemittelemittenten bei der Autolackierung dar. Die Lösemittelgehalte konventioneller Klarlacke betragen ca. 57 – 37 % (vgl. Tabelle 2-3). Ein Klarlacksystem auf Wasserbasis (Opel Werk Eisenach) wird bereits angewendet. Des weiteren befinden sich derzeit in Deutschland ebenfalls Pulver-Klarlack (bei BMW, Werk Dingolfing) und Pulver-Slurry (in Wasser dispergiertes Pulver, bei DaimlerChrysler Werk Rastatt) im Serieneinsatz. Zunächst ist diese Schicht milchig weiß, anschließend wird sie während der Trocknung klar und die endgültige Farbe kommt zum Vorschein.

Zur Minderung der Emissionen aus Klarlacken sind bereits modifizierte Bindemittel und Härtersysteme sowie neue 2K-Mischungstechniken im Entwicklungsstadium.

---

### Applikationsverfahren für Basislacke und Klarlacke

Zunächst werden die Innenflächen von Türen, Motorraum- und Heckklappe und ggf. des Innenraums im manuellen oder robotisierten Verfahren lackiert. Anschließend werden die Uni-Basislacke, Klarlacke und Effekt-Basislacke (bei letzteren aber nur der erste Spritzgang) wie Einschichtdecklacke mit elektrostatisch unterstützten Hochrotations-Automaten appliziert. Der zweite Spritzgang bei Metallic- und Perleffektfarbtönen wird rein pneumatisch aufgetragen, da nur bei pneumatischer Applikation der Metallic- bzw. Perleffekt realisiert werden kann. Basislacke, wässrig oder konventionell, werden zunächst nicht eingearbeitet, sondern im „Naß-in-Naß-Verfahren“ nach kurzer physikalischer (An-)Trocknung klarlackiert ( $30 - 50 \mu\text{m}$ ). Bei konventionellen Basislacken reicht eine kurze Umlufttrocknung; Wasserbasislacke werden meist mit einer kombinierten Infrarot/ Warmblaszone getrocknet (Objekttemperatur: Ca.  $50^\circ\text{C}$ ). Reine Umluft- oder Kondensations-trockner sind weitere Alternativen.

Der robotisierte Decklackauftrag sowie der vollautomatisierte Decklackiervorgang für Dach und Seiten sind in den nachfolgenden Abbildung 2-5 und Abbildung 2-6 aufgeführt. Abbildung 2-7 zeigt den automatisierten Auftrag von Metallic/Perleffektlacken mit Druckluft („Spraymate“).



Abbildung 2-5: Decklackauftrag mit Robotern [GRUBER 2001]



Abbildung 2-6: Vollautomatisierter Decklackiervorgang für Dach und Seiten [GRUBER 2001]



Abbildung 2-7: Automatisierter Auftrag von Metallic- bzw. Perleffektlacke im Spraymate-Verfahren [GRUBER 2001]

### **Trocknung und Härtung**

Unter Trocknung wird das Verdampfen von Lösemitteln aus der aufgebrachten Schicht und die Härtung der Lackschicht durch chemische Reaktionen verstanden. Ein Trocknertunnel ist in Abbildung 2-8 gezeigt.

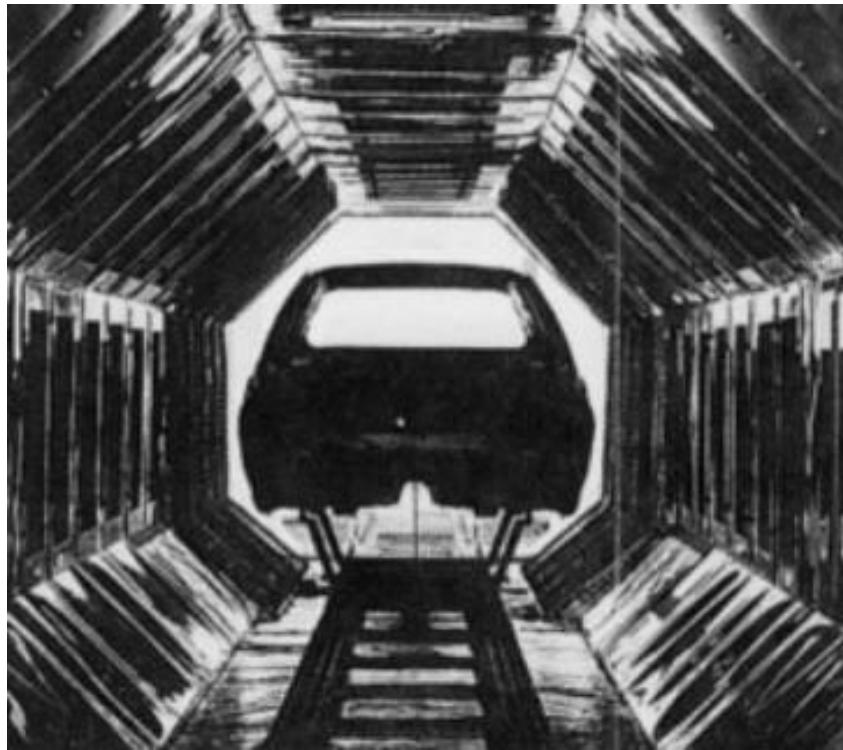


Abbildung 2-8: *Trocknertunnel* [GRUBER 2001]

Drei Trocknungsarten können unterschieden werden:

- **Physikalische Trocknung:** Der in flüssiger Form aufgetragene Beschichtungsstoff wird durch Abdunsten der Lösemittel zu einem Überzug verfestigt.
- **Chemische Härtung:** Der häufig nach vorausgegangener physikalischer Trocknung verfestigte Film wird durch chemische Reaktionen vernetzt. Diese Reaktionen laufen bei höheren Temperaturen ab und benötigen deshalb eine bestimmte Wärmezufuhr. Durch weitere Wärmeeinwirkung kann der Reaktionsablauf in gewissen Grenzen zusätzlich beschleunigt werden.
- **Härtung durch Reaktionstrocknung:** Zwei oder mehrere miteinander reaktionsfähige Komponenten werden vor oder während der Applikation in vorbestimmten Verhältnissen vermischt und ergeben durch chemische Reaktionen einen festen Film. Die Systeme können lösemittelhaltig oder -frei sein. Die Reaktion beginnt in der Regel bereits bei Raumtemperatur. Durch Wärmezufuhr kann sie beschleunigt werden.

Je nach Qualitätsanforderungen und Beschichtungsmaterial werden in der Praxis Konvektionstrockner, Strahlungstrockner oder Kombinationen beider Systeme eingesetzt. Die beim Trocknungsprozess aufgeheizten Karosserien müssen üblicherweise vor der

---

Weiterverarbeitung gekühlt werden. Dazu werden sie in speziellen Kühlzonen mit z.T. gekühlter Frischluft beaufschlagt.

### ***Hohlraumkonservierung***

Die Hohlraumkonservierung besteht im Auftrag eines geschlossenen korrosionsschützenden Wachsfilmes in die konstruktiv bedingten Hohlräume des Trägerbereichs und der Türen der Karosserien. Dies kann nach zwei Verfahren erfolgen:

- Beim *Sprühverfahren* wird ein Konservierungswachs über Sprühdüsen aufgetragen. Jedem Hohlraum der Karosse wird mindestens eine hohlraumangepasste Sprühdüse zugeordnet. Die Dosierung der Sprühmenge erfolgt reproduzierbar über vorprogrammierte volumengesteuerte Materialmengen. Das Sprühverfahren arbeitet in der Regel mit 60 - 70%-igem Wachsanteil in wässriger Emulsion.
- Beim *Flutverfahren mit lösemittelfreiem Heißwachs* erfolgt die Konservierung mittels einer Flutanlage. Durch ausgewählte Hohlraumöffnungen wird Heißwachs (Parafin bei 120 °C) in die Hohlräume über automatisch angefahrene Flutdüsen gepumpt. Die Hohlräume werden entsprechend den Auslegungsvorgaben gefüllt. Nach dem Fluten fließt der Wachsüberschuss über die Auslauf-Öffnungen ins Flutbecken zurück und wird im Kreislauf der Wachsversorgung wiederverwendet. Die Karosse wird vor dem Flutvorgang vorgewärmt (50 bis 80 °C), um eine möglichst dünne verbleibende Schichtstärke zu erreichen. Dieses Verfahren arbeitet lösemittelfrei.

### ***Nachreparaturen***

Trotz aller aufwendigen Maßnahmen zur Staubfreiheit sind Fehlstellen (Staubeinschlüsse, mechanische Beschädigungen, benetzungsstörende Substanzen, usw.) unvermeidbar. Je nach Umfang der Schadenstelle muss nach eventuellem Nachschleifen, entweder erneut vollständig decklackiert oder zumindest teilausgebessert werden.

### ***Transportkonservierung***

Zum Schutz des PKW beim Transport werden hauptsächlich Wachse auf Wasserbasis appliziert. In einigen älteren Anlagen werde noch lösemittelhaltige Wachse (70 % Lösemittelanteil) eingesetzt. Zunehmend werden als Transportschutz Folien verarbeitet oder komplett auf Transportkonservierungen verzichtet.

## 2.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Als der am häufigsten in Deutschland eingesetzte Lackierprozess kann der sog. Wasserlackprozess mit konventionellem Klarlack bezeichnet werden (Tabelle 2-4). Daher können die entsprechenden Verbrauchs- und Emissionswerte für diesen Prozess ebenfalls als Standard angesehen werden. Ausführliche Daten zu Lacheigenschaften und eingesetzten Verfahren und Technologien, Verbräuche, Emissionen in die Luft, Abwasseranfall und Abfallaufkommen sind in Anhang IV.1 gesammelt.

In den nachfolgenden Abschnitten sind die derzeit verfügbaren Verbrauchs- und Emissionswerte für die Lackierung von Personenkraftwagen im allgemeinen angegeben, die sowohl aus der Literatur als auch aus Interviews mit Lack- und Automobilherstellern stammen.

### 2.3.1 Verbrauch von Eingangsstoffen

In Tabelle 2-6 sind die spezifischen Lackverbräuche in Gramm pro m<sup>2</sup> Rohkarossoberfläche für verschiedene Lacksysteme erfasst.

Tabelle 2-6: Spezifische Lackverbräuche nach Lacksystemen [RENTZ 1999, MAY 2000B]

| Lacksystem  | Spezifischer Lackverbrauch [g Lack/m <sup>2</sup> ]* |
|---|--|
| Kataphoretische Tauchgrundierung: Wasserbasis, 5 Gew.-% Lösemittelanteil, 14 – 18 % Festkörpergehalt  | 70 - 80  |
| Füller: Lösemittelhaltig, 45 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation  | 10 – 15  |
| Füller: Wasserbasis, 8 Gew.-% Lösemittelanteil, 50 – 55 % Festkörpergehalte, elektrostatische Applikation   | 10 - 20  |
| 1-Schicht-Decklack: Lösemittelhaltig, 45 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation  | 35 - 40  |
| Basislack: Lösemittelhaltig, 75 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation (60 %) und Druckluftapplikation (40 %)                        | 45 – 55**  |
| Basislack: Wasserbasis, 13 Gew.-% Lösemittelanteil, 17 – 35 % Festkörpergehalt, elektrostatische Applikation (60 %) und Druckluftapplikation (40 %) | 45 – 55**  |
| Klarlack: Lösemittelhaltig, 45 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation  | 20 - 30  |
| Klarlack: Wasserbasis, 14 Gew.-% Lösemittelanteil, 42 – 49 % Festkörpergehalt, elektrostatische Applikation [PERIZONIUS 1994, THOMER 1994]          | 35 - 45  |

| Lacksystem   | Spezifischer Lackverbrauch [g Lack/m <sup>2</sup> ]* |
|--|--|
| Klarlack: Pulverslurry, ca. 1 Gew.-% Lösemittelanteil, 38 % Festkörpergehalt, elektrostatische Applikation [MÜLLER 2000] | 42 - 46  |
| Klarlack: Pulverbasis, lösemittelfrei, elektrostatische Applikation [SPITZNER 2001]                                      | 100 – 110  |
| Unterbodenschutz und Nahtabdichtung  | 6 – 12***  |
| Transportkonservierung   | 6  |

\* Diese Einheit gilt für alle aufgeführte Lacksysteme, den Unterbodenschutz und die Nahtabdichtungen ausgenommen. Für die letzteren kann kein flächenbezogener Wert angegeben werden.

\*\* Für Basislacke mit 20 bis 25 Gew.-% Festkörper bei der Verarbeitung.

\*\*\* Die Einheit ist kg/Karosse.

### 2.3.2 Emissionen in die Luft

Bei der Serienlackierung von Automobilkarossen bildet die Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) die relevanteste Emissionsquelle; sie werden im Wesentlichen beim Lackauftrag und bei der Lacktrocknung generiert, und stammen aus der Anwendung von Lösemitteln zur Lackverdünnung, zur Werkzeugreinigung, etc. Bei der KTL treten VOC-Emissionen auf, die im allgemeinen abgesaugt und mittels der den Trockneranlagen nachgeschalteten Abluftreinigungsanlage eliminiert werden.

In der Regel tragen Auftrag und Trocknung von Grundierung, Füller und Decklack/Klarlack zu etwa 80 % der VOC-Emissionen aus dem Lackierbereich der Automobilherstellung bei. Der Decklackreparaturvorgang, die Reinigungsvorgänge sowie die übrigen Quellen (wie z.B. das Beschichten von Kleinteilen, der Auftrag von Unterbodenschutz) sind für die restlichen 20 % verantwortlich. Ungefähr 75 bis 90 % der gesamten VOC-Emissionen, die während des Auftrags- und Trocknungsvorgangs generiert werden, stammen aus der Lackerkabine; die übrigen 10 - 25 % vom Trockner. (Die mit VOC beladene Trockner-Abluft wird einer thermischen Abgasreinigung zugeführt.) Die angegebenen Prozentanteile sind stark von den verwendeten Lösemitteltypen und den Auftragswirkungsgraden der Applikationsverfahren abhängig. [GAUDOSIO 1996, RENTZ 1999]

In der deutschen Automobilindustrie können derzeit durchschnittliche spezifische Emissionen für flüchtige organische Verbindungen von 35 - 45 g/m<sup>2</sup> lackierte Oberfläche angenommen werden, die einem durchschnittlichen Lösemittelverbrauch von 2,5 bis 4 kg/Fahrzeug (je nach Modell und Anforderung) entsprechen [GRUBER 2000A]. Für einige Anlagen (z.B. BMW Werk Dingolfing, Opel Werk Eisenach, DaimlerChrysler Werk Rastatt) weisen die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen wesentlich geringere Werte auf, die teilweise 10 g/m<sup>2</sup> erreichen [SEDLMAIER 2000]. In der europäischen

---

Automobilindustrie können ebenfalls Emissionswerte zwischen 35 und 45 g/m<sup>2</sup> verzeichnet werden, insbesondere für die Anlagen in Schweden und Niederlanden sowie in einzelnen Anlagen in Belgien, Großbritannien, Frankreich, Italien, Portugal und der Tschechischen Republik. Dieser Standard gilt jedoch in vielen Werken Europas nicht, in denen die VOC-Emissionen zwischen 60 und 120 g/m<sup>2</sup> erreichen [MAY 2001A] (Neben den VOC müssen auch Lackpartikel und ggf. darin enthaltene Schwermetalle Berücksichtigung finden. Partikelemissionen aus Overspray liegen in Deutschland im allgemeinen weit unterhalb von 3 mg /m<sup>3</sup>. Dies wird über Nass- und Trockenabscheider in den Lackierkabinen gewährleistet).

### **2.3.3 Abwasser**

#### **2.3.3.1 Abwasser aus der Vorbehandlung und dem KTL-Bereich**

Abwasser fällt bei der Vorbehandlung der Karosserien durch Entfetten und Phosphatieren sowie beim Elektrotauchlackieren an. Die bei der Passivierung ggf. anfallenden Chrom(VI)-haltige Abwässer werden mit geeigneten Chemikalien reduziert. Durch Auffangsysteme wird eine Verschleppung der Chemikalien weitgehend ausgeschlossen.

Derzeit gelten bleifreie Elektrotauchlacke als Stand der Technik. In Zukunft wird mit einem flächendeckenden Einsatz derartiger Elektrotauchlacksysteme gerechnet. Neue Risikostoffe, z.B. Organozinnverbindungen, können jedoch bei manchen bleifreien Produkten auftreten, die bei Reinigung der Anlagen ins Abwasser gelangen können. Des Weiteren können heutzutage Elektrotauchlackieranlagen ohne grundsätzlichen Ultrafiltrat-Verwurf betrieben werden. Die KTL-Anlagen müssen jedoch von Zeit zu Zeit gereinigt werden, so dass mit Lack verschmutztes Reinigungswasser anfällt. Die Spülwasser können sowohl beim KTL-Schritt als auch bei den übrigen Vorbehandlungsschritten im Kreislauf geführt werden. Nach dem Elektrotauchlackieren muss das anhaftende Lackmaterial vor dem anschließenden Trocknungsprozess abgespült werden. Mit Hilfe der Ultrafiltration, die heute zur Standardausstattung von KTL-Anlagen gehört, verläuft dieser Spülprozess ohne Lackverluste und nahezu abwasserfrei. Das Abwasser aus der Vorbehandlung gelangt nach einer chemisch, physikalischen und biologischen Vorbehandlung in die Schmutzwasserkanalisation. [GRUBER 2001]

#### **2.3.3.2 Abwasser aus den Lackierprozessen**

Grundsätzlich fallen Lackierabwässer bei der Nassauswaschung von Lackoverspray an als

- Gemisch aus Lack, Wasser und Koaguliermittelresten aus Nassauswaschungen,
- Lack-Wasser-Lösemittelgemisch aus Reinigungsvorgängen der Zerstäubungsgeräte und Lackversorgungsleitungen,

- 
- Lack-Wasser-Gemisch bei der Reinigung von Lackierkabinen.

Bei der Spritzlackierung entsteht Overspray, der bei industriellen Lackieranlagen bzw. Spritzkabinen in Nasswäschern abgeschieden wird. Die zur Abluftreinigung notwendigen Wassermengen werden im Kreislauf geführt. Abgeschiedener Overspray bzw. anfallende Lackschlämme müssen daher aus diesem Umlaufwasser entfernt werden, um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten. Es werden die gleichen Methoden zur Abscheidung von lösemittelhaltigen und wasserverdünnbaren Lacken eingesetzt. Die in lösemittelhaltigen Lacken enthaltenen organischen Lösemittel sind zumeist leicht flüchtig und sind nur in geringem Maße wasserlöslich. Die Wasserlacke dagegen haben einen wesentlich geringeren Lösemittelanteil, der jedoch nahezu vollständig wasserlöslich ist. Wenn diese Lösemittel einen sehr geringen Dampfdruck haben, können sie sich im Wasser anreichern. Wasserlacklösemittel reichern sich im Spritzkabinenumlaufwasser nur bis zur Gleichgewichtskonzentration an (übliche Konzentrationen liegen bei 0,5 %) [MAY 2000B]. Das Waschwasser der Spritzkabinen, das im Kreislauf geführt wird und in einem Teilstrom kontinuierlich gereinigt wird, wird ca. ein- bis zweimal pro Jahr erneuert. Des weiteren fällt Abwasser bei der Reinigung der Wärmetauscher der Spritzkabinenabluft, der Wärmeräder sowie aus dem Bereich der Zuluftbefeuchtung für Spritzkabinen an. [VDI 1996, MAY 2000B]

---

### 2.3.4 Abfälle

Wesentliche Abfälle aus der Vorbehandlung / KTL und Lackierung von Automobilkarossen umfassen [LAI 2000]:

- *Lösemittelabfälle*: Lösemittelabfälle in Form von Altlösemitteln, Lösemittelresten, verbrauchte und verunreinigte Lösemittel fallen u.a. bei der Einstellung lösemittelhaltiger Lacksysteme, bei der Werkzeug-, Apparate-, Spritzkabinenreinigung und ggf. bei der Abgasreinigung aus der Lackierung und Trocknung an.
- *Lackreste und Altlacke*: Aufgrund ihrer veränderten physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften sind Lackreste und Altlacke nicht mehr verwendbar und müssen daher als Abfall entsorgt werden. Nicht verwendbare Restcharge und eingetrocknete Lacke von Hilfsträgern gehören ebenfalls zu dieser Abfallart. Dabei wird zwischen nicht ausgehärteten Lackresten mit Lösemittel und ausgehärteten Altlacken/ Lackreste unterschieden. Lacke auf Wasser- und Pulverbasis finden hier auch Berücksichtigung.
- *Lackschlämme*: Bei der Spritzlackierung wird nicht-abgeschiedener Overspray im Wasser aufgefangen und die koagulierten Lackteilchen werden aus dem Wasser entfernt. Zur Entklebung und zur besseren Auswaschung werden dem Wasser Koagulierungsmittel beigegeben und Lackschlamm fällt an.
- *Verbrauchte Adsorptionsmittel*: Beim Einsatz von Abluftreinigungsverfahren, wie z.B. Adsorption auf Aktivkohle, fällt Lösemittel-beladene Aktivkohle an, die entsorgt werden muss.
- *Phosphatschlamm* aus der Vorbehandlung
- *PVC-Abfälle* aus der Unterbodenbeschichtung
- *Filter- und Filtermatten*
- *Gebrauchte Zellstofftücher, Putztücher*: Beispielsweise bei der Reinigung von Applikationsgeräte fallen lösemittelgetränktes Zellstoff- und Putztücher an, die z.T. mit Lack verunreinigt sind.

Eine Übersicht über diese Abfallarten in Bezug auf Verwertung und Beseitigung ist in Tabelle 2-7 zusammengestellt. Möglichkeiten zur Vermeidung bzw. Verringerung des Abfallaufkommens sind in Abschnitt 2.4 aufgeführt.

Tabelle 2-7: Übersicht über Abfälle aus Automobilserienlackieranlagen [LAI 2000]

| Abfallart           | Mögliche Anfallorte              | Abfallschlüssel (EWC) | Abfallbezeichnung / Abfallart   | Abfälle zur Verwertung |        |              | Abfälle zur Beseitigung |        |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|---|------------------------|--------|--------------|-------------------------|--------|
|                     |                                  |                       |   | Bes. überw.            | Überw. | Nicht überw. | Bes. überw.             | Überw. |
| Lösemittelabfälle   | Lackverdünnung, Gerätgereinigung | 14 01 05              | Wässrige, halogenfreie Lösemittel und Lösemittelgemische                                  | X                      |        |              | X                       |        |
|                     | Lackverdünnung, Gerätgereinigung | 14 01 03              | Andere Lösemittel und Lösemittelgemische  | X                      |        |              | X                       |        |
| Phosphatierschlamm  | Phosphatierung der Rohkarosse    |                       |   |                        |        |              |                         |        |
| Lackreste, Altłacke | Gesamte Lackieranlage            | 08 01 11              | Farb- und Lackabfälle, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten | X                      |        |              | X                       |        |
|                     | Gesamte Lackieranlage            | 08 01 05              | Ausgehärtete Farben und Lacke   |                        |        | X            |                         | X      |
| Lackschlämme        | Tauchbad und Overspray           | 08 01 13<br>08 01 15  | Schlämme aus der Farb- und Lackentfernung   | X                      |        |              | X                       |        |
|                     | Tauchbad und Overspray           | 08 01 08              | Wässrige Schlämme, die Farbe oder Lack enthalten  |                        |        | X            |                         | X      |
|                     | Tauchbad und Overspray           | 08 01 17<br>08 01 18  | Abfälle aus der Farb- und Lackentfernung  |                        |        | X            |                         | X      |

| Abfallart                         | Mögliche Anfallorte             | Abfall<br>schlüssel | Abfallbezeichnung / Abfallart   | Abfälle zur Verwertung |        |                 | Abfälle zur<br>Beseitigung |        |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------|---|------------------------|--------|-----------------|----------------------------|--------|
|                                   |                                 |                     |   | Bes.<br>überw.         | Überw. | Nicht<br>überw. | Bes.<br>überw.             | Überw. |
| Verbrauchte Adsorptionsmittel     | Abgasreinigungsanlage           | 15 02 02<br>D1      | Lösemittelbeladene Aktivkohle   | X                      |        |                 | X                          |        |
| Reststoffe aus Unterbodenschutz   | Unterbodenschutz,<br>Abdichtung |                     |   |                        |        |                 |                            |        |
| Gebrauchte (lösemittelgetränktes) | Reinigung                       | 15 02 03            | Aufsaugmaterialien, Wischtücher und Schutzbekleidung                                  |                        |        | X               |                            | X      |
| Zellstoff- und Putztücher         | Reinigung                       | 15 02 02<br>D1      | Aufsaugmaterialien, Wischtücher und Schutzbekleidung mit schädlichen Verunreinigungen | X                      |        |                 | X                          |        |

Bes. überw.: Besonders überwachungsbedürftig

Überw.: Überwachungsbedürftig

Nicht überw.: Nicht überwachungsbedürftig

---

### **2.3.5 Energiebedarf**

Neben der Betrachtung des Lösemitteleinsatzes und -ausstoßes stellt die Berücksichtigung des Energieeinsatzes eine wesentliche Aufgabe dar. Innerhalb des gesamten Herstellungsprozesses eines Fahrzeuges ist der Lackierprozess nämlich einer der energieintensivsten Schritte: Der Primärenergieverbrauch für den Lackierprozess beträgt bis zu etwa 20 % des Gesamtbedarfs der Automobilherstellung [PIOWARCZYK 2000]. Angaben zum Energiebedarf bei der Lackierung von Fahrzeugkarossen sind in Abschnitt 2.5 mit aufgeführt. Detaillierte Daten über den Energiebedarf einzelner Produktionsschritte konnten nicht recherchiert werden, da sie in den Unternehmen nicht vorliegen bzw. nicht herausgegeben werden.

### **2.3.6 Kosten**

Für die Angaben von Kosten konnten keine Daten ermittelt werden, da die Unternehmen auf Grund des starken Konkurrenzdruckes keine Angaben machen konnten.

## **2.4 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Zur Vermeidung bzw. Verminderung von Lösemittelemissionen und zum Schutz der Umwelt können die nachfolgenden Maßnahmen genannt werden:

- Einsatz lösemittelarmer bzw. -freier Lacksysteme
- Einsatz von emissionsarmen Auftrags- und Versorgungstechniken
- Ergänzende Maßnahmen im Lackierumfeld
- Lackrecycling
- Einsatz von nachgeschalteten Verfahren
- Chrom (VI)-freie Vorbehandlung

### **2.4.1 Einsatz lösemittelarmer bzw. -freier Lacke**

Für die Grundierung von Automobilkarossen werden wasserverdünnbare Elektrotauchlacke verwendet. Dabei liegt der Lösemittelgehalt zwischen 1 und 6 Gew.-% (Tabelle 2-3). Lacke auf der Basis von Wasser als Lösemittel sind für Füller, Metallic- und Uni-Basislacke weitestgehend in Anwendung und sind als Stand der Technik anzusehen. Der organische Lösemittelgehalt in konventionellen Metallic-Basislacken, der ursprünglich 60 - 87 % betrug, wurde bis auf 10 - 20% durch Umstellung auf Wasserbasislacke reduziert. Für Uni-Lacke wurde der Lösemittelgehalt von 27 - 55 % auf 10 - 15 % gemindert. Beim Einsatz von wasserverdünnbaren Basislacken ist ein Klarlackauftrag erforderlich. [VDI 1996]

---

Derzeit befinden sich Klarlacke auf Wasser-, Pulver-Slurry- und Pulver-Basis erstmals im Serieneinsatz. Klarlacke auf Wasserbasis befinden sich seit 1991 im Einsatz, Pulverlacksysteme werden seit 1997 im Serieneinsatz angewendet.

Neben Lacksystemen mit einem erhöhten Festkörpergehalt (vgl. Tab. 2-3) sind die nachfolgenden, produktionsintegrierten Maßnahmen derzeit einsetzbar.

#### **2.4.1.1 Wasserverdünnbare Lacksysteme**

Bei der Serienlackierung werden wasserverdünnbare Lacksysteme (mit Lösemittelanteilen zwischen 10 und 20 Gew.-%) zunehmend eingesetzt:

- Aufgrund ihres geringen Lösemittelgehalts können hohe Minderungsgrade bei den Lösemittelemissionen erreicht werden;
- die Reinigung der Spritzgeräte und weiterer Werkzeuge kann mit Wasser/Lösemittel-Gemischen, deren Lösemittelgehalt zwischen 5 und 20 % liegt, erfolgen;
- eine große Bandbreite an Schichtdicken ist mit Wasserfüllern möglich (20 bis 35 µm) [MAY 2000A].

Allerdings können Lacke auf Wasserbasis aufgrund der Anwesenheit von Wasser und Sauerstoff zu erheblichen Korrosionsproblemen bei den Spritzsystemen führen. Die Umrüstung konventioneller Anlagen auf Wasserbasislacke erfordert üblicherweise den Ersatz der Lackversorgungsleitungen durch Materialien aus Edelstahl. Weiterhin muss bei Wasserfüllern und Wasserklarlacken darauf hingewiesen werden, dass aufgrund ihres niedrigeren Festkörperanteils höhere Lackverbräuche berücksichtigt werden müssen; für Wasserbasislacke trifft dies jedoch nicht zu [MAY 2000B]. Da die langfristige Auswirkung von Lackbestandteilen auf die menschliche Gesundheit derzeit noch nicht vollständig erfasst worden ist, sind nach der Umstellung von konventionellen auf wasserverdünnbare Lacksysteme weiterhin die gleichen Arbeitssicherheitsmaßnahmen wie für lösemittelhaltige Systeme einzusetzen.

Der Pulver-Slurry Klarlack, der bei der DaimlerChrysler AG, Werk Rastatt, seit 1997 im Einsatz ist, wird mittels eines in Wasser dispergierten Pulvers aufgetragen. Der Pulver-Slurry Klarlack ist nahezu lösemittelfrei und daher können sehr geringe Werte bezüglich den VOC-Emissionen erzielt werden, obwohl zur Reinigung noch konventionelle Lösemittel eingesetzt werden. Zudem sind deutliche Energieeinsparungen im Vergleich zu konventionellen 2K-Klarlacksystemen möglich, da die Decklackschichten im "Nass-in-Nass-Verfahren" aufgetragen werden können. [MÜLLER 2000]. Zur Reinigung der Applikationswerkzeuge und Rohre zur Lackherleitung bedarf es Lösemittel; das Auffangen des Oversprays erfolgt in gleicher Weise wie bei anderen Nasslacksystemen, was Abwasseraufkommen und Lackschlammfall zur Folge hat.

---

Bei einer Prozessumstellung wird in der Regel das Ende der technischen Lebensdauer einer Anlage abgewartet, um eine neue Lackierstrasse zu errichten, die den dann geltenden umweltrechtlichen Anforderungen gerecht wird und sogar geplante Gesetzgebungen antizipiert. Für die Zwischentrocknung der Basislackschicht besteht zusätzlicher Platzbedarf, der in bestehenden Anlagen zu Schwierigkeiten führen kann [DIETZ 1997, MAY 2000B].

#### **2.4.1.2 Pulverlacke**

Pulverlacke sind lösemittelfreie Systeme, die elektrostatische Applikationsverfahren erfordern und eignen sich vorwiegend für Metallkarossen. Derzeit werden nur Pulverklarlacke in der Serienfertigung eingesetzt.

Pulverlacksysteme weisen folgende positive Eigenschaften auf:

- nahezu keine Lösemittelemissionen;
- zum Auffangen der Lackpartikel in der Lackierkabine wird kein Wasser benötigt;
- geringe Abfallentstehung, sofern die Möglichkeit zur Wiedergewinnung des Lacks auch genutzt wird;
- die Wiedergewinnung der Lacke ist technisch möglich (bis zu über 95 %) und aus Kostengründen notwendig;
- hohe Applikationswirkungsgrade;
- der hohe Umluftanteil in der Lackierkabine führt zu einer Senkung des Energieverbrauchs.

Jedoch sind auch einige Nachteile zu verzeichnen:

- die Filmdicke ist schwierig kontrollierbar: In der Regel erhält man höhere Schichtdicken (ca. 65 µm), so dass der Ressourcenverbrauch für Lacknutzung steigt; zunehmend sind jedoch dünnerne Schichten (ca. 55 µm) heutzutage realisierbar;
- höhere Einbrenntemperaturen (ca. 140 - 145 °C) sind erforderlich (daher sind nicht sämtliche Substrate einsetzbar);
- das Applikationsfenster ist eingeengt (Temperatur, Feuchtigkeit);
- eine manuelle Applikation ist nur unter Beachtung gewisser Vorsichtsregeln (gegen Staub, Elektrostatik) möglich. [ACEA 1997, MAY 2000A, B, SEDLMAIER 2000]

In der Pkw-Herstellung in Deutschland ist derzeit eine Anwendung zu verzeichnen<sup>5</sup>: Bei der BMW AG, Werk Dingolfing, wird seit 1997 ein Pulverklarlacksystem auf Acrylat-Basis

---

<sup>5</sup> Im Ausland gibt es ebenfalls erste Erfahrungen mit der Verwendung von Pulverlacksystemen. Bei der Fa. MCC wird als letzte Schicht nur eine einzige 80 µm dicke Pulver-Metallic-Schicht auf Acrylat-Basis direkt auf die KTL-Schicht der Smart-Karossen aufgebracht [NEIS 2001].

eingesetzt. Nach der Zwischentrocknung des wasserverdünnbaren Basislacks werden zunächst die Türen und Türeneinstiege, anschließend die waagerechten und senkrechten Flächen, mit Pulverklarlack im sog. ESTA-Verfahren beschichtet. Die pulvrig weiße Klarlackschicht wird eingearbeitet. In Abbildung 2-9 ist ein Schema des Klarlackbeschichtungssystems aufgeführt.

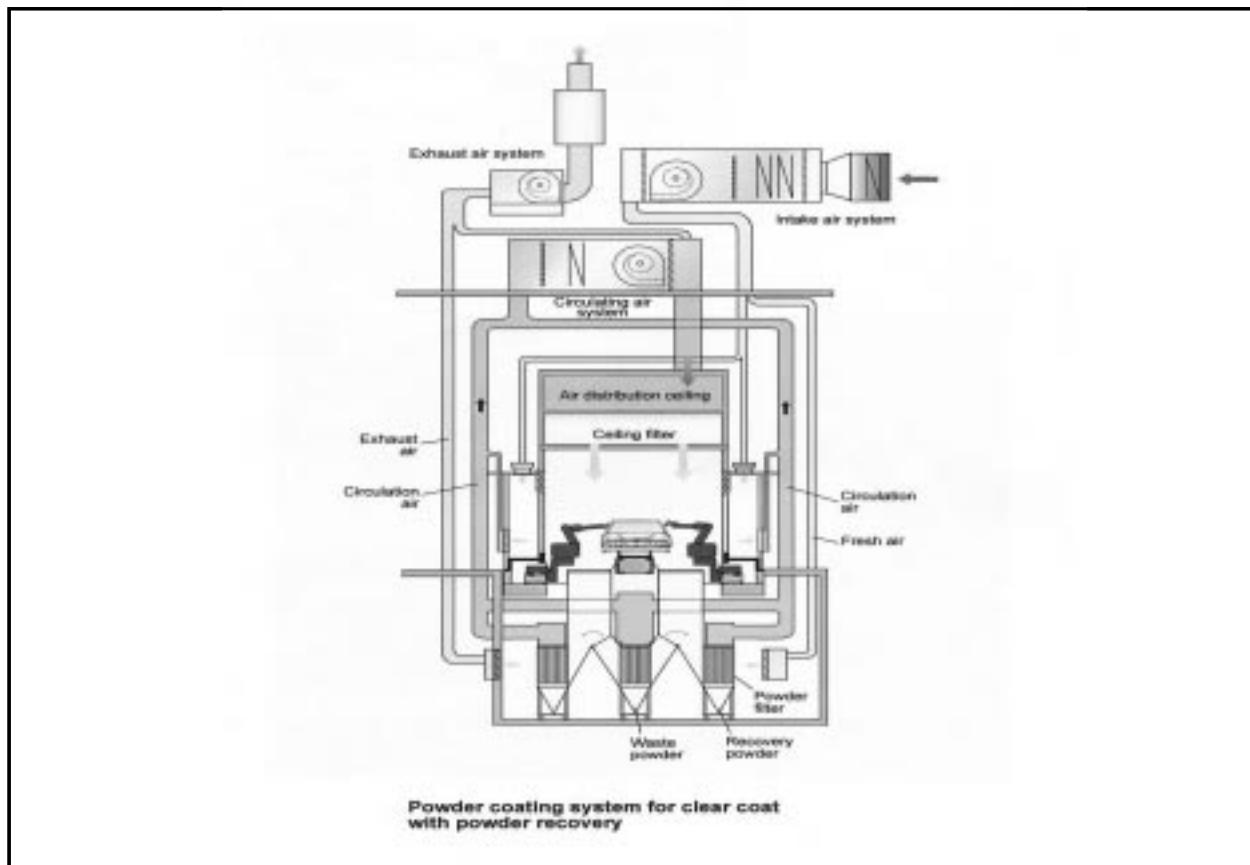


Abbildung 2-9: Schema des Pulverklarlacksystems bei der BMW AG, Werk Dingolfing [SPITZNER 2000]

Durch die Umstellung des konventionellen 2K-Klarlackverfahrens auf die Pulverklarlackanlage ist insbesondere eine Reduzierung der Betriebskosten zu verzeichnen. Derzeit liegen Schätzungen vor, die alleine eine Senkung um mindestens 12 % der Energiekosten angeben. Die Pulverlacktechnik ermöglicht eine geringere Aufbereitung der Kabinenluft, als bei konventionellen Anlagen. Ferner ist das Trocknungsverfahren durch die Kombinationen von Infrarot- und Umlufttrocknung effektiver. Aus diesen zwei Gründen ergeben sich bereits

Kosteneinsparungen durch einen geringeren Energieverbrauch. In Abbildung 2-10 ist ein Vergleich für die Betriebskosten zwischen dem konventionellen 2K-Klarlack und dem Pulverklarlack aufgestellt. [SPITZNER 2000]

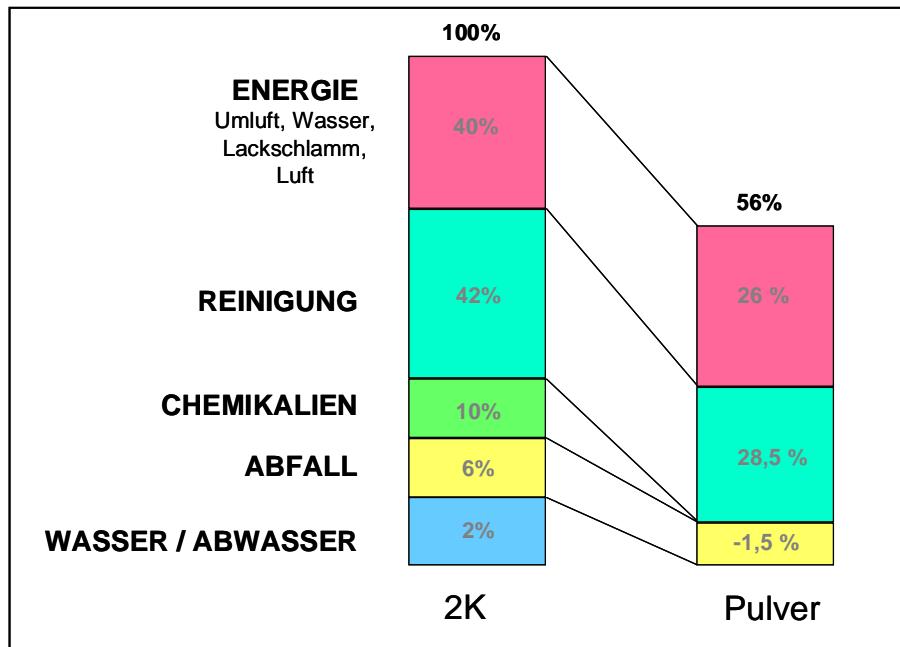


Abbildung 2-10: Betriebskostenvergleich zwischen den konventionellen 2K-Klarlack und dem Pulverklarlack ohne Materialkosten [SPITZNER 2000]

Zudem ist bei der Pulverlacktechnologie kein Auffangen der Overspray-Lackpartikeln durch Wasser notwendig. Daher kann auf Abwasseraufbereitung und auf den Einsatz von Hilfsstoffen (wie z.B. Koagulierungsmittel) verzichtet werden. Im Gegensatz zu der konventionellen 2K-Klarlackierung, bei der organische Lösemittel für die Werkzeugreinigung erforderlich sind, werden sowohl die gesamten Kabinen als auch die Applikationswerkzeuge durch Absaugen mit dem Staubsauger bzw. bei dünnen Filmen durch Abblasen mit Druckluft gereinigt. Damit werden Ressourcen geschont und Lösemittelemissionen vermieden.

Einen gewissen Nachteil dieser Technologie stellt die Schichtdickeproblematik dar. Während die Schichtdicken für konventionelle 2K-Lacksysteme zwischen 35 und 45 µm betragen, sind bei Pulverlacken Schichtdicken um etwa 65 µm üblich. Bei der BMW AG laufen derzeit Versuche, um die Schichtdicke der Pulverklarlackschicht auf 55 µm zu reduzieren. Dies soll planmäßig im Jahr 2002 erreicht werden. Derzeit sind die Preise für das Pulverlackmaterial noch höher als für konventionelle Lacksysteme. Die laufenden Kostenoptimierungsprogramme wie z.B. in den Bereichen Rohstoffe, Herstellung und Dünnschichttechnologie werden dazu führen, dass diese Technologie auch in anderen Anlagen implementiert und zu weiteren Preissenkungen führen wird. In den USA werden heutzutage Recyclingwirkungs-

---

grade für Pulverlacke von nahezu 100 % erreicht. Diese Entwicklung zeichnet sich auch in Europa ab, was zur Zukunftsträchtigkeit der Pulverklarlacktechnologie beiträgt. [SPITZNER 2000]

Weitere Informationen über die Pulverklarlackanlage im Werk Dingolfingen sind in Anhang IV.2 dokumentiert.

#### **2.4.1.3 Einsatz emissionsarmer Auftrags- und Versorgungstechniken**

##### ***2.4.1.3.1 Lackapplikation durch Tauchen***

In der Automobilherstellung ist die optische Qualität der Lackierung von großer Relevanz, und deshalb werden ausschließlich Spritzverfahren für den Auftrag von Füllern und Decklacken eingesetzt. Derzeit wird das Tauchverfahren für den Auftrag der Grundierung (kataphoretische Applikation) verwendet. Bleifreie Elektrotauchlacke können als Stand der Technik bezeichnet werden. Damit ergeben sich niedrige Lösemittel-Emissionen bei gleichzeitig niedrigem Lackverbrauch und somit geringem Abfallaufkommen. [VDI 1996] Das Tauchen stellt das Applikationsverfahren mit dem höchsten Auftragwirkungsgrad dar [MAY 2000B].

##### ***2.4.1.3.2 Elektrostatische Lackapplikation, elektrostatisch unterstützte Lackapplikation***

Eine Verbesserung des Auftragwirkungsgrades führt zu einer Verminderung des Lackverbrauchs und somit zu einer Minderung der VOC-Emissionen. Die Auftragwirkungsgrade für konventionelle Druckluftspritzpistolen ohne elektrostatische Unterstützung betragen 18 - 35 %. Elektrostatische Hochrotationsauftragsverfahren können nur bei automatischen Applikationen eingesetzt werden. Elektrostatische Unterstützung bei pneumatischer oder Airless-Zerstäubung ist auch bei manueller Applikation möglich, jedoch nur wenig effizient [ACEA 1997, MAY 2000B].

Elektrostatische Spritzverfahren basieren auf dem Effekt, dass beladene Lackpartikel von dem entgegengesetzt geladenen Substrat angezogen werden. Folgende Vorteile sind zu nennen [STROHBECK 1997]:

- Geringere Reststoffanfälle,
- geringere Verschmutzung von Lackierkabine, also geringerer Verbrauch von Reinigungslösemitteln,
- Einsparung von Lackierzeit.

---

Beim Einsatz von wasserverdünnbaren Lacksystemen darf der Lack erst nach Verlassen der Applikationsglocke elektrostatisch aufgeladen werden. Darüber hinaus ist eine Verminderung des Auftragswirkungsgrads bis zu 5 % zu verzeichnen, wenn Lacke auf Wasserbasis verwendet werden [MAY 2001A].

Mit elektrostatischer Unterstützung können Auftragswirkungsgrade von 60 - 80 % erreicht werden. Die meisten Automobilhersteller verwenden elektrostatische Spritzapplikationen für automatisierte Vorgänge. Manche Aufträge müssen jedoch weiterhin pneumatisch, manuell oder mittels Roboter erfolgen, wie z.B. der Innenausbau. Oftmals ist im Bereich Basislack nach der elektrostatischen Applikation ein Applikationsvorgang mit konventioneller Druckluftpistole erforderlich, um die gewünschte optische Qualität (Metallic- und Perleffekte) zu erreichen [ACEA 1997].

#### ***2.4.1.3.3 Farbblockbildung***

Die Reinigung der Lackiersysteme und somit sowohl der Reinigungslösemittelverbrauch als auch die Lösemittelemissionen können reduziert werden, wenn mehrere Fahrzeuge nacheinander in der gleichen Farbe lackiert werden. Jedoch muss dazu genügend Speicherplatz für Fahrzeuge sowie ein entsprechendes Produktionsplanungssystem vorhanden sein [ACEA 1997].

#### ***2.4.1.3.4 Molchtechnik***

In der Automobilindustrie hat der Trend zu mehr Sonderfarben die Entwicklung neuer Lackversorgungssysteme, die einen wirtschaftlichen Farbwechsel ermöglichen, ausgelöst, darunter die Molchtechnik. Die Molchtechnik wurde von der Lebensmittel- und Erdölindustrie auf die lackverarbeitende Industrie übertragen. Damit wird nur so viel Lack in das System eingefüllt, wie für den Lackierprozess notwendig ist: Der Lack wird mittels eines elastischen Trennkörpers (Molch) aus der Rohrleitung oder dem Schlauch in die Lackversorgung zurück gedrückt und somit wiedergewonnen. Dabei verläuft die Spülung mit geringem Spülmitteleinsatz. Die Vorteile sind der geringere Spülmitteleinsatz, die Reduzierung von Farb- und Lösemittelverlusten sowie die Verringerung der manuellen Vorgänge beim Farbwechsel [ESSLINGER 2000, SCHOLZ 2000].

---

#### **2.4.1.4 Ergänzende Maßnahmen im Lackierumfeld**

##### ***2.4.1.4.1 Auffangen von Spülverdünner***

Werden unterschiedliche Farben durch das gleiche Spritzsystem geleitet, muss zwischen jedem Farbwechsel eine Reinigung des Spritzsystems erfolgen. Moderne Lackiersysteme verfügen über eine Auffangeinrichtung für die verwendeten Reinigungslösemittel.

#### **2.4.1.5 Maßnahmen zur Verminderung bzw. Vermeidung von Abwasser**

Um die Abwasserentstehung zu vermindern bzw. vermeiden sind die nachfolgenden Maßnahmen zu nennen, die in den deutschen Werken angewendet werden [SCHMIDT 1995]:

- Umstellung auf elektrostatische Lackapplikationsverfahren mit verbessertem Auftragswirkungsgrad;
- Filtrationsmaßnahmen wie z.B. Beutelfilter, Magnetabscheider, Zyklon;
- Kaskadenführung zur Mehrfachnutzung von Prozesswasser der Vorbehandlung;
- Einsatz eines Ionenaustauschers im Bereich Phosphatierung und Passivierung;
- Kreislaufführung z.B. von Wasser aus Nasswäschern;
- Einsatz einer Ultrafiltration.

Die Ultrafiltration und der Ionenaustauscher werden im folgenden kurz erläutert.

##### ***Ultrafiltration***

Die Vorbehandlungsschritte (Entfettung, Phosphatierung, Passivierung, Elektrotauchlackierung) sind besonders wasserverbrauchsintensiv.

Bei der Entfettung, dient daher die Ultrafiltration einer Badpflegemaßnahme, die

- eine höhere Qualität des Entfettungsbades,
- eine Standzeitverlängerung,
- eine Reduzierung des Reinigungsmittelverbrauchs, und
- eine höhere Anlagenverfügbarkeit

ermöglicht.

Ein vereinfachtes Schema der Entfettung ist in Abbildung 2-11 gegeben.

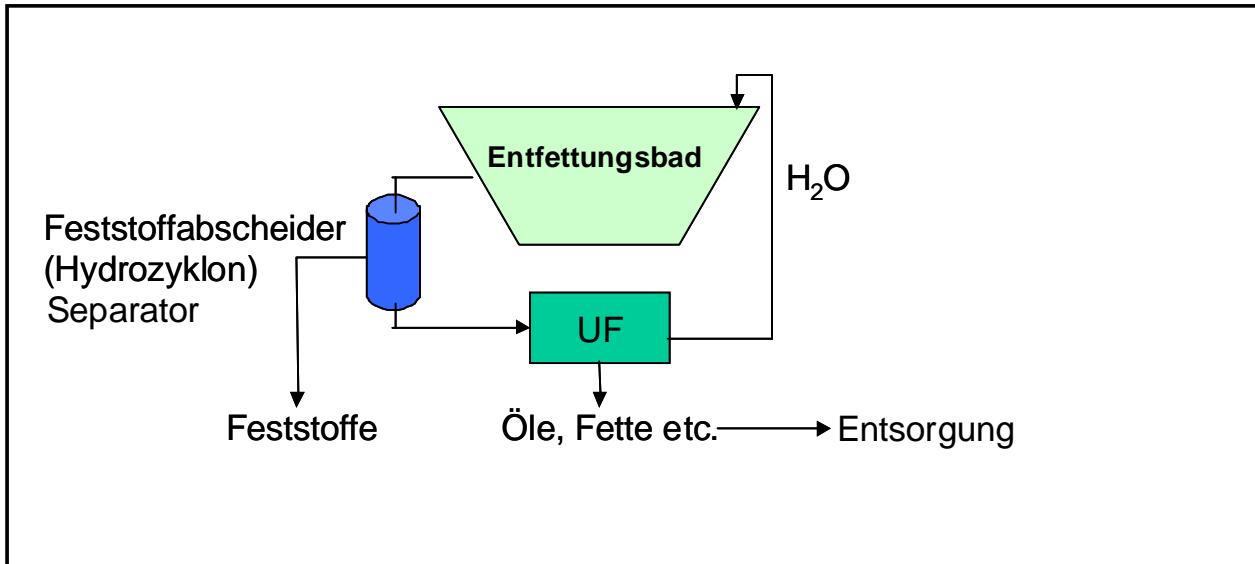


Abbildung 2-11: Schema der Entfettung mit Ultrafiltration (UF) [GRUBER 2001]

Bei der Elektrotauchlackierung kann zum Recycling von Lack- und VE-Wasser, die Ultrafiltration für einen geschlossenen Kreislauf eingesetzt werden. Dabei kann einerseits von der großen Kaskade gefahren werden (1 UF) oder alternativ bei Einsatz einer VE-Spüle diese über eine separate UF gefahren werden. Ein vereinfachtes Schema des KTL-Bereichs ist in Abbildung 2-12 gegeben.

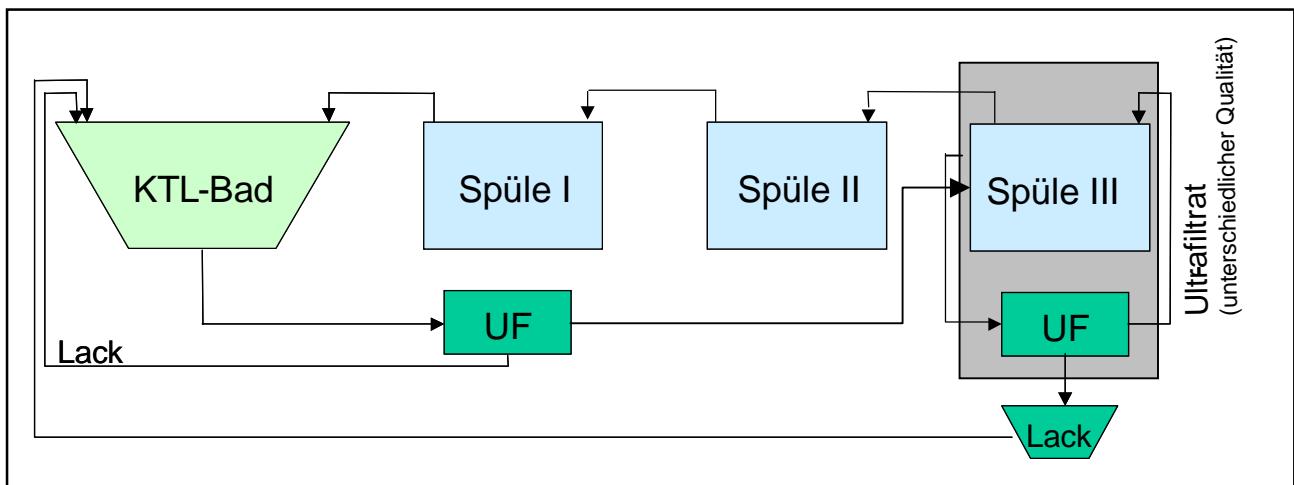


Abbildung 2-12: Schema des KTL-Bereichs mit Ultrafiltration (UF) [GRUBER 2001]

## **Ionenaustauscher**

Ein Ionenaustauscher dient der Badpflege und Wassereinsparung. Bei den Spülvorgängen der Phosphatierung (s.h Abbildung 2-13) und der Passivierung werden

- Abwassermenge und Wasserverbrauch reduziert.
- Allerdings mit höherem Wartungsaufwand und ggf. Beeinträchtigung der Betriebssicherheit bei nicht sachgemäßer Wartung aufgrund Verkeimung und ständigem mechanischem Abrieb (Partikel).

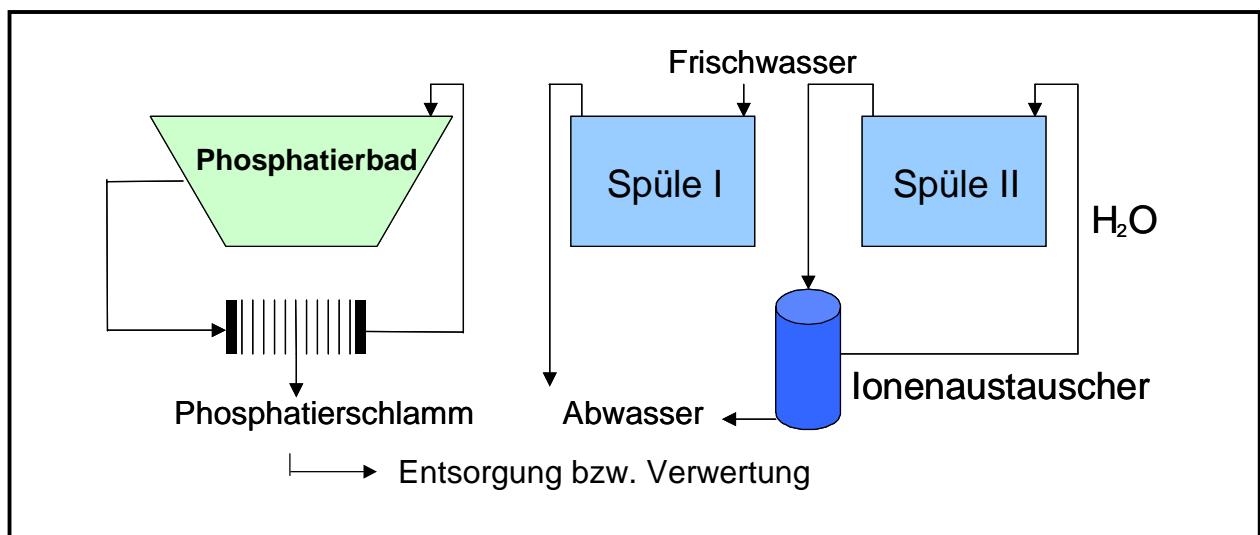


Abbildung 2-13: Schema des Phosphatierbereichs mit Ionenaustauscher [GRUBER 2001]

## **Lackrecycling**

In den vergangenen Jahren wurden in der Lackverarbeitung zunehmend Recyclingverfahren entwickelt, die es erlauben, Lackoverspray beim Spritzlackieren zurückzugewinnen und dem Prozess wieder zuzuführen. Die Technik ist für Wasserlacke grundsätzlich vorhanden, wird aber z. Z. bei den deutschen Herstellern nur teilweise im Füllerbereich angewendet<sup>6</sup>. Verfahrensbedingt ist der Einsatz der Ultrafiltration lediglich für Ein-Komponenten-Wasserlacke möglich; für zweikomponentige Wasserlacksysteme bestehen derzeit keine Anwendungsmöglichkeiten [ONDRTSCHEK 1996].

<sup>6</sup> Eine Anlage zum Füllerrecycling bei der DaimlerChrysler AG im Werk Bremen ist nicht mehr in Betrieb, da das Material nicht mehr appliziert wird [MÜLLER 2001]

---

## ***Wassereinsparende Maßnahmen in der Lackiererei der Opel Eisenach GmbH***

Durch Einsatz von Kreislaufführungen und mehrstufigen Kaskadensystemen in den Spülzonen der Vorbehandlung und der KTL-Anlage konnte in der Anlage der Wasserverbrauch um ca. 70 % auf ca. 3 l/m<sup>2</sup> reduziert werden (vgl. Anhang VII) [UBA 1994]. Die eingesetzten Techniken sind im folgenden skizziert:

### **Entfettung:**

Die Entfettungsbäder werden durch Ultrafiltration entfettet. Die sich anschließenden Spülzonen werden mit Umkehrosmose-Wasser kaskadenförmig durchströmt, wobei der Überlauf der ersten Spüle in das Entfettungsbadegeleitet wird.

### **Spülung der Karossen nach Phosphatierung und Passivierung:**

Die Spülung der Karossen nach der Phosphatierung sowie nach der Passivierung erfolgen jeweils über zwei Stufen: Das abfließende Wasser aus der Vorbehandlung wird durch Fällung, Flockung und Ionenaustausch aufbereitet und im letzten Spülbad erneut verwendet.

### **KTL-Zone**

Das Freispülen der beschichteten Karosse vom lose anhaftenden Lack nach dem Austauchen aus dem KTL-Becken erfolgt mit Filtrat, welches über eine Ultrafiltrationsanlage aus dem KTL-Lackmaterial gewonnen wird. Die Spülung wird dabei über Spritz- und Tauchspülen realisiert. Das ablaufende Wasser aus dem ersten Spülring wird dem KTL-Becken zugeleitet und somit ein geschlossener Kreislauf erreicht. Die letzte Spüle wird mit vollentsalztem Wasser betrieben. Der Überlauf fließt als Abwasser ab.

### **Spritzkabinen**

Durch Lackkoagulierung kann eine vollständige Kreislaufführung der Kabinenumwälzwassers erreicht werden. Als Abfall fällt schlammförmiges Koagulat an. Abwässer entstehen nicht. Verdunstungsverluste werden durch Wasser aus der Umkehrosmose aus der Entfettung ergänzt.

### **2.4.1.6 Maßnahmen zur Verminderung bzw. Vermeidung von Abfällen**

Einsetzbare Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verwertung von Abfällen aufgegliedert nach Abfallarten sind in Tabelle 2-8 und Tabelle 2-9 zusammengefasst aufgeführt.

Tabelle 2-8: *Vermeidung von Abfällen, aufgegliedert nach Abfallarten, in der Fahrzeugserienlackierung* [LAI 2000]

| <b>Einsetzbare Maßnahme</b>   | <b>Voraussetzung für die Vermeidung</b>  | <b>Realisierungsgrad</b>   | <b>Vermeidungsgrad</b>  |
|---|--|--|---|
| <b>Verbrauchte und verunreinigte Lösemittel</b>                       |  |  |   |
| Umstellung von organischen Lösemitteln auf wässrige Reiniger          | Beeinträchtigung des Lackierprozess muss vermieden werden  | Bereits erprobte Maßnahme bei der Vorbehandlung (Entfettung) und für Lackschichten auf Wasserbasis   | Eine vollständige Vermeidung ist derzeit noch nicht möglich, da noch lösemittelhaltige Lacksysteme verwendet werden |
| Einsatz lösemittelarmer bzw. -freier Lacksysteme                      | Anpassung der Lackierumgebung (Edelstahlausrüstung), Beeinträchtigung des Lackierprozess muss vermieden werden | Bereits durchgeführt in zahlreichen Anlagen für verschiedene Lackschichten   | Deutliche Reduzierung des Anfalls an verunreinigten Lösemitteln   |
| Kreislaufführung der Lösemittel mit Rückgewinnung durch Destillation  | Trennung leicht trennbarer Lösemittel von schwer trennbaren Lösemitteln bzw. Lösemittelgemischen               | Bereits eingesetzt in einigen Anlagen, jedoch externe Rückgewinnung und die Lösemittel werden nicht direkt wieder verwendet aufgrund unzureichender Qualität bzw. Vorsichtsprinzip | Rückgewinnungsraten zwischen 60 und 90 % der eingesetzten Lösemittelmengen  |
| <b>Lackreste, Altlacke</b>  |  |  |   |
| Produktplanung mit geringer Anzahl an Farbwechseln                    | Nur für Spritzverfahren bei der Lackapplikation  | Relativ einfache organisatorische Maßnahme, die bereits nahezu in sämtlichen Anlagen realisiert ist  | Hoch  |
| <b>Lackschlämme</b>   |  |  |   |
| Steigerung des Lacknutzungsgrades durch Optimierung der Steuerung der | Automatisierung der Lackieranlage  | In der Mehrheit der Anlagen sind derartige Maßnahmen bereits   | 10 bis 20 % beim Overspray  |

| <b>Einsetzbare Maßnahme</b>  | <b>Voraussetzung für die Vermeidung</b> | <b>Realisierungsgrad</b>  | <b>Vermeidungsgrad</b>     |
|--|---|---|----------------------------|
| verwendeten Spritzlackiertechnik, z.B.<br>- Erniedrigung des Zerstäubungsdruckes<br>- Anpassung der Spritzgeräte an die Fahrzeuggeometrie<br>- korrekter Spritzabstand |   | umgesetzt. Jedoch bedeuten solche Maßnahmen relativ hohe Investitionen, daher erfolgen diese Verbesserungen bzw. Optimierungen in der Regel erst beim Bau einer neuen Lackierstraße |                            |
| Einführung von elektrostatischen Spritzverfahren   |   | Für die Fahrzeugaussenlackierung eingeführt. Für die Innenlackierung bisher teilweise realisiert.   | 10 bis 50 % beim Overspray |
| <b>Verbrauchte Adsorptionsmittel</b>   |   |   |                            |
| Interne Regeneration der Adsorptionsmittel (Desorptionsvorgang)  | Ausreichend hoher Lösemittelanfall      | Im Einzelfall Wirtschaftlichkeit prüfen. In der Regel wird in der Autoserienlackierung aufgrund geringer Lösemittelkonzentrationen der Adsorption eine TNV nachgeschalten           | Hoch                       |

Tabelle 2-9: **Verwertung von Abfällen, aufgegliedert nach Abfallarten, in der Fahrzeugserienlackierung [LAI 2000]**

| <b>Einsetzbare Maßnahme</b>   | <b>Voraussetzung für die Verwertung</b>   | <b>Einsetzbarkeitsgrad</b>   | <b>Schadlosigkeit</b> |
|---|---|--|-----------------------|
| <b><i>Lackschlämme aus dem Overspray</i></b>  |   |  |                       |
| Stoffliche Verwertung durch Aufbereitung zu Neulack oder zu Grundstoffen für die Lackherstellung (Rückgewinnung und Wiederverwendung von Bindemitteln, Pigmenten, etc.) | Anwendung lediglich bei Ein-Komponentenlacksystemen<br><br>Unter Umständen getrennte Erfassung der abgeschiedenen Lacken<br><br>Verwendung von Koagulier-chemikalien, die keine chemische Veränderung des Bindemittels bewirken | Grundsätzlich einsetzbar   | Schadlos              |
| <b><i>Lackschlämme aus dem KTL-Bad</i></b>  |   |  |                       |
| Aufarbeitung zu Neulack beim Lackhersteller   | Vermeidung der Austrocknung   | Einfache technische und organisatorische Maßnahme, zudem keine Gemische anfallen | Schadlos              |
| Externe Regenerierung   |   | Grundsätzlich einsetzbar   | Schadlos              |

---

## **2.4.2 Einsatz nachgeschalteter Verfahren**

Die nachfolgend beschriebenen nachgeschalteten Verfahren werden derzeit standardmäßig in der Serienlackierung von Automobilkarossen eingesetzt.

### **2.4.2.1 Primärabscheidung der Lackpartikel**

Eine Primärabscheidung der Lackpartikel ist erforderlich, um den sicheren Betrieb der Gesamtanlage zu gewährleisten, eine Umluftführung zu ermöglichen und die arbeits- und umweltschutzrechtlichen Rahmenbedingungen einzuhalten. Diese Technik besteht darin, den Bereich unter der Spritzkabine vollständig mit Wasser zu benetzen; dabei werden Wassertropfchen und Abluft gemeinsam in einem Venturi-System so beschleunigt, dass es zu einer intensiven Vermischung von Abgas und Tröpfchen kommt. Damit wird eine Partikelabscheidung von über 99 % erreicht und einen Restpartikelgehalt in der Abluft von < 3 mg/m<sup>3</sup> sicherstellt. [VDI 1996]

### **2.4.2.2 Sekundärabscheidung der Lackpartikel**

Die Sekundärabscheidung dient der Vorbehandlung zur Lösemittelaufkonzentrierung. Der zulässige Restpartikelgehalt hängt davon ab, ob die gereinigte Abluft der Spritzkabine direkt einer Abgasreinigungsanlage zugeführt wird. Zur Nachabscheidung von Lackpartikeln nach Venturi-Wäschern, insbesondere bei Umluftführung mit dem Ziel der Lösemittelrückgewinnung oder zum Schutz von nachfolgenden Anlagenteilen (Rotor, Wärmetauscher), können zusätzliche Lackpartikelabscheider erforderlich werden. Trockenfilter haben sehr gute Abscheidegrade, zeigen jedoch für die Abscheidung von klebrigem Lacknebel deutlich kürzere Standzeiten als für andere Stäube, und erfordern somit einen hohen Wartungsaufwand. In der Praxis hat sich der Sprudelboden-Wäscher durchgesetzt. Die Lackpartikel werden in luftdurchströmten Wäschervorlagen durch intensive Vermischung von Abluft mit Wasser abgeschieden. Die Lackpartikel werden damit um weitere 90 % abgeschieden. Weiterhin können Nass-Elektrofilter bei der Abscheidung von Lacknebel eingesetzt werden. Lacktröpfchen werden in einem elektrostatischen Feld aufgeladen und wandern zu den wasserbenetzten Niederschlagelektroden. [VDI 1996]

### **2.4.2.3 Lösemittelaufkonzentrierung als Vorstufe zur Abscheidung**

In der Automobilserienlackierung sind niedrige Lösemittel-Konzentrationen in großem Abluftvolumenstrom üblich. Daher ist eine Lösemittelaufkonzentrierung für eine wirtschaftliche Abscheidung erforderlich. [VDI 1996]

---

### ***Innere Aufkonzentrierung***

Eine innere Aufkonzentrierung der Lösemittel besteht darin, die Spritzkabinenluft nach hinreichender Partikelabscheidung und Entfeuchtung wieder in die Spritzkabine zurückzuführen; in der Spritzkabinenluft steigt die Lösemittelkonzentration. Nur ein geringer Teilstrom der Rezirkulationsmenge wird ausgetragen; diese konzentrierte Abluftmenge kann durch die im folgenden beschriebenen Abgasreinigungsverfahren (Abschnitt 2.4.4.5) wirtschaftlich entsorgt werden. Aufgrund der erhöhten Lösemittel-Konzentration ist dieses Verfahren nur für automatisierte Systeme geeignet.

### ***Äußere Aufkonzentrierung***

Die Aufkonzentrierung von Lösemitteln kann ebenso durch kontinuierliche Kreislaufführung der Spritzkabinenluft über einen Rotor erfolgen. Als Adsorptionsmaterialien werden z.B. Kohlefaserpapier, Zeolithe und Aktivkohle eingesetzt. Dabei wird eine Übertragung der Lösemittelfracht in einen externen Heißluftstrom im Verhältnis 1:6 bis 1:20 (je nach Rohgaskonzentration) erreicht. Dieser vergleichsweise geringe Abluftvolumenstrom kann wirtschaftlich entsorgt werden.

#### **2.4.2.4 Thermische Nachverbrennung (TNV)**

In der Automobilindustrie werden lediglich die thermische und thermisch-regenerative Nachverbrennung eingesetzt. (Je nach Ausführung des Wärmetauschers werden rekuperative und regenerative Verfahren unterschieden (vgl. Anhang 5). Zur Minimierung der Wärmeverluste und somit der Energiekosten, wird die TNV oftmals in die Trocknerbeheizung integriert. Die bei der TNV freiwerdende Wärme kann den Heißluftschleusen der Trocknungsanlage indirekt zugeführt werden. Reingaswerte von 10 mg C/m<sup>3</sup> werden erreicht [MEHLIS 2001].

Weitere Informationen über Maßnahmen zur Verminderung von Lösemittelemissionen sind in Anhang V gegeben.

## **2.5 Vorschlag der besten verfügbaren Techniken**

Bei der Auswahl der besten verfügbaren Techniken für die Automobilserienlackierung, sind einige Anforderungen hinsichtlich Korrosionsschutz und Optik als auch Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit sowie Prozesssicherheit zu beachten. Eine Studie der verschiedenen realisierten Lackierkonzepte wurde von Piwowarczyk mit Hilfe der ganzheitlichen Bilanzierung mit dem Softwaretool GaBi® angefertigt (vgl. Anhang VI.II). [PIWOWARCZYK 2000]. Da diese Studie, nach Aussagen von Branchenexperten, jedoch von

theoretischen Anlagenkonstellationen ausgeht, die in realen Anlagen nicht verwirklicht sind, werden die Ergebnisse dieser Arbeit nicht für die Auswahl der besten verfügbaren Techniken verwendet.

Als beste verfügbare Techniken für die Automobilserienlackierung können lackspezifische Techniken, als auch Verfahrensspezifische Techniken ausgewählt werden:

### **Lackspezifische Techniken:**

Für den Bereich der Fahrzeuggrundierung können die heute eingesetzten, wasserbasierten, bleifreien Elektrotauchlacke auf Grund der geringen Lösemittelgehalte und der hohen Materialausnutzung, zusammen mit der Chrom-IV freien Passivierung, als etablierte beste verfügbare Technik bezeichnet werden. Beim Auftrag der Grundierung weist die kataporethische Applikation den größten Auftragswirkungsgrad auf.

In Tabelle 2-10 sind die derzeit realisierten fortschrittlichsten Lackierprozesse (Lackierkonzepte A – D), die heute in der PKW-Serienlackierung für den Auftrag von Füller, Basislack und Klarlack angewendet werden, als Vorschlag für die besten verfügbaren Techniken, aufgelistet. Diese Lackierprozesse unterschreiten Lösemittelemissionen von 35 g/m<sup>2</sup>.

Tabelle 2-10: Beste verfügbare Techniken für die PKW-Serienlackierung in Deutschland

| Lackier-konzept | Füller |            | Basislack<br>(uni / metallic) | Klarlack   |                            |                                   |
|-----------------|--------|------------|-------------------------------|------------|----------------------------|-----------------------------------|
|                 | Wasser | Lösemittel | Wasser                        | Lösemittel | lösemittel- arm bzw. -frei |                                   |
| A               | ■      |            | ■                             |            | ■                          | wasserverdünbarer Lack            |
| B               |        |            | ■                             |            | Pulverslurry               | Lösemittellack                    |
| C               |        | ■          | ■                             |            | Pulver                     | lösemittelarmer- oder freier Lack |
| D               | ■      |            | ■                             | ■          |                            |                                   |

Der Lackierprozess A mit Verwendung von wasserbasiertem Klarlack führt zu einer starken Reduktion der VOC-Emissionen, im Vergleich zu konventionellen Verfahren mit lösemittelhaltigen Produkten. Durch geeignete Verfahren ist eine Recycling des Oversprays möglich.

Durch die Kombination von Wasserbasislack und Pulverslurry (Funktionsschicht) im Prozess B, werden sehr geringe VOC-Emissionen erreicht. Durch die Nass in Nass-Lackierung von Basislack und Pulverslurry, entfällt eine energieaufwendige Zwischentrocknung.

---

Die Applikation von Pulverklarlack, im Prozess C, führt zu Energieeinsparung von mehr als 10 % im Vergleich zum konventionellen 2K-Klarlack. Das Pulverlacksystem erzeugt kein Abwasser und keine VOC-Emissionen. Der Overspray kann recycelt werden. Der derzeit eingesetzte, lösemittelbasierte Füller wird bis zum Jahr 2003 durch wasserbasierte Produkte ersetzt.

Der Wasserlackprozess mit konventionellem Klarlack, Prozess D, ermöglicht durch Kombination von wasserbasiertem Füller und Basislack eine wirksame Reduktion der VOC-Emissionen.

Innerhalb dieser besten verfügbaren Techniken sind die nachfolgend aufgeführten verfahrensspezifischen Technologien geeignet, die Umweltbelastungen weiter zu verringern:

**Verfahrensspezifische Techniken:**

- Lackauftrag mit einem hohen Anteil an elektrostatischer Applikation
- Reduktion von Farbwechselverlusten (Molchtechnik)
- Optimierung von Schichtdickenprofilen
- Chrom(VI)-freie Passivierung
- Badpflegemaßnahmen durch Ultrafiltration bei der Entfettung und KTL der Rohkarossen
- Einsatz von Ionenaustauschern bei der Phosphatierung und Passivierung

## 2.6 Neue fortschrittliche Verfahren

Für die Zukunft sind fortschrittliche Produkte in Form von verbesserten wasserverdünnbaren 1K- und 2K-Klarlacksysteme als auch "very high solid" 2K-Klarlacksysteme (mit einem Festkörperanteil von bis zu 90 Gew.-%) zu erwarten [MAY 2001A]. Auch ein Einsatz von Pulverdecklack in größerem Umfang zeichnet sich ab. So plant beispielsweise DaimlerChrysler in den USA ab 2004 den Jeep Wrangler vollflächig mit Pulverlack zu beschichten [NEIS 2001]. Nach Angaben von Lackherstellern ist bereits eine Vielfalt von pigmentierten Decklacksystemen auf Pulver-Basis verfügbar, die sich jedoch noch nicht im Serieneinsatz befinden.

Ein weiteres fortschrittliches Verfahren stellt das Low Cost Conversion Concept (LCCC, vgl. [MAY 2001B]) dar, bei dem der lösemittelhaltige Basislack auf wasserverdünnbaren Basislack, mit relativ geringen technischen Aufwand, (im Vergleich zu einer Neuerrichtung) umgestellt werden kann. Dabei weisen die entwickelten Basislacksysteme für das LCCC ähnliche Eigenschaften wie wasserverdünnbare Systeme auf. Für die Umstellung von lösemittelhaltigen auf wasserverdünnbaren Basislack ist der Ersatz der Lackversorgung, die Anpassung der Klimatisierung und der Applikationsgeräte (in der Regel Hochrotationsglocken) und ggf. eine Anpassung des bestehenden Trockners notwendig. Ein erster

---

Serieneinsatz hat gezeigt, dass der Energieverbrauch bei dem LCCC geringer ist, als beim Einsatz von konventionellen lösemittelhaltigen Basislacksystemen, mit oder ohne Abluftreinigung bei der Spritzkabine, und beim Einsatz von konventionellen wasserverdünnbaren Basislacksystemen (kein Infrarot-Trockner erforderlich). Eine Beschränkung bei Einsatz dieses Konzeptes stellt allerdings die nachfolgende Lackschicht dar: Versuche haben gezeigt, dass mit einem 2K-Klarlack gute Ergebnisse in Bezug auf die Oberflächenqualität erzielbar sind, während bei 1K-Klarlacksystemen noch einige Qualitätsmängel (z.B. Schleier) auftreten können.

Eine weitere Entwicklung weist auf einen zunehmenden Anteil an fertig lackierten Coil Coating-Teilen hin [MAY 2001A], sodass bestimmte Lackierprozesse nicht mehr beim Automobilherstellerdurchgeführt werden<sup>7</sup>.

Weiterhin ist eine Reduktion der Lackschichten zu erwarten, indem Füller und Basislack in einer Lackschicht vereint werden. Auf diesem Wege würden Ressourcen eingespart bei gleichzeitiger Steigerung der Umweltfreundlichkeit des Lackierprozesses (Minderung der Lösemittemissionen, des Abwasser- und Abfallanfalls, Reduzierung des Energieverbrauchs). Ein erster Schritt in diese Richtung ist bereits implementiert worden: Durch den Einsatz von farbgebenden Füllern bei der BMW AG, kann im Fahrzeuginnenbereich ganz auf die Basislackschicht verzichtet werden.

Bei den Erläuterungen neuer fortschrittlicher Verfahren sind Lacksysteme auf Polyurethan-Basis zu nennen. Diese Lacke können bereits bei Temperaturen unter 100 °C eingearbeitet werden. Dies ermöglicht die Lackierung von Metallkarosserien und Kunststoffanbauteilen in einem einzigen Lackierprozess. Eine derartige sog. "Inline"-Lackierung würde das Problem der Farbtonanpassung zwischen Metallkarosse und wagenfarbigen Kunststoffteilen lösen. Die Palette an PUR basierten Lacksystemen ist für alle Schichten des Lackaufbaus verfügbar, vom Füller bis zum Decklack sowie bei der Schalldämmung und im Unterbodenschutz. Die niedrigen Einbrenntemperaturen ermöglichen die Verwendung einer breiten Palette von Kunststoffen. [PETZOLD 2001]

Eine Übersicht über fortschrittliche und beste verfügbare Techniken, sowohl im Serieneinsatz als auch in der Entwicklung, zur Minderung der Umweltbelastungen ist in Tabelle 2-11 dargestellt.

---

<sup>7</sup> Eine ausführliche Beschreibung der Prozesse der Coil-Coatingindustrie findet sich in Kapitel 6.

Tabelle 2-11: Fortschrittliche Verfahren und beste verfügbare Techniken in der Pkw-Serienlackierung in Deutschland [GRUBER 2001]

| Fortschrittliches<br>Verfahren                                    | Status         | Einsatz<br>Datum | Realisierung<br>in<br>Neu-<br>anla-<br>gen |                      | Betroffener<br>Bereich  | Vorteile gegenüber dem aktuellen Stand der Technik                                       |                                  |   |  |   |
|---|----------------|------------------|--|----------------------|---|--|----------------------------------|---|--|---|
|   |                |                  | Neu-<br>anla-<br>gen                       | Alt-<br>anla-<br>gen |   | Luft   | Wasser                           | Abfälle   | Energie  | Sonstiges/<br>Bemerkungen   |
| <b>1K-Wasser-klarlack</b>   | Serien-einsatz | 1991             | X  |                      | Klarlack  | Reduzierung der Lösemittelemissionen auf ca. ein Drittel                                 |                                  |   |  |   |
| <b>Pulverklarlack</b>   | Serien-einsatz | 1997             | X  |                      | Klarlack  | Reduzierung der Lösemittelemissionen auf (nahezu) Null                                   | Kein Abwasser                    | Durch Direkt-Recycling nahezu keine Entsorgung von Overspray erforderlich | Energie-einsparung durch Luftrecycling und geringere Luftsinkgeschwindigkeiten |   |
| <b>Pulverslurry-Klarlack</b>                                      | Serien-einsatz | 1997             | X  |                      | Klarlack  | Reduzierung der Lösemittelemissionen auf (nahezu) Null.                                  |                                  |   |  |   |
| <b>Funktionsschicht</b><br>(vgl. Prozess 2, S. 23, Abbildung 2-4) | Serien-einsatz | 1997             | X  |                      | Füller und Basislack kombiniert in einem Material (UBA-Bmbf-Projekt)                      | Keine CO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> / CO-Emissionen durch Entfall des Füllertrockners | Weniger zu behandelndes Abwasser | Weniger Lackschlamm   | Reduzierung durch Entfall des Füllertrockners                                  | Ressourcen-schonung durch Reduzierung der Schichtdicke von Füller/Basislack um ca. 20-30% |
| <b>Basislack-applikation nur mit Elektrostatik</b>                | Serien-einsatz | 1997             | X  | X                    | Basislack, Ersatz des druckluft-unterstützten Spraymates (nicht bei allen Farben möglich) | Reduzierung der Basislack-Lösemittellemissionen  |                                  | Verminderung des Basislack-Oversprays                                     |  | Ressourcen-schonung durch Erhöhung des Auftrags-wirkungsgrades                            |
| <b>Organisch vorbeschichtete</b>                                  | Serien-einsatz | 1997             | X  | X                    | Feinabdichtung, Hohlraum-   | Eventuell geringfügige Reduzierung der   |                                  |   | Reduzierung durch Entfall der  | Reduzierung des PVC-Verbrauchs  |

| Fortschrittliches<br>Verfahren                     | Status         | Einsatz<br>Datum | Realisierung<br>in   |                      | Betroffener<br>Bereich   | Vorteile gegenüber dem aktuellen Stand der Technik       |                                  |  |   |   |
|--|----------------|------------------|----------------------|----------------------|--|--|----------------------------------|--|---|---|
|  |                |                  | Neu-<br>anla-<br>gen | Alt-<br>anla-<br>gen |  | Luft   | Wasser                           | Abfälle  | Energie   | Sonstiges/<br>Bemerkungen   |
| Bleche, schweißbar                                 |                |                  |                      |                      | konservierung  | Lösemittelemissionen                                     |                                  |  | Aufheizung von Material und/oder Karosserie   |   |
| Füller in Fahrzeugfarbe                            | Serien-einsatz |                  | X                    | X                    | Basislack und Klarlack im Bereich der Innenraum-lackierung                   | Reduzierung der Lösemittelemissionen                     |                                  |  |   | Decklackappli-kation bei geschlossenen Anbauteilen  |
| Niedertemperaturprozess                            | Entwick-lung   |                  | X                    | X                    | Füller, Basislack und Klarlack   |  |                                  |  | Reduzierung durch niedrigere Einbrenn-temperaturen (Potential nur bei Neuanlagen nutzbar) | Erweiterte Möglichkeit zur Inline-Lackierung von Kunststoffen und ggf. Entfall separater Lackieranlagen |
| High-Solid Klarlack<br>(Festkörpergehalt 80 Gew %) | Entwick-lung   |                  | X                    | X                    | Klarlack   | Reduzierung der Lösemittelemissionen                     |                                  |  |   |   |
| 2K-Wasser-klarlack                                 | Entwick-lung   |                  | X                    | X                    | Klarlack   | Reduzierung der Lösemittelemissionen auf ca. ein Drittel |                                  |  |   |   |
| Organisch vorbeschichtete Bleche, nicht schweißbar | Entwick-lung   |                  | X                    |                      | Konstruktion, Rohbau, Vorbehandlung, KTL-Grundierung, Hohlraum-konservierung | Reduzierung der Basislack-Lösemittel-emissionen          | Weniger zu behandelndes Abwasser | Weniger Abfälle aus VBH, KTL, Hohlraum-konservierung | Reduzierung durch Entfall von Anlagen   |   |

| Fortschrittliches<br>Verfahren | Status           | Einsatz<br>Datum | Realisierung<br>in   |                      | Betroffener<br>Bereich | Vorteile gegenüber dem aktuellen Stand der Technik |        |         |         |                           |
|--------------------------------|------------------|------------------|----------------------|----------------------|------------------------|--|--------|---------|---------|---------------------------|
|                                |                  |                  | Neu-<br>anla-<br>gen | Alt-<br>anla-<br>gen |                        | Luft   | Wasser | Abfälle | Energie | Sonstiges/<br>Bemerkungen |
| LCCC                           | Entwick-<br>lung |                  |                      |                      |                        |  |        |         |         |                           |

---

## **2.7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen**

Fahrzeuge dürfen nach der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge 2000/53/EG kein sechswertiges Chrom mehr enthalten. Die Passivierung wurde daher bereits in einigen Anlagen umgestellt.

Im Bereich der Fahrzeuggrundierung sind heute wasserverdünnbare, bleifreie Elektrotauchlacke Stand der Technik. Der bei der Serienlackierung von PKW heute überwiegend eingesetzte Wasserlackprozess mit konventionellem lösemittelhaltigem Klarlack, stellt durch die Verwendung von wasserbasiertem Füller und Basislack eine verfügbare Verfahren zur Reduktion der VOC-Emissionen dar. Eine weiter reichende Verminderung der VOC-Emissionen ist vor allem durch die Substitution konventioneller Klarlacke möglich. Derzeit sind in einigen Werken bereits wasserverdünnbare Klarlacke, Pulverlacke oder Pulverslurry im Serieneinsatz. Die Pulver-Klarlacke bieten neben der Vermeidung von VOC-Emissionen und Abwasser, den Vorteil der Energieeinsparung und der Möglichkeit des Oversprayrecyclings. Zur Reduzierung der Lackeinsatzmengen und Emissionen werden überwiegend elektrostatische Applikationsverfahren eingesetzt.

Neben der Substitution lösemittelhaltiger Lacke können durch die Reduktion von Farbwechselverlusten z.B. durch die Molchtechnik oder Farbboxbildung die Mengen an Farbabfällen und Reinigungslösemitteln deutlich reduziert werden. Neuere Entwicklungen zielen auf die Reduzierung der Lackschichten. Außerdem werden die Lackierprozesse zu den Zulieferbetrieben verlagert.

---

## **Quellenverzeichnis**

### **[2000/53/EG]**

RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: *EU-Richtlinie 2000/53/EG über Alt Fahrzeuge*, in: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 21.10.2000

### **[ACEA 1997]**

ASSOCIATION DES CONSTRUCTEURS EUROPÉENS DE L'AUTOMOBILE:  *Beitrag der europäischen Automobilindustrie zur Vorbereitung des Göteborg-Protokolls*, Persönliche Mitteilungen, 1997

### **[BAUMGÄRTNER 1996]**

BAUMGÄRTNER, O.: *Rückgewinnung von Wasserlackoverspray mittels Kombination aus und Vakuumverdampfung*, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), im Auftrag der Abfallberatungsagentur Baden-Württemberg, Stuttgart, August 1996

### **[BAUMGÄRTNER 1999]**

BAUMGÄRTNER, O.: *Pilotanlage zum Recycling von Hydrofüller bei der Serienlackierung von Karosserien*, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), im Auftrag der Abfallberatungsagentur Baden-Württemberg, Stuttgart, Januar 1999

### **[BROCK 1998]**

BROCK, T.; GROTEKLAES, M.; MISCHKE, P.: *Lehrbuch der Lacktechnologie*, Vincentz-Verlag, Hannover, 1998

### **[CHEM 2000]**

CHEM RESEARCH GMBH.: *Der Deutsche Markt für Farben und Lache 1999*, Ausarbeitung der Jahresstatistik im Auftrag des Verbandes der Lackindustrie, Frankfurt/Main, August 2000

### **[DIETZ 1997]**

DIETZ, T.A.: *Industrielle Wasserlacke und ihre besonderen Verarbeitungsbedingungen*, in: Taschenbuch für Lackierbetriebe, 54. Edition, Hannover, 1997

### **[MEHLIS 2000]**

MEHLIS, H. (EISENMANN): Persönliche Mitteilungen September 2001

### **[ESSLINGER 2000]**

ESSLINGER, S. (DÜRR INLAC GMBH): *Molch spart Kosten und Zeit beim Farbwechsel*, in: Besser Lackieren, Nr. 16, Oktober 2000

### **[GABI 2001]**

PE-PRODUCT ENGINEERING GMBH: *GaBi 3 Software System*, in: Internet-Seite [www.gabi-software.de](http://www.gabi-software.de), 2001

### **[GAUDIOSO 1996]**

GAUDIOSO, D.; BRINI, S.: SNAP 06 01 01, in: UN/ECE-EMEP-CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook, Version 1.5, February 1996

### **[GRUBER 2000A]**

GRUBER, M. (VOLKSWAGEN AG): *Persönliche Mitteilung*, Juli 2000

---

**[GRUBER 2001]**

GRUBER, M. (VOLKSWAGEN AG): *Persönliche Mitteilung*, März 2001

**[LAI 2000]**

LAI: *Musterverwaltungsvorschrift zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen nach §5 Abs. 1 Nr.3 BImSchG bei Anlagen nach Nr. 5.1 (neu), Spalte 1 und 2a des Anhangs zur 4. BimSchV (hier: Lackierereien und Druckereien)*, Juli 2000

**[MAY 2000A]**

MAY, T. (DUPONT PERFORMANCE COATINGS, WUPPERTAL): *Persönliche Mitteilung*, März 2000

**[MAY 2000B]**

MAY, T. (DUPONT PERFORMANCE COATINGS, WUPPERTAL): *Persönliche Mitteilung*, Juli 2000

**[MAY 2001A]**

MAY, T. (DUPONT PERFORMANCE COATINGS, WUPPERTAL): *Persönliche Mitteilung*, Februar 2001

**[MAY 2001B]**

MAY, T. (DUPONT PERFORMANCE COATINGS, WUPPERTAL): *Persönliche Mitteilung*, März 2001

**[MÜLLER 2000]**

MÜLLER, K. (DAIMLERCHRYSLER AG, WERK RASTATT): *Persönliche Mitteilung*, Juli 2000

**[NEIS 2001]**

NEIS, S. (WÖRWAG LACK- UND FARBENFABRIK GMBH & Co. KG, STUTTGART): *Acrylatpulverlacke - Vom „Enfant terrible“ zum Musterknaben*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, März 2001

**[ONDRTSCHEK 1996]**

ONDRTSCHEK, D.: *Ultrafiltrationstechnologie zur Rückgewinnung von Wasserlack-Overspray*, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), im Auftrag der Abfallberatungsagentur Baden-Württemberg, Stuttgart, März 1996

**[PERIZONIUS 1994]**

PERIZONIUS, H.J.: *Teamgeist gelebt*, in: I-Lack, 62 (1994) 3

**[PETZOLD 2001]**

PETZOLD, J. (BAYER AG, LEVERKUSEN): *Kunststoffanbauteile und Metallkarosserie gemeinsam lackieren*, in: Besser lackieren, Nr. 5, März 2001

**[PIWOWARCZYK 2000]**

PIWOWARCZYK, D.: *Ganzheitliche Bilanzierung von Automobil-lackierkonzepten*, Abschlußbericht, im Auftrag der DFO, Dettingen/Teck, November 2000

**[31. BIMSCH V 2001]**

BUNDESREGIERUNG: *Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes vom 21.08.01*

**[RENTZ 1999]**

RENTZ, O.; NUNGE, S.; LAFORSCH, M.; HOLTMANN, T.: *Technical Background Document for the*

---

*Actualisation and Assessment of UN/ECE Protocols related to the Abatement of the Transboundary Transport of Volatile Organic Compounds from Stationary Sources; Report of the Task Force on the Assessment of the Abatement of the Transboundary Transport of Volatile Organic Compounds from Stationary Sources*, Karlsruhe, September 1999

**[SCHMIDT 1995]**

SCHMIDT, W.; SCHMIDT, G.; NOLTE, U.: *Abwasser bei Lackierprozessen*, im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, Labor für Abwassertechnik, Fachhochschule Gelsenkirchen, November 1995

**[SCHOLZ 2000]**

SCHOLZ, T. (LACTEC): *Kleine Stückzahlen mit molchbaren Farbschlauch-Systemen lackieren*, in: Besser Lackieren, Nr. 1, Januar 2000

**[SEDLMAIER 2000]**

SEDLMAIER, N. (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ, BAYERN): *Persönliche Mitteilung*, Juli 2000

**[SPITZNER 2000]**

SPITZNER, R. (BMW AG, WERK DINGOLFING): *Persönliche Mitteilung*, November 2000

**[SPITZNER 2001]**

SPITZNER, R. (BMW AG, WERK DINGOLFING): *Persönliche Mitteilung*, Februar 2001

**[STROHBECK 1997]**

STROHBECK, U.; KLEBER, W.: *Elektrostatisches Sprühen von Flüssiglack*, in: Taschenbuch für Lackierbetriebe, 54. Edition, Hannover, 1997

**[UBA 1994]**

UBA: *Umweltschutzmaßnahmen in der Lackiererei der Opel Eisenach GmbH*, Abschlussbericht, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Eisenach, Juli 1994

**[VDI 1996]**

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *Emissionsminderung – Anlagen zur Serienlackierung von Automobilkarossen (VDI 3455)*, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, in: VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3, Düsseldorf, April 1996

---

## **3 Sonstige Fahrzeuglackierung**

Bei der Lackierung von Fahrzeugen, kommen Lackierprozesse zur Anwendung, die sich durch die verwendeten Materialien, Applikationstechniken und die Anforderungen an den Schichtaufbau z.T. erheblich von denen der Automobilserienlackierung (vgl. Kapitel 2) unterscheiden. Neben der großen Bedeutung der optischen Oberflächenqualität, wie z. B. bei der Lackierung von Nutzfahrzeugen, steht in anderen Bereichen der Korrosionsschutz im Vordergrund. In diesem Kapitel wird die Lackierung folgender Fahrzeuge beschrieben:

- 3.1 Lackierung von Nutzfahrzeugen
- 3.2 Lackierung von Bussen
- 3.3 Lackierung von Großfahrzeugen
- 3.4 Lackierung von Wohnwagen und Wohnmobilen
- 3.5 Flugzeuglackierung
- 3.6 Lackierung von Schienenwagen
- 3.7 Schiffslackierung

### **3.1 Lackierung von Nutzfahrzeugen**

Im Hinblick auf integrierte Umweltschutzmaßnahmen werden im Wesentlichen die Lackierung von Lkw-Fahrgestellen und Fahrerhäusern der Fahrzeugkategorien N<sub>2</sub> und N<sub>3</sub> (nach Richtlinie 70/156/EWG) betrachtet (vgl. Tabelle 2-1, Kapitel 2). Ein Fahrerhaus wird definiert als die Kabine des Fahrers sowie sämtlicher integrierte Gehäuse für die technische Ausrüstung eines Lkws. Leichte Nutzfahrzeuge werden in der Regel den Bussen zugeordnet (s. Abschnitt 3.2). Die Lackierung von Nutzfahrzeugen (N1) und PKW innerhalb der gleichen Anlagen, ist in Kapitel 2 beschrieben.

#### **3.1.1 Allgemeine Informationen**

Im Jahr 2000 wurden in Deutschland 394.697 Nutzfahrzeuge hergestellt, davon 13.518 Omnibusse, 238.593 LKW bis zu 6 t zulässigem Gesamtgewicht und 142.586 LKW mit einem zulässigen Gesamtgewicht von > 6 t [VDA 2001].

---

Die nach der 31. BImSchV<sup>1</sup> festgelegten Emissionsgrenzwerte für die Beschichtung von neuen Nutzfahrzeugen und Fahrerhäusern sind in Tabelle 3-1 zusammengestellt

Tabelle 3-1: *Emissionsgrenzwerte für die Beschichtung von neuen Fahrerhäusern und neuen Nutzfahrzeugen nach 31.BImSchV*

| Schwellenwert für den jährlichen Lösemittelverbrauch [t/a] | Gesamtemissionsgrenzwert [g VOC/m <sup>2</sup> ] | Emissionsgrenzwert für gefasste Abgase nach Trockner [mg C/m <sup>3</sup> ] |
|--|--|---|
| Fahrerhäuser > 15  | 45   | 50  |
| Nutzfahrzeuge > 15   | 70   | 50  |

### 3.1.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Ebenso wie in der PKW Serienlackierung, können die eingesetzten Lacksysteme von Anlage zu Anlage sehr unterschiedlich sein. Nutzfahrzeughsteller verwenden entweder Serienlacksysteme, die bei etwa 140 °C trocknen oder 2K-Reparaturlacksysteme (Trocknung bei 80 °C); oft wird eine Kombination von beiden Systemen eingesetzt [MAY 2001A].

Die Beschreibung der Lackierprozesse von Fahrerhäusern und Lkw-Fahrgestellen erfolgt am Beispiel der Anlagen des Werkes der MAN Nutzfahrzeuge AG im Werk München.

#### 3.1.2.1 Lackierung von Fahrerhäusern

Bei der Lackierung von Lkw-Fahrerhäusern werden im Wesentlichen zwei Prozesskonzepte unterschieden: Die **Metallic-Lackierung**, die aus einer fargebenden Schicht und einem Klarlack und die **Uni-Lackierung**, die aus einer einzigen Decklackschicht besteht .

Die **Vorbehandlung** der Fahrerhäuser umfasst die Vorreinigung, Entfettung mit anschließender Spülung, die Zink-Phosphatierung mit anschließender Spülung, die chromfreie Passivierung mit anschließender Spülung mit VE-Wasser. Danach erfolgt die bleifreie Tauchgrundierung (KTL). Nach zwei Spülvorgängen im Ultrafiltrat und einem Spülvorgang mit VE-Wasser, werden die Fahrerhäuser in einem mit TNV ausgerüsteten Trockner getrocknet. Es folgt die Applikation von Unterbodenschutz, die Vorbereitung auf die

---

<sup>1</sup> Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen

---

Lackierung mit eventuellen Fehstellenschliff- und Abdeckvorgängen, der Einsatz von Anti-Lärmatten und die Nahtabdichtung.

Anschließend wird ein **wasserverdünbarer Füller** zunächst im manuellen Verfahren mittels HVLP-Spritzpistolen auf die Innenflächen und eine erste Lackschicht auf die Außenflächen appliziert, dann mittels Robotern im elektrostatischen Spritzverfahren die zweite Schicht auf die Außenflächen aufgetragen. Es werden etwa 25 bis 35 µm appliziert. Die Spritzkabine ist mit einer Nassauswaschung ausgerüstet.

Die Hauptfarbtöne der Uni- Decklacke werden von Robotern mit Hochrotationsglocken aufgetragen. Bei Sonderwünschen der Kunden wird z.T. auch manuell lackiert. Die häufigsten Farben (ca. 50 % der Fahrerhäuser) sind wasserverdünnbare Lacke, die restlichen Farbtöne sind 1K- oder 2K-Lösemittellacke. Bei **Metallic-Lacken** sind sowohl der Basislack als auch der Klarlack lösemittelhaltig. Die Schichtdicke beträgt bei Metallic-Lackierungen 10 - 20 µm zuzüglich einer Klarlackschicht von  $40 \pm 5$  µm, bei Uni-Lackierungen ca. 30 - 40 µm. [KIRSCH 2001]

### 3.1.2.2 Lackierung von Lkw-Fahrgestellen

Die LKW-Fahrgestelle werden aus vorher elektrotauchgrundierten Stahlprofilen aufgebaut. Als Lackmaterial für die **Tauchlackierung** wird im allgemeinen eine wasserverdünnbare Grundierung mit 5 – 10 % Lösemitteln appliziert. Nach der Montage wird die Oberflächenqualität der LKW-Fahrgestelle kontrolliert und gegebenenfalls die fehlerhaften Stellen geschliffen und manche Teile abgedeckt. Bei der nachfolgenden Lackierung von Lkw-Fahrgestellen handelt es sich um eine **Einschicht-Decklackierung**. Die Fahrgestelle werden dazu über ein Fördersystem durch die Anlagen automatisch transportiert; Sondergestelle können auch manuell den verschiedenen Lackieranlagen zugeführt werden. Dann werden die Fahrgestelle von unten, anschließend von oben lackiert. Da sich die zu lackierenden Fahrgestelle durch Größe und Aufbau stark unterscheiden können, erfolgt die Lackierung manuell. Verwendet wird eine Farbpalette von etwa 25 **wasserverdünnbaren 2K-PUR Decklackfarbtönen** mit denen ca. 95 % der Fahrgestelle beschichtet werden. Sonderfarben werden als 2K-Acryllacke appliziert. Es werden Schichtdicken zwischen 40 und 60 µm appliziert. Die Lackapplikation erfolgt mittels **HVLP-Spritzpistolen**. Die Oversprayabscheidung erfolgt über ein Querstrom-Venturi-Abscheidesystem mit nachgeschaltetem automatischen Lackschlammaustragssystem zum Dekanter. Die Lacktrocknung beginnt zunächst in einer beheizten Abdunstzone mit einer Temperatur von maximal 40 °C. Anschließend werden die Fahrgestelle durch einen Umluft-Trockner geführt, in dem der Lack bei Temperaturen von 85 - 90 °C ausgehärtet wird. Der Trockner ist mit einer thermischen Nachverbrennung ausgerüstet. Die Emissionswerte nach Trockner

---

betragen ca. 10 mg C/m<sup>3</sup>. Danach werden die Fahrgestelle in einer speziellen Zone abgekühlt. [FLECK 2000, KIRSCH 2001]

### 3.1.2.3 Lackierung von Nutzfahrzeugachsen

Nutzfahrzeugachsen für Busse und Lkw werden derzeit überwiegend mit lösemittelhaltigen Lacken lackiert. Der überwiegende Teil der eingesetzten Lösemittel wird hierbei emittiert, da entweder keine Abgasreinigung zur Minderung der VOC Emissionen oder nur nach dem Trockner erfolgt.

Bei der DaimlerChrysler AG im Werk Kassel wurde 1998 eine Lackieranlage errichtet, in der Achsen mit wasserverdünnbaren Lacken beschichtet werden. Zur Reduktion des Oversprays wird das Air-Mix-Verfahren angewendet. Durch die Maßnahmen werden pro Jahr 160.000 l Lösemittel eingespart.

## 3.1.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

### 3.1.3.1 Verbrauch von Eingangsstoffen

Tabelle 3-2 gibt eine Übersicht über spezifische Lackverbräuche für die Lackierung von neuen Fahrerhäusern.

Tabelle 3-2: *Spezifische Lackverbräuche nach Lacksystemen für die Lackierung von neuen Fahrerhäusern* [RENTZ 1999, KIRSCH 2001]

| Lacksystem   | Spezifischer Lackverbrauch<br>[g Lack/m <sup>2</sup> ] |
|--|--|
| Elektrophoretische Grundierung: Wasserbasis, 5 Gew.-% Lösemittelanteil   | 120 - 140  |
| Füller: lösemittelhaltig, 45 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation   | 18 - 23  |
| Füller: Wasserbasis, 8 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation   | 22 - 27  |
| 1-Schicht-Decklack: lösemittelhaltig, 45 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation                               | 30 - 40  |
| Basislack: lösemittelhaltig, 75 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation (50 %) und Druckluftapplikation (50 %) | 95 - 105   |
| Basislack: Wasserbasis, 13 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation   | 100 - 110  |

| Lacksystem   | Spezifischer Lackverbrauch [g Lack/m <sup>2</sup> ] |
|--|---|
| Klarlack: Lösemittelhaltig, 45 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation | 55 - 65   |

### 3.1.3.2 Emissionen in die Luft

Die VOC-Emissionen der Lkw-Lackierung sind aus folgenden Gründen höher für als bei der Pkw-Lackierung:

- ein Großteil der Lackapplikationen muss aufgrund der verschiedenen Geometrien, Dimensionen der Werkstücke manuell durchgeführt werden, was einen niedrigeren Auftragswirkungsgrad im Vergleich zu automatischen Spritzvorgängen zur Folge hat;
- die Farbpalette muss aufgrund individueller Lackierung nach Kundenwünschen, u.a. für Werbezwecke, breiter sein, was zu häufigeren Farbwechselvorgängen führt und einen höheren Verbrauch an Reinigungslösemittel nach sich ziehen kann.

In Tabelle 3-3 sind spezifische VOC-Emissionen für die Lackierung von neuen Fahrerhäusern aufgeführt. Bei den angegebenen Emissionen finden Abluftreinigungsverfahren keine Berücksichtigung.

Tabelle 3-3: Spezifische VOC-Emissionen für die Lackierung von neuen Fahrerhäusern [RENTZ 1999]

| Lacksystem   | Spezifische VOC-Emissionen [g Lack/m <sup>2</sup> ] |
|--|---|
| Elektrophoretische Grundierung: Wasserbasis, 5 Gew.-% Lösemittelanteil   | 5-8   |
| Füller: Lösemittelhaltig, 45 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation   | 8-12  |
| Füller: Wasserbasis, 8 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation   | 1-3   |
| 1-Schicht-Decklack: Lösemittelhaltig, 45 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation                               | 13-20   |
| Basislack: Lösemittelhaltig, 75 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation (50 %) und Druckluftapplikation (50 %) | 65-80   |
| Basislack: Wasserbasis, 13 Gew.-% Lösemittelanteil, elektrostatische Applikation   | 10-15   |
| Klarlack: Lösemittelhaltig, 45 Gew.-% Lösemittelanteil elektrostatische Applikation  | 20-30   |

---

### **3.1.3.3 Abwasser**

Über Abwassermengen bei der Lackierung von Lkw-Fahrgestellen und Fahrerhäusern sind keine Informationen verfügbar.

### **3.1.3.4 Abfälle**

Abfälle aus der Vorbehandlung / KTL und Lackierung von Lkw-Fahrgestellen und Fahrerhäusern sind: Farbeimer, dekantierter Lackschlamm, verunreinigte Lösemittel, Altłacke, Filtermatten, verschmutztes Abdeckpapier (nur bei den Fahrgestellen) und Farbwasser [KIRSCH 2001].

### **3.1.3.5 Energiebedarf**

In der Tabelle 3-4 ist eine Übersicht über Gasverbrauch und Produktion von Lkw-Fahrgestellen und Fahrerhäusern gegeben.

Tabelle 3-4:*Übersicht über Gasverbrauch und Produktion der Lackierung von LKW-Fahrgestellen und Fahrerhäusern für das Jahr 2000 im MAN Werk in München* [Kirsch 2001]

|                   | Fahrerhauslackierung                             | Fahrgestelllackierung    |
|-------------------|--|--------------------------|
| Erdgasverbrauch   | 1.619.479 m <sup>3</sup>                         | 1.484.304 m <sup>3</sup> |
| Produktionszahlen | 34.246 Stück (Füller)<br>31.939 Stück (Decklack) | 26.334 Stück             |

---

## **3.1.4 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

### **3.1.4.1 Leichte Nutzfahrzeuge**

Als einziger deutscher Hersteller produziert Volkswagen im Werk Hannover sowohl Nutzfahrzeuge als auch Pkw. Die Lackierung der verschiedenen Modelle erfolgt zum Teil in gemeinsamen Lackieranlagen, daher gelten zukünftig für alle hier produzierten Fahrzeuge die Emissionswerte für Personenkraftwagen (vgl. Kap. 2.1.3).

Die Decklackierung des Innenraums bei einem Teil der Nutzfahrzeuge stellt einen wesentlichen Unterschied zur Lackierung von PKW dar, bei der die Innenräume i.d.R. nicht mit einem Decklack versehen werden. Weiterhin bedingt die bedeutend höhere Modellvielfalt bei der Lackierung von N1-Fahrzeugen einen höheren manuellen Applikationsumfang, mehr Doppeldecklackierungen und einen erhöhten Aufwand beim Unterbodenschutz aufgrund spezieller

---

Anforderungen im Nutzfahrzeugbereich. Hinzu kommt, dass im Nutzfahrzeugbereich zahlreiche Sonderfarben verarbeitet werden.

Im Werk Hannover wurde vorerst auf eine Umrüstung der Lackierlinie auf Wasserfüller verzichtet. Stattdessen werden die Abluftströme aus Spritzkabinen und Trocknern einer neu installierten Abgasreinigungsanlage zugeführt. Diese Anlage besteht aus mit Aktivkohle gefüllten Adsorptionsrad mit angeschlossener TNV, die neben den Lösemittelemissionen auch die Gerüche minimiert [GRUBER 2001]. Für die Reinigung der ca. 400.000 m<sup>3</sup> Abluft pro Stunde werden vier Adsorptionsräder benötigt. Die entsprechenden Investitionen für die Abluftreinigungsanlagen betrugen ca. 3,9 Mio. EUR. Pro lackiertem Fahrzeug entstehen von ca. 12,5 EUR [WITTKE 2001].

### **3.1.4.2 Lkw-Fahrgestelle, Achsen und Fahrerhäuser**

#### **Lösemittelarme Lacksysteme**

Bei der Lackierung von Nutzfahrzeugen (sowohl Fahrerhäusern als auch Chassis) ist der Einsatz wasserverdünnbarer Einschicht-Decklacke mittlerweile erprobt und bewährt. Wasserverdünnbare Uni-Decklacken (Trocknung 140 °C) werden bei MAN und DaimlerChrysler eingesetzt. Im Bereich Reparatlacke sind lösemittelbasierte und wässrige Lacksysteme Stand der Beschichtungstechnik [MAY 2000, 2001].

Bei dem Einsatz von Pulverfüllern sind hohe Schichtdicken und damit höhere Ressourcenverbräuche nachteilig. Daher ist der bevorzugte Einsatz dort, wo diese dicken Schichten gewünscht sind: Bei Scania beispielsweise wurde die kataphoretische Tauchlackierung durch Pulverfüller ersetzt, so dass ein erhöhter Steinschlagschutz sichergestellt wurde. [MAY 2000]

Für den Bereich der Achslackierung stellen wasserverdünnbare Lacke eine Alternative zu den konventionell verarbeiteten Lacken dar.

#### **Lackauftragsverfahren mit verbessertem Wirkungsgrad**

Bei automatisierten Lackievorgängen ergeben elektrostatische Spritzverfahren, u.a. Hochrotationsglocken, sehr gute Ergebnisse bezüglich Materialnutzungsgrad und Lösemittel-emissionen. Bei manuellen Lackievorgängen erzielt der Einsatz von HVLP-Spritzpistolen ebenfalls gute Auftragswirkungsgrade und entsprechende Auswirkungen auf Abluft-, Abwasser- und Abfallaufkommen. [KIRSCH 2001]

#### **Sparsame Lackversorgungssysteme**

Der Bereich Lackversorgung hat ein hohes Potential sowohl zur Umweltentlastung als auch zur Kostensenkung. Eine sparsame Lackversorgung kann beispielsweise mit molchbaren

---

Ringleitungen und durch eine zentrale Härterversorgung für alle Arbeitsplätze erreicht werden. Für Fahrgestelle, die vorwiegend in Schwarz oder Rot ausgeführt werden, können beim Farbwechsel Lack- und Spülmaterial gespart werden [FLECK 2000, KIRSCH 2001].

### **Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs**

Zur Senkung des Wasserverbrauchs können bei der Vorbehandlung Kaskadenführungen eingesetzt werden, um die Wasserstandzeiten zu erhöhen. Bei Spritzkabinen, die mit Nassauswaschung ausgerüstet sind, kann der Lackschlamm kontinuierlich ausgetragen werden, was zu längeren Standzeiten (bis zu maximal einem Jahr) des Kabinenumlaufwassers führt. Auch das Dekantationssystem für die Decklackkabine trägt zur Steigerung der Standzeiten und damit zur Senkung des Wasserverbrauchs bei [KIRSCH 2001].

### **Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung**

Die Verwendung von großen Farbgebinden tragen neben der Einführung eines Dekanters bei Decklackkabinen und der Installation von Ringleitungen und der Molchtechnik bei der Lackversorgung zur Verminderung von Abfällen bei [KIRSCH 2001].

## **3.1.5 Vorschlag für besten verfügbaren Techniken**

Als beste verfügbare Techniken für den Bereich der LKW-Lackierung können die nachfolgend aufgeführten Lackspezifischen- Techniken empfohlen werden, mit denen VOC-Emissionswerte von (45 g/m<sup>2</sup>) bei Fahrerhäusern und (70 g/m<sup>2</sup>) bei der LKW-Lackierung (einschließlich Fahrgestell- und Achslackierung) erreicht werden können. Die Kombination mit Verfahrensspezifischen Techniken wird empfohlen, um weitergehende Umweltentlastungen, insbesondere im Abfallbereich und hinsichtlich des Wasserverbrauchs zu erreichen

### **Lackspezifische Techniken:**

- Einsatz von wasserverdünbarer Grundierung mit Applikation durch Tauchverfahren für Stahlprofile des Fahrgestells.
- Verwendung von wasserverdünnbaren Einschichtdecklacken für Chassis und Fahrerhäuser bei Uni-Lackierungen.
- Einsatz von High-Solid Einschicht-Lacksystemen auf Fahrgestellen (ohne Grundierung).
- Verwendung von wasserverdünnbaren Lacken bei der Achslackierung.

---

#### **In Kombination mit Verfahrensspezifische Techniken:**

- Applikation von Lacken mit einem hohen Anteil an elektrostatischen Verfahren. Bei manuellen Verfahren, Einsatz von HVLP-Spritzpistolen.
- Reduktion der Farbwechselverluste durch molchbare Ringleitungen.
- Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs: Kaskadenführung in der Vorbehandlung, Dekantationssysteme.

#### **3.1.6 Neue fortschrittliche Verfahren**

Die Applikation von Pulverfüllern als Ersatz für die KTL führt zu einer weiteren Reduktion an VOC-Emissionen. Derzeit ist der Einsatz aufgrund der hohen Schichtdicken problematisch und wird daher angewendet um einen höheren Steinschlagschutz zu erzielen.

---

## 3.2 Lackierung von Bussen

Busse entsprechen den Fahrzeugkategorien M2 und M3 nach Definition der Richtlinie 70/156/EWG (vgl. Tabelle 2-1, Kapitel 2). Eine feste Farbpalette, wie bei der Serienlackierung von PKW existiert nicht, da überwiegend nach Kundenwunsch lackiert wird. Die entsprechenden Betriebe werden daher gezwungen verschiedene Decklackfarbtöne vorzuhalten bzw. rezepturmäßig zu bevorraten.

### 3.2.1 Allgemeine Informationen

Im Jahr 2000 wurden in Deutschland 13.518 Omnibusse produziert.

In Tabelle 3-5 ist der Einsatz von Lacksystemen in der Buslackierung in Deutschland abgebildet.

Tabelle 3-5: *Einsatz der verschiedenen Lacksystemen in der Buslackierung in Deutschland* [Eigene Recherche 2000]

| Hersteller                              | KTL | Chassis-lackierung | Füller  | Basislack | Klarlack | Uni-Decklack |
|---|-----|--------------------|---------|-----------|----------|--------------|
| DaimlerChrysler<br>Busse, Werk Mannheim |     |                    |         |           |          |              |
|   | ✓   | LM / PUR           | LM      | LM        | LM       | LM           |
|   | ✓   | WV                 | LM / WV | LM / WV   | LM       | LM           |
|   | ✓   | -                  | WV      | LM        | LM       | LM / WV      |
| MAN                                     | -   | LM                 | LM      | LM        | LM       | LM           |

LM: Lösemittelhaltiger Lack

WV: Wasserverdünbarer Lack

✓: KTL wird eingesetzt, wasserverdünbares Material

Die nach der 31. BImSchV festgelegten Emissionsgrenzwerte für die Beschichtung von neuen Bussen sind in Tabelle 3-6 zusammengestellt.

---

Tabelle 3-6: Gesamtemissionsgrenzwerte für die Beschichtung von neuen Bussen nach 31.BImSchV

| Schwellenwert für den jährlichen Lösemittelverbrauch [t/a] | Gesamtemissionsgrenzwert [g VOC/m <sup>2</sup> ] | Emissionsgrenzwert nach Trockner [mg C/m <sup>3</sup> ] |
|--|--|---|
| > 15   | 150  | 50  |

### 3.2.1.1 Qualitätsanforderungen

Die Anforderungen an die Qualität der beschichteten Busoberfläche sind ähnlich hoch, wie im PKW-Bereich und umfassen im Wesentlichen den Korrosionsschutz und die optische Wahrnehmung. Neben dem Korrosionsschutz soll ebenfalls ein Langzeitschutz gegen chemische Einflüsse, Witterung, Steinschlag, mechanische Beanspruchungen (z.B. Waschanlagen) usw., erreicht werden. Des weiteren soll die Oberflächenoptik hochwertig sein. Um diese Anforderungen zu erfüllen, ist ein mehrschichtiger Lackaufbau aus Grundierung, Füller- und Decklackschicht erforderlich, wobei jede einzelne Schicht bestimmte Oberflächenanforderungen erfüllt.

### 3.2.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Augrund der geringen Stückzahlen und von individuellen Kundenwünschen lohnt sich bei der Lackierung von Omnibussen eine Vollautomatisierung im Gegensatz zu der Pkw-Serienlackierung nur bedingt. Durch die manuelle Lackierung wird in diesem Bereich eine kostengünstigere Beschichtung erzielt. In Abbildung 3-1 ist ein allgemeines Fließschema des Prozessablaufes bei der Buslackierung aufgeführt.

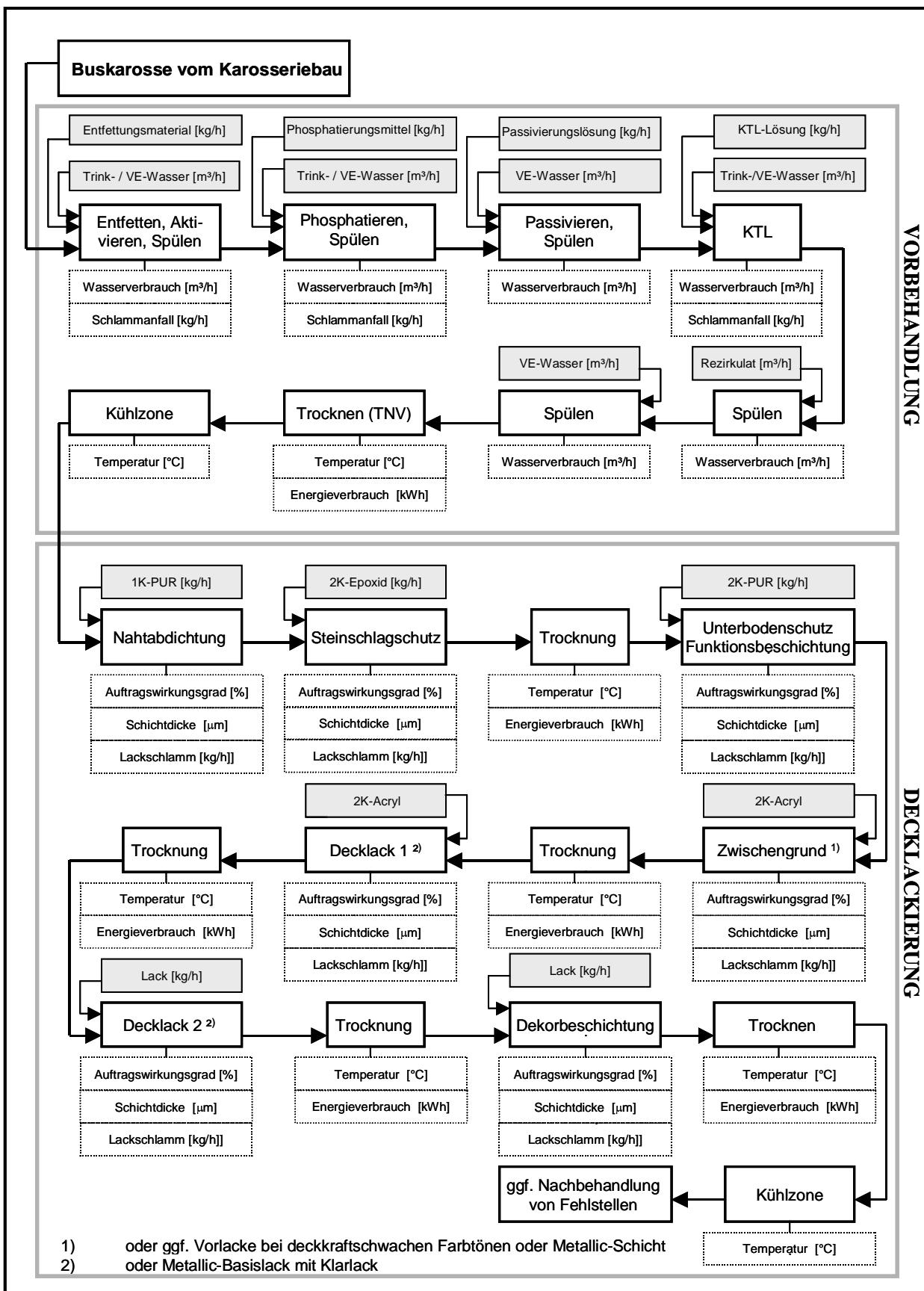


Abbildung 3-1: Allgemeines Fließbild des Lackierprozesses von Bussen [SIENER 2001]

---

### **3.2.2.1 Vorbehandlung**

In Deutschland werden derzeit die Buskarossen mit den konventionellen Vorbehandlungsverfahren, wie beispielsweise dem Entfetten, Phosphatisieren etc. auf die nachfolgende Lackapplikation vorbereitet (Anhang II). Nach der Vorbehandlung wird die Grundierung durch Druckluftspritzen oder als Tauchlackierung aufgetragen.

### **3.2.2.2 Grundierung / KTL**

Eine Anlage in Deutschland setzt die kathodische Tauchlackierung für die Vorbehandlung von Buskarossen ein: Die Buskarossen aus dem Rohbau werden zunächst bei etwa 60 °C entfettet (wässrig-alkalisch) und anschließend gespült, um Reste von Ölen, Fetten, Seifen, Rohbau-Schleifrückständen und anderen Fremdkörpern zu entfernen. Um die Oberfläche auf den Phosphatierungsvorgang vorzubereiten, wird ein Aktivierungsschritt vorgeschaltet. Das Aufbringen der Konversionsschicht auf die Karosse (bei ca. 50-55 °C) gewährleistet den Korrosionsschutz und die Haftfestigkeit des später aufgebrachten Lackaufbaus. Zur Verdichtung der Phosphatierschicht wird die Karossoberfläche passiviert. Danach werden die Karosse bei Raumtemperatur mit VE-Wasser mehrmals gespült. Darauf folgt die kataphoretische Tauchlackierung, wobei bleifreier Tauchlack mit einem Lösemittelgehalt von etwa 3 Gew.-% eingesetzt wird. Anschließend werden die grundierten Buskarossen automatisch und manuell mit VE-Wasser gespült und bei 175 °C Objekttemperatur in einem mit thermischer Nachverbrennung versehenen Trockner getrocknet, bevor sie zur Abkühlung in die Kühlzone gebracht werden.

Durch die Einführung der KTL-Technologie im Jahre 1990 konnten die VOC-Emissionen der Anlage um 60 % gesenkt werden [SIENER 2001].

Anstatt der KTL werden zur Grundierung auch noch lösemittelbasierte 2 K-EP-Lacke verwendet. Die Materialien enthalten ca. 40 – 50 % Lösemittel und werden über Druckluftspritzen appliziert.

### **3.2.2.3 Nahtabdichtung und Unterbodenschutz**

Nachdem die Buskarossen geschliffen worden sind, erfolgt die Nahtabdichtung im Innen- und Außenraum sowie im Unterbaubereich. Serienmäßig wird nur auf der Außenkarosse eine weitere Grundierung zum Schutz gegen Steinschlag aufgebracht. Unmittelbar nach der Nahtabdichtung erfolgt üblicherweise die Applikation des Unterbodenschutzes. Das Unterbodenschutzmaterial basiert in der Regel entweder auf 2K-Polyurethan oder Hydro-Lack. Nahabdichtung und Unterbodenschutz erfolgen manuell.

---

### **3.2.2.4 Füllerauftrag**

Der Füller dient der Vorbereitung des Untergrundes für den Decklackauftrag. Damit werden Unebenheiten ausgefüllt und die Oberfläche an Durchschliffstellen oder bei verletzten Grundierungen repariert, so dass Haftfestigkeit und Korrosionsschutz gewährleistet werden. Zudem verleiht der Füller der Busoberfläche Schutz gegen Steinschlag.

Derzeit werden im Bereich der Buslackierung in Deutschland ausschließlich lösemittelhaltige Füller eingesetzt. Der Auftrag erfolgt manuell. Anschließend wird die Füllerschicht getrocknet.

### **3.2.2.5 Decklackierung**

Aufgrund der individuellen Farbgestaltung im Omnibus-Bereich kommen bei der Decklackierung unterschiedliche Farbschichtaufbauten zum Einsatz. Bis zum Auftrag von besonderen Schriften und Motiven durchlaufen die Buskarossen die gleichen Lackierschritte. Es werden entweder einschichtige (Uni-Decklacken) oder zweischichtige (fargebender Basislack und Klarlack) Lacksysteme eingesetzt. Bei besonders deckkraftschwachen Farbtönen (beispielsweise gelb oder rot) ist es erforderlich, zwei Schichten fargebenden Lackes aufzutragen. Die Decklacke werden ebenfalls manuell appliziert.

Gegenwärtig werden ausschließlich Decklacke auf Lösemittelbasis eingesetzt, da die große Bandbreite eingesetzter Farbtöne und Lackqualitäten bislang noch nicht auf Wasserbasis verfügbar ist. Zur individuellen Gestaltung (verschiedene Motive und Schriften) und aus Gründen der Zeitersparnis werden inzwischen Folienbeschichtungen eingesetzt. Damit wird der Lackeinsatz reduziert, eine Verminderung der VOC-Emissionen ist damit jedoch nicht unbedingt verbunden, da die Folien mit z.T. lösemittelhaltigen Klebstoffen auf die Karosserien aufgebracht werden.

Da bei der Buslackierung manuell lackiert wird, werden keine Pulverlacke eingesetzt.

### **3.2.2.6 Hohlraumkonservierung**

Zur Vervollständigung des Korrosionsschutzes werden konstruktionsbedingte Hohlräume der Buskarossen mit einem Wachsfilm versiegelt. Diese Hohlraumkonservierung wird manuell durchgeführt. Es werden Wachse mit ca. 60 % Lösemittelgehalt appliziert.

### **3.2.2.7 Anlagenbeispiele für die Lackierung von Omnibussen**

Beispiele für die Lackierung von Omnibussen stellen die Lackierstrassen der DaimlerChrysler AG in den Werken Mannheim und Neu-Ulm dar. Die Kapazitäten in diesen Werken liegen jeweils bei etwa 2.500 bis 3.000 Fahrzeuge pro Jahr. In Mannheim werden rohbauseitig

---

sowohl Stadtlinienbusse als auch Reisebusse gefertigt und KTL-lackiert. Die Stadtlinienbusse werden im Anschluss in Mannheim lackiert. Die Reisebusse werden nach der KTL-Behandlung per Bahntransport in das EvoBus Werk Neu-Ulm transportiert, wo sie zunächst mit Heißwasser gereinigt und anschließend getrocknet werden. Die nachfolgenden Lackierschritte sind in beiden Werken ähnlich und erfolgen vorwiegend durch Druckluftspritzen.

Als Unterbodenschutz wird ein 2K-Epoxidharz auf Wasserbasis verarbeitet. Nach der Klappenmontage werden die Karosserien gespachtelt und geschliffen, um ebene Flächen zu erzielen. Im Anschluss wird ein 2K-Epoxid-Füller auf Wasser- oder Lösemittelbasis aufgetragen und nochmals geschliffen. In der Lackierkabine wird dann ein sog. Vorlack auf Acrylbasis im Spritzverfahren auf die Karosse appliziert und anschließend bei ca. 110 °C getrocknet. Nach einem weiteren Schleifvorgang wird die farbgebende Decklackschicht (2K-Basislack und 2K-Klarlack) auf die Karosse aufgebracht. Dafür sind über 6.000 Farben und Farbmischungen verfügbar. Die Karosserien durchlaufen die Lackierkabine und den Trockner bis zu fünfzehn Mal, bis sämtliche Farben der Motive im Einzelnen aufgetragen sind. Bildmotive und Schriftzüge werden durch Sprühtechnik bis hin zu aufwändiger Airbrushtechnik oder im Folienverfahren aufgebracht. [ZELLER 2000] An die Trockneranlagen sind grundsätzlich Abgasreinigungsanlagen angeschlossen.

Eine Besonderheit der Anlage im Werk Mannheim stellt die Funktionsbeschichtung zur Körperschalldämmung dar. Anstelle von PVC-Schalldämmmatte, die exakt ausgeschnitten und mit lösemittelhaltigem Klebstoff (ca. 65 % Lösemittelgehalt) aufgebracht werden müssen, wird derzeit ein Schallschutzmaterial auf Polyurethan-Basis, das im Spritzenverfahren appliziert wird, eingesetzt. Die Schichtdicken betragen einseitig ca. 3 - 4 mm, beidseitig in etwa bis 8 mm. Diese Umstellung ist ein Beitrag zum Arbeitsschutz, weil geringere Mengen an Lösemitteln entweichen und weniger Schnittunfälle auftreten.

Im **Innenraum** des Busses werden Schallschutzmaterial und abschließend ein 2-K PU-Material appliziert. Bei Linienbussen<sup>2</sup> wird als Bodenbelag in der Regel PVC-Rollenware verwendet. Das Material wird manuell zugeschnitten und eingeklebt (vgl. Teilband Klebstoffe, Kapitel 3) Eine Alternative dazu, die bereits bei etwa 145 Bussen realisiert worden ist, ist das Aufspritzen eines lösemittelfreien Kunststoffes im Airless-Verfahren. Bei der erhaltenen Fläche gibt es nicht wie bei den Rollenwaren Fugen und Schweißnähte, die wasserundicht sind und zu einem späteren Zeitpunkt die Karosse von Innen nach Außen korrodieren lassen können. [PREISSIG 2001]

---

<sup>2</sup> Bei Reisebussen kommen andere Bodenbeläge zum Einsatz, die z.B. mit wässrigen Dispersionen verklebt werden

---

### 3.2.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

#### 3.2.3.1 Verbrauch von Eingangsstoffen

Pro Bus werden ca. 200 m<sup>2</sup> beschichtet. In Tabelle 3-7 sind spezifische Lackverbräuche nach Lackschicht zusammengestellt.

Tabelle 3-7: *Spezifische Lackverbräuche nach Lackschicht [RENTZ 1999]*

| Lacksystem  | Spezifischer Lackverbrauch<br>[g Lack/m <sup>2</sup> ] |
|---|--|
| Katodische Tauchlackierung auf Wasserbasis (3 bis 4 Gew.-% Lösemittelanteil ) | 120 – 135  |
| Nahtabdichtung und Unterbodenschutz (wasserverdünntbar, manuell)              | keine Angaben  |
| Füller (lösemittelhaltig: 45 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)                | 18 – 22  |
| Füller (Wasserbasis: 8 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)                      | 22 – 26  |
| Uni-Decklack (lösemittelhaltig: 45 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)          | 10 – 40  |
| Basislack (lösemittelhaltig: 75 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)             | 90 – 100   |
| Basislack (Wasserbasis: 13 Gew.-% Lösemittelanteil , manuell)                 | 100 – 110  |
| Klarlack (lösemittelhaltig: 45 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)              | 50 – 65  |

#### 3.2.3.2 Emissionen in die Luft

Aus den folgenden Gründen sind die VOC-Emissionen bei der Buslackierung mit durchschnittlich 225 g/m<sup>2</sup> in der untersuchten Anlage (Emissionswert ohne Berücksichtigung der Abluftreinigung der Trocknerabluft) erheblich höher, als für die Serienlackierung von Personenwagen (vgl. Tabelle 3-8):

- Sämtliche Lackapplikationen (KTL ausgenommen) werden in der Regel manuell durchgeführt, was einen niedrigeren Auftragswirkungsgrad und daher einen höheren Overspray im Vergleich zu automatischen Spritzvorgängen zur Folge hat;
- eine Automatisierung der Beschichtung ist aufgrund der Busgröße, des geringen Produktionsvolumen im vgl. zur PKW Herstellung, der Variation in der Geometrie der Produkte und durch individuelle Kundenwünsche schwierig ;
- häufigere Farbwechsel können zu einem höheren Verbrauch an Reinigungslösemitteln führen.

Tabelle 3-8 : Spezifische VOC-Emissionen nach Lackschicht bzw. Anwendung [RENTZ 1999]

| Lacksystem   | Spezifische VOC-Emissionen [g VOC/m <sup>2</sup> ] |
|--|--|
| Katodische Tauchlackierung auf Wasserbasis (3 bis 4 Gew.-% Lösemittelanteil) | 6 - 7  |
| Nahtabdichtung und Unterbodenschutz (wasserverdünnbar, manuell)              | keine Angaben                                      |
| Füller (lösemittelhaltig: 45 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)               | 9 – 10   |
| Füller (Wasserbasis: 8 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)                     | 1,5 - 2,5  |
| Uni-Decklack (lösemittelhaltig: 45 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)         | 14 – 18  |
| Basislack (lösemittelhaltig: 75 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)            | 70 – 75  |
| Basislack (Wasserbasis: 13 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)                 | 12 – 16  |
| Klarlack (lösemittelhaltig: 45 Gew.-% Lösemittelanteil, manuell)             | 24 – 27  |
| Reinigung von Rohre zur Lackherleitung, Werkzeuge und Spritzkabinen          | 28 – 60  |

Die Staubemissionen durch Overspray liegen unterhalb des Grenzwertes von 3 mg/m<sup>3</sup> [SIENER 2001].

### 3.2.3.3 Abwasser

In der Regel sind die Lackierkabinen zum Auffangen des Lackoversprays mit einem Venturi-Wäscher ausgerüstet. Dem Lack-Wasser-Gemisch wird Koaguliermittel zugegeben und der entstehende Lackschlamm wird thermisch verwertet.

### 3.2.3.4 Abfälle

Als Abfälle fallen u.a. **Lackreste** an, die an den Lackhersteller zurückgegeben oder zu einem qualitativ minderwertigeren Gebrauch eingesetzt werden (beispielsweise für die Lackierung von Fahrrädern). Der durch das Overspray entstandene **Lackschlamm** wird üblicherweise extern thermisch verwertet. Zur **Reinigung von Werkzeugen und Spritzkabinen** werden Lösemittel eingesetzt, die anschließend extern wiederaufbereitet werden.

### 3.2.3.5 Energiebedarf

Ähnlich wie in der Pkw-Serienlackierung ergibt sich der höchste Energiebedarf beim Aufheizen der Lackierkabinen und -hallen. Daten konnten nicht ermittelt werden.

---

### **3.2.4 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Vereinzelt finden sich bei der Busslackierung wasserverdünnbare Lacksysteme, z.B. für Unterbodenschutz oder bei KTL. Im Decklack-Bereich hingegen werden Lacksystemen auf Wasserbasis bis auf eine Ausnahme nicht eingesetzt. In einer Anlage werden Stadtbusse und Schienenfahrzeuge komplett mit Wasserlacken beschichtet. Die Pulverlacktechnik ist bei der Lackierung von Buskarossen noch nicht serienmäßig erprobt worden.

Aufgrund der Besonderheiten (manuelle Applikation aufgrund von geringen Stückzahlen, spezifische Kundenwünsche) der Busslackierung ist die Anwendung von Primärmaßnahmen zunächst noch sehr begrenzt. Zur Verminderung der VOC-Emissionen werden im allgemeinen Abgasreinigungsanlagen nach dem Trockner eingesetzt, wobei allerdings nur ein kleinerer Anteil der freigesetzten Lösemittelemissionen erfasst wird. Für weitergehende Sekundärmaßnahmen, wie z.B. die Kombination von Aktivkohleabsorption und thermischer Nachverbrennung zur Behandlung der Spritzkabinenabluft, liegen keine praktischen Erfahrungen vor.

### **3.2.5 Vorschlag der besten verfügbaren Techniken**

In der Tabelle 3-10 ist ein Vorschlag für die besten verfügbaren Techniken für IVU-relevante Anlagen aufgeführt.

Tabelle 3-10: Beste verfügbare Techniken für die Lackierung von Bussen

| Bereich             | Beste verfügbare Techniken / Verfahren  |
|---------------------|---|
| Grundierung         | KTL mit wasserverdünnbarem, bleifreiem Tauchlack  |
| Nahtabdichtung      | Wasserbasierte Nahtabdichtung   |
| Decklack            | Lösemittelhaltige Decklacksysteme, Auftrag mit elektrostatischer Unterstützung, thermische Abluftreinigung der Abluftströme aus Spritzkabinen und Trocknern |
| Achslackierung      | Wasserverdünnbare Lacke   |
| Körperschalldämmung | Lösemittelfreies Schallschutzmaterial auf Polyurethanbasis  |

- KTL mit wasserverdünnbarem, bleifreiem Tauchlack und Trockner mit TNV
- Wasserbasierende Nahtabdichtung
- Lösemittelhaltige Lacksysteme im Decklackbereich appliziert mit Werkzeugen, die einen höheren Lackauftragswirkungsgrad aufweisen und thermische Nachverbrennung der Abluftströme aus den Spritzkabinen und Trocknern.
- Verwendung von wasserverdünnbaren Lacken für die Achslackierung in Verbindung mit Spritztechniken mit höherem Auftragswirkungsgrad, als die konventionelle Druckluftspritztechnik

### 3.2.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Da im Bereich Buslackierung vor allem kleinere Anlagen anzutreffen sind, die bisher keinen konkreten Anforderungen an die Verminderung von VOC-Emissionen unterlagen, sind Maßnahmen zur Emissionsminderung, insbesondere Primärmaßnahmen nicht weit verbreitet. Durch die EG-Lösemittelrichtlinie und in Deutschland durch die 31. BImSchV (Gesamtemissionswert < 150 g/m<sup>2</sup> und Abgaskonzentrationswert < 50 mg C/m<sup>3</sup> nach Trockner) besteht akuter Entwicklungs- und Handlungsbedarf, der in Richtung verstärkte Anwendung von lösemittelarmen Lacken und des Einsatzes von geeigneter Abluftführung zur Erfassung der VOC-Emissionen und nachfolgender Abgasreinigung gehen muss.

---

Hierbei sind zukünftig verstärkt die lösemittelarmen Lacksysteme zu nutzen, die für den Bereich der Nutzfahrzeuglackierung, einschließlich Buslackierung, entwickelt wurden und für die Anwendung zur Verfügung stehen.(VDI Richtlinie 3456: Emissionsminderungs-Reparaturlackierung und Lackierung für Pkw und Nfz/ Emission control: (Re-)finishing cars and commercial vehicles)

Es ist wahrscheinlich, dass damit die BVT in diesem Bereich einen deutlichen Entwicklungsschub erfahren.

---

### **3.3 Lackierung von Großfahrzeugen**

Unter Großfahrzeugen werden in diesem Abschnitt im Wesentlichen Bau- und Landmaschinen verstanden.

#### **3.3.1 Allgemeine Informationen**

Im Vergleich zu der Lackierung anderen Fahrzeugtypen wie PKW, spielt die optische Oberflächenqualität eine untergeordnete Rolle. Die wesentliche Aufgabe der Beschichtung ist der **Korrosionsschutz** gestellt. Die Lackierung ist starken chemischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt, z.B. aufgrund stark korrosiver Wirkung von Säuren aus Pflanzensaft und Feuchtigkeit [MAYER, SCHÖNBERGER 2001].

#### **3.3.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren**

Die Lackierung von Land- und Baumaschinen erfolgt von den deutschen Herstellern nach verschiedenen Konzepten. Im Bereich der Vorbehandlung werden neben der konventionellen manuellen Entfettung mit Lösemitteln häufig die automatisierte, wässrig-alkalische Reinigung mit anschließender Zink- oder Eisenphosphatierung verwendet. Da der Korrosionsschutz bei Landmaschinen eine zentrale Rolle spielt, haben einige Hersteller von der manuellen Spritzgrundierung mit lösemittelbasierten Materialien auf eine Tauchgrundierung (KTL) umgestellt. Der Decklack wird im Tauchverfahren oder durch manuelle Spitzverfahren appliziert. [HARSCH 1999]. Teilweise stehen Pulverlacke als Ersatz der lösemittel- oder wasserverdünnbaren Decklacke unmittelbar vor dem Serieneinsatz.

Bei einigen Herstellern erfolgt die Beschichtung (KTL und z.T. Decklack) bereits vor der Montage, wodurch die Prozesse mit einem höheren Automatisierungsgrad betrieben werden können.

Die Lackierung von Landmaschinen wurde bei der Firma Claas, im Werk Bad Saulgau, untersucht. Aufgrund der starken Konzentration des Marktes für Landmaschinen und dem damit verbundenen Wettbewerb, konnte nur eine Anlage, zur exemplarischen Beschreibung der verwendeten Prozesse und Verfahren, untersucht werden.

Die zu montierenden Einzelteile von Landmaschinen werden bereits vor der Montage grundiert und dann nach der Montage nur die Außenflächen der Maschinen im Einschicht-

---

Verfahren decklackiert. Die zu beschichtenden Materialien bestehen überwiegend aus Stahlblechen.

Zur Entfettung und Reinigung der Bauteile vor der Beschichtung, erfolgt eine wässrig-alkalische Reinigung mit nachfolgendem Spülen. Nach der Reinigung erfolgt das Aktivieren und Zink-Phosphatieren. Die Vorbehandlung findet ohne die Verwendung von Chrom-VI-Verbindungen statt. Nach der Phosphatierung werden die Bauteile mit Wasser und abschließend mit VE-Wasser gespült. Die Bauteile werden nach der Vorbehandlung in einem Konvektionstrockner im Heißluftstrom getrocknet.

Der Auftrag der Grundierung erfolgt als bleifreie KTL. Die Aufbereitung der Spüläder und die Rückgewinnung des Lackmaterials erfolgt durch Ultrafiltration. Das verwendete wasserverdünnbare Lackmaterial enthält ca. 2 – 6 % organische Lösemittel. Die aufgetragene Schichtstärke beträgt ca. 25 µm. Die beschichteten Bauteile werden in einem Konvektionstrockner getrocknet. Die Abluft aus dem Trockner wird einer rekuperativen TNV-Anlage zugeführt [MAYER, SCHÖNBERGER 2001].

Der 2-K-Decklack (Lösemittelgehalt von ca. Gew. 50 %) wird im Einschichtverfahren manuell mit HVLP-Spritzpistolen mit elektrostatischer Unterstützung aufgetragen.

Die Schichtstärke beträgt ca. 25 µm. [MAYER, SCHÖNBERGER 2001]. Der Overspray der Spritzkabinen wird durch Nasswässcher abgeschieden. Die Decklackschicht wird in einem Konvektionstrockner ausgehärtet. Abluftströme aus Spritzkabinen und Trockner werden der TNV zugeführt. Claas verwendet 6 verschiedene Decklackfarbtöne. Zur Minimierung von Farbwechselverlusten werden Farbblöcke gebildet. Die Spülverdünnung, die zum Reinigen der Lackzuleitungen nach Farbwechseln verwendet wird, wird aufgefangen und durch Destillation aufbereitet.

### **3.3.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte**

#### **Verbrauch von Eingangsstoffen**

In der untersuchten Anlage werden die in der IVU-Richtlinie angegebenen Mengenschwellen von 150 kg pro Stunde oder 200 t pro Jahr nicht erreicht. Der Gesamtlösemitteleinsatz betrug im Werk Bad Saulgau, im Jahr 2000 nur ca. 15,3 t. Aufgrund der Konzentration der Hersteller ist zu vermuten, dass in anderen Anlagen die Mengenschwellen erreicht werden können.

---

## **Emissionen in die Luft**

Die Abluftströme aus den Trockneranlagen und Spritzkabinen werden erfasst und einer TNV-Anlage zugeführt. Es werden Reingaswerte von unter 20 mg C / m<sup>3</sup> erreicht. Emissionen resultieren vor allem aus diffusen Quellen, wie z.B. den Abdunstzonen vor dem Trocknereintritt.

## **Abwasser**

Abwasser entsteht in den Spülbecken der Vorbehandlung. In der untersuchten Anlage fallen täglich ca. 18 - 22 m<sup>3</sup> Abwasser an. Durch die Anwendung von Kaskadenführung kann die Abwassermenge halbiert werden. Die Spülbecken der KTL arbeiten bei installierter Ultrafiltration abwasserfrei [MAYER, SCHÖNBERGER 2001].

## **Abfälle**

Zur Wiedergewinnung von KTL-Lack aus nachgeschalteten Spülbecken kann die Ultrafiltration eingesetzt werden. Durch Verwendung von Mehrwegfarb-Großgebinden für die Standard-Decklacke, kann die zu entsorgende Menge an Emballagen stark reduziert werden.

Angaben für verschiedene Anlagen zur Lackierung von Landmaschinen über Lack- und Energiedaten, Emissionen, Abfälle und Kosten nennt Harsch [HARSCH 1999] (vgl. Tabelle 3-11)

In der Arbeit von Harsch wird eine bestehende Nasslackanlage mit modernen Anlagenkonzepten verglichen, um mit Hilfe der ganzheitlichen Bilanzierung mit Hilfe der Software GaBi eine Entscheidungsfindung für die Investition in eine neue, zu errichtende Lackieranlage voranzutreiben.

In der bestehenden Anlage wird eine manuelle Reinigung der Bauteile mit Lösemitteln eingesetzt. Nachfolgend wird die Grundierung manuell im Spritzverfahren auf die Bauteile appliziert. Nach einer Vortrocknung gelangen die Werkstücke in das Tauchbecken, in dem der Decklack aufgetragen wird. Nachfolgend erfolgt eine Trocknung im Konvektionstrockner. Die Daten für die Bilanzierung wurden aus dem Produktionsprozess der Anlage ermittelt [HARSCH 1999].

In den geplanten, moderneren Anlagekonzepten erfolgt die Vorbehandlung durch eine automatisierte wässrig-alkalische Reinigung. Zusätzlich erfolgt zur Erhöhung des Korrosionsschutzes eine Fe-Phosphatierung bzw. eine Zn-Phosphatierung. Im Anschluss wird die Grundierung im KTL-Verfahren aufgetragen, die Decklackapplikation erfolgt wie bei der bestehenden Anlage, im Tauchverfahren. Zusätzlich zu diesen Varianten wird ein

---

Anlagenkonzept mit manuellem Auftrag des wasserverdünnbaren Decklackes verglichen, bei dem zusätzlich ein Heißlufttrockner mit ca. 2/3 der Nennleistung zum Einsatz kommen soll [HARSCH 1999]. Die Daten für die Bilanzierung wurden von Harsch abgeschätzt.

Tabelle 3-11:Wesentliche technische und wirtschaftliche Parameter für drei Konzepte zur Lackierung von Landmaschinen [HARSCH 1999]

| Parameter                   | Einheit  | Konventionelle Anlage |   | Anlage mit Fe-Phosphatierung und KTL |   | Anlage mit Zn-Phosphatierung und KTL |   | Anlage mit Fe-Phosphatierung und KTL * |  |
|-----------------------------|----------|-----------------------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---|--|--|
| Lackdaten                   |          | 2K-Grundierung        | Wasserverd.<br>Decklack<br>(Tauchverf.) | KTl                                  | Wasserverd.<br>Decklack<br>(Tauchverf.) | KTl                                  | Wasserverd.<br>Decklack<br>(Tauchverf.) | KTl                                    | Wasserverd.<br>Decklack<br>(Spritzverf.) |
| Festkörperanteil            | Gew.-%   | 56                    | 42                                      | 20                                   | 42                                      | 20                                   | 42                                      | 20                                     | 42                                       |
| Lösemittelanteil            | Gew.-%   | 8                     | 11                                      | 2                                    | 11                                      | 2                                    | 11                                      | 2                                      | 11                                       |
| Wasseranteil                | Gew.-%   | 36                    | 47                                      | 78                                   | 47                                      | 78                                   | 47                                      | 78                                     | 47                                       |
| Schichtdicke                | µm       | 90                    | 185                                     | 25                                   | 185                                     | 25                                   | 185                                     | 25                                     | 50                                       |
| Materialnutzungsgrad        | %        | 15                    | 80                                      | 98                                   | 80                                      | 98                                   | 80                                      | 98                                     | 60                                       |
| Energieeinsatz              |          |                       |   |                                      |   |                                      |   |  |  |
| Strom                       | KWh/Takt | 90                    |   | 180                                  |   | 180                                  |   | 210                                    |  |
| Erdgas                      | KWh/Takt | 450                   |   | 520                                  |   | 520                                  |   | 410                                    |  |
| Heißwasser                  | KWh/Takt | 0                     |   | 250                                  |   | 250                                  |   | 250                                    |  |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen |          |                       |   |                                      |   |                                      |   |  |  |
| aus Vorbehandlung           | Kg/Takt  | 0                     |   | 100                                  |   | 100                                  |   | 100                                    |  |
| aus Grundieren              | Kg/Takt  | 90                    |   | 70                                   |   | 70                                   |   | 70                                     |  |
| aus Decklackauftrag         | Kg/Takt  | 115                   |   | 115                                  |   | 115                                  |   | 90                                     |  |
| VOC-Emissionen              |          |                       |   |                                      |   |                                      |   |  |  |
| aus Vorbehandlung           | g/Takt   | 10                    |   | 3                                    |   | 3                                    |   | 3                                      |  |

| <b>Parameter</b>      | <b>Einheit</b>     | <b>Konventionelle Anlage</b> | <b>Anlage mit Fe-Phosphatierung und KTL</b> | <b>Anlage mit Zn-Phosphatierung und KTL</b> | <b>Anlage mit Fe-Phosphatierung und KTL *</b> |
|-----------------------|--------------------|------------------------------|---|---|---|
| aus Grundieren        | g/Takt             | 80                           | 7   | 7   | 7   |
| aus Decklackauftrag   | g/Takt             | 90                           | 90  | 90  | 35  |
| Sondermüll            |                    |                              |   |   |   |
| aus Vorbehandlung     | Kg/Takt            | 0                            | 0   | 0   | 0   |
| aus Grundieren        | Kg/Takt            | 5,3                          | 0   | 0   | 0   |
| aus Decklackauftrag   | Kg/Takt            | 1                            | 1   | 1   | 0,6   |
| Kostendaten           |                    |                              |   |   |   |
| Investition           | EUR                | 1,31 Mio.                    | 2,77 Mio.                                   | 2,87 Mio.                                   | -   |
| Lackpreis Grundierung | EUR/kg             | 2,09                         | 1,44  | 1,44  | 1,44  |
| Lackpreis Decklack    | EUR/kg             | 1,96                         | 1,96  | 1,96  | 1,96  |
| Fe-Phosphatieren      | EUR/m <sup>2</sup> | 0                            | 0,025                                       | 0   | 0,25  |
| Zn-Phosphatieren      | EUR/m <sup>2</sup> | 0                            | 0   | 0,046                                       | 0   |
| Strom                 | EUR/a              | 304040                       | 73318                                       | 73318                                       | -   |
| Erdgas                | EUR/a              | 28803                        | 44514                                       | 44514                                       | -   |
| Entsorgungskosten     | EUR/a              | 22257                        | 3536  | 3536  | 2094  |
| Gesamtkosten          | EUR/Takt           | 124                          | 143   | 146   | 123   |

\* Dieses Verfahren umfasst neben der Einführung von automatisiertem Entfetten und Fe-Phosphatierung zusätzlich anstelle der Tauchlackierung eine Großraumspritzkabine für die manuelle Applikation des Wasserlacks

---

### **3.3.4 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

#### **3.3.4.1 Vorbehandlung**

Die Verfahren mit wässrig-alkalischer Reinigung und nachgeschalteter Fe- oder Zn-Phosphatierung, stellen die emissionsärmsten Verfahren dar (vgl. Tabelle 3-13 ). Dabei erzielt die Zink-Phosphatierung die besten Korrosionsschutzeigenschaften.

#### **3.3.4.2 Lösemittelarme bzw. -freie Lacksysteme**

Für die Grundierung der Bauteile in großen Stückzahlen, werden wasserverdünnbare, bleifreie Elektrotauchlacke mit Lösemittelgehalten von ca. 2 Gew.% eingesetzt. Durch die KTL werden Auftragswirkungsgrade von ca. 98 % erreicht. Für kleinere Stückzahlen stehen für den Spritzauftrag festkörperreiche 2K-Grundierungen oder wasserverdünnbare 2K-Grundierungen auf Epoxidharz-Basis zur Verfügung [MAY 2001B].

Für den Auftrag des Decklackes werden bereits wasserverdünnbare Decklacksysteme mit 11 Gew. % Lösemittelanteil appliziert.

#### **3.3.4.3 Verbesserte Lackauftragsverfahren**

Applikationsverfahren mit verbessertem Auftragswirkungsgrad (z.B. HVLP-Pistolen) werden in dieser Branche nur begrenzt eingesetzt, aber stellen ein großes Minderungspotential für die Zukunft dar. Lacknutzungsgrade bis über 50 % werden erwartet.

Des weiteren besteht auch die Möglichkeit dünner Schichten des Decklacks aufzutragen. Wenn anstelle der im Tauchverfahren aufgetragenen 85 µm eine Dünnschicht von 50 µm im Spritzverfahren appliziert wird, ist zwar der prozentuale Auftragswirkungsgrad geringer, aber insgesamt wird mehr Lackmaterial verbraucht. Die Material- und Entsorgungskosten sind daher deutlich geringer im Vergleich zu der Decklackapplikation im Tauchverfahren. Zudem wird eine bessere Oberflächenqualität erreicht und die VOC-Emissionen können entsprechend gesenkt werden. In Folge der manuellen Applikation können nach Harsch, geringfügig höhere Kosten (Lohnkosten) entstehen [HARSCH 1999].

#### **3.3.4.4 Abluftreinigungsverfahren**

Bei Applikation von konventionellen Decklacken lassen sich VOC-Emissionen durch Erfassung und thermische Nachverbrennung der Abgase aus Spritzkabinen und Trockneranlagen wirksam verhindern. Die Wärmerückgewinnung ist dabei Stand der Technik.

### 3.3.5 Vorschlag der besten verfügbaren Techniken

Harsch vergleicht unterschiedliche Konzepte für die Lackierung von Landmaschinen in Bezug auf Verbräuche, Emissionen in die Luft, Energiebedarf und Kosten (s.h. Tabelle 3-13). Basisdaten, Datenquellen und Annahmen für die durchgeführten Berechnungen sind [HARSCH 1999] zu entnehmen.

Tabelle 3-13: *Ergebnisse einer technischen Bewertung von vier Lackkonzepten* [HARSCH 1999]

| Parameter            | Konventionelle Anlage | Anlage mit Fe-Phosphatierung und KTL | Anlage mit Zn-Phosphatierung und KTL | Anlage mit Fe-Phosphatierung und KTL (Spritzverf.) |
|----------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Technologiestand     | 1                     | 3                                    | 4                                    | 5  |
| Materialeinsatz      | 1                     | 1                                    | 3                                    | 4  |
| Automatisierung      | 2                     | 2                                    | 3                                    | 2  |
| Emissionen           | 1                     | 1                                    | 3                                    | 4  |
| Optik                | 2                     | 2                                    | 2                                    | 5  |
| Taktzeitflexibilität | 1                     | 1                                    | 1                                    | 5  |
| Korrosionsschutz     | 1                     | 4                                    | 5                                    | 4  |

Die Eigenschaftsprägungen reichen von 1 (sehr schlecht bzw. sehr niedrig) bis 5 (sehr gut bzw. sehr hoch)

Die Prozessschritte der Vorbehandlung und anschließende KTL ermöglichen das Erreichen eines Qualitätsstandards, der den Standard der konventionellen manuellen Entfettung und Grundierung deutlich übersteigt. Zudem werden mit der Zn-Phosphatierung noch höhere Qualitätsansprüche erfüllt als mit der Fe-Phosphatierung. Die Einführung der Tauchgrundierung ermöglicht die Einsparung von Lackmaterial und Abfall-Entsorgungskosten; zugleich wird eine erhebliche Reduzierung der VOC-Emissionen erzielt. Phosphatier- und Tauchgrundierverfahren benötigen deutlich höheren Energiebedarf, als herkömmliche Verfahren. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind entsprechend höher. Des weiteren sind Lohneinsparungen durch den Einsatz von vollautomatisierten Verfahren möglich. Für die Fe- und Zn-Varianten weisen die Investitionen und Betriebskosten nur geringfügige Unterschiede auf.

Die Prozessvariante mit der zusätzlichen Umstellung von Tauch- auf manuelles Spritzverfahren, für den Decklack verfügt über zahlreiche Vorteile, die z.T. in Abschnitt 3.3.4 beschrieben worden sind. Zudem ermöglicht dieser manuelle Lackauftrag im Spritzverfahren die Anzahl der Takte pro Arbeitsstunden zu erhöhen. Eine Erhöhung der Taktzeit würde ebenfalls Kosteneinsparungen mit sich bringen. [HARSCH 1999]

---

Zusammenfassend werden die folgenden besten verfügbaren Techniken empfohlen:

- Wässrig-alkalische Reinigung mit nachgeschalteter chrom-VI-freier Zink-Phosphatierung.
- Grundierung durch KTL mit wasserverdünnbaren, bleifreien Elektrotauchlacken unter Verwendung von Kaskadenführung und Ultrafiltration für die Spülbecken der KTL.
- Applikation von wasserverdünnbaren Einschicht-Decklacken mit elektrostatischen Spritzverfahren.

### **3.3.6 Neue fortschrittliche Verfahren**

Zur Reduktion der VOC-Emissionen wird derzeit bei einem Landmaschinenhersteller eine Pulverlackanlage errichtet. Der Pulverlack soll das zur Zeit noch angewendete, lösemittelbasierte 2-K-Einschicht-Decklacksystem ablösen [MAYER, SCHÖNBERGER 2001].

### **3.3.7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen**

Der Einsatz der Pulverlacktechnologie als Ersatz für konventionelle und wasserverdünnbare Decklacke, stellt zusammen mit der Verwendung von wasserverdünnbaren Elektrotauchlacken, die derzeit emissionsärmste und serienreife Beschichtungstechnik für Großfahrzeuge dar.

---

## **3.4 Lackierung von Wohnwagen und Wohnmobilen**

### **3.4.1 Allgemeine Informationen**

1999 wurden in Deutschland 60.243 Wohnwagen und 21.910 Wohnmobile hergestellt. Die Reisemobile wurden von insgesamt 53 Firmen produziert.

### **3.4.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren**

Eine Lackierung der Außenflächen von Reisemobilen findet bei den deutschen Herstellern im allgemeinen nicht statt. Die Hersteller beziehen bereits fertig lackierte Bleche. Stoßkanten an Fahrzeugaßenflächen werden mit Kunststoffkanten oder Gummidichtungen kaschiert. Eine zusätzliche Unterbodenbehandlung der Fahrgestelle erfolgt nicht, da diese bereits beim Nutzfahrzeughersteller gegen Korrosion geschützt werden. Die Bodenplatte, die aus Sperrholz besteht, wird bei den Zulieferbetrieben mit Unterbodenschutz gegen das Eindringen von Feuchtigkeit abgedichtet [PRIEBE 2001].

Lackapplikation kommt bei der Herstellung von Reisemobilen nur in der Finish-Abteilung als Spot-Repair vor [PRIEBE 2001].

### **3.4.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte**

Im Bereich des Fahrzeug-Finish werden an einzelnen Fahrzeugen kleinere Lackschäden (<< 1 m<sup>2</sup>), die während der Montage des Fahrzeugs entstehen können, ausgebessert. Die Lackapplikation erfolgt manuell im Druckluftverfahren unter Verwendung von konventionellen 2-K Lacken. Kleine (ca. handgroße) Lackschäden werden in der Halle ausgebessert, größere Lackschäden werden in Spritzkabinen bearbeitet. Der Overspray wird trocken abgeschieden. Pro Woche werden wenige Kilogramm Lack appliziert [PRIEBE 2001].

In Folge der ausschließlich handwerklichen Lackanwendung bei der Herstellung von Wohnwagen und Reisemobilen weist der Bereich keine IVU-Relevanz auf und wird daher nicht weiter bearbeitet.

---

## 3.5 Flugzeuglackierung

Gegenstand dieses Kapitels ist die Lackierung von zivilen Verkehrsflugzeugen ab 50 Sitzplätzen. Die zu beschichtenden Oberflächen bestehen überwiegend aus Leichtmetall und faserverstärkten Kunststoffen. Bei der Lackierung von Flugzeugen kann auf Grund von z.T. verschiedenen Prozessen zwischen **Instandhaltung** und **Neubau** unterschieden werden. Bei der Instandhaltung werden z.B. Reparaturen von Lackschäden durchgeführt oder eine Neulackierung der Außenflächen vorgenommen.

### 3.5.1 Instandhaltung

#### 3.5.1.1 Allgemeine Informationen

Im Rahmen der Wartung und Instandhaltung von Flugzeugen, wird die Lackbeschichtung ausgebessert oder komplett neu aufgebaut. Die Lackapplikation erfolgt ausschließlich manuell. Die Auswahl des Lacksystems richtet sich nach Herstellervorgaben, internationalen Bestimmungen und Kundenwünschen. Die Flugzeuginstandhaltung wurde im Rahmen dieser Studie bei der Lufthansa Technik AG, am Standort Hamburg untersucht.

#### 3.5.1.2 Verwendete Prozesse und Verfahren

Die Lackierarbeiten werden in geschlossenen Hallen durchgeführt, so dass Temperatur und Luftfeuchtigkeit regulierbar sind. Zur Abscheidung von Farbstäuben verfügen die Hallen über einen Farbnebelabscheider im Abluftstrom. Die applizierten Lacke trocknen bei Raumtemperatur.

#### Entlackung

Im Rahmen der Wartung und Instandhaltung werden Primer und Decklack alle 6 bis 8 Jahre oder z.B. bei einem Airlinewechsel wesentlich früher, (v.a. bei Leasinggesellschaften) oft schon nach 1 – 2 Jahren vom Flugzeug entfernt. Die Entlackung erfolgt einerseits aus optischen Gründen andererseits um die Flugzeughülle auf Spuren von Korrosion oder Verschleiß zu untersuchen. Die Entlackung erfolgt üblicherweise überwiegend auf chemischem Wege mit Abbeizmitteln. Die Hochdruckentlackung mit Wasser, die aus Umweltschutzgründen favorisiert wurde, wird aufgrund zu hoher mechanischer Belastungen, nicht mehr angewendet. Zur Reinigung der Außenflächen wird das Flugzeug zunächst mit Wasser und alkalischem Reinigungsmittel in der Lackierhalle gewaschen. Nach Trocknung werden Fenster, Bauteile aus Verbundwerkstoffen sowie das Fahrwerk maskiert.

---

Die nachfolgende Entlackung besteht aus chemischem Beizen oder mechanischem Ab- bzw. Anschleifen. Für das **chemische Beizen** wird als Entlackungsmittel ein wasserbasiertes alkalisches Benzylalkohol-Ameisensäure-Gemisch im Airless-Verfahren appliziert. Fugendichtmittel (sog. Sealer) werden mechanisch aus Fugen entfernt. Bei Verbundwerkstoffen und z.T. auch Metalloberflächen erfolgt die Vorbehandlung durch **Schleifen**.

### **Reinigung**

Aufgequollenen Lackreste und Entlackungsmittel werden mit Wasser abgespült. Abschließend erfolgt eine wässrig-alkalische Neutralisation und Reinigung. Vor der Neubeschichtung wird die Oberfläche manuell (Lappen) mit Lösemitteln gereinigt. Dazu wird ein Butylacetat-Isobutanol-Gemisch verwendet.

### **Vorbehandlung**

Vor der Grundierung wird bei Metalloberflächen ein lösemittelhaltiger Washprimer aufgetragen. Das spritzfertige Material enthält ca. 76 % organische Lösemittel sowie ca. 14 % Zinkchromat im Festkörper für die Härtungsreaktion des Lackes. Die Applikation erfolgt im Druckluftverfahren mit elektrostatischer Unterstützung. Bisher sind keine chromatfreien Produkte verfügbar.

Bei GFK-Oberflächen ist die Anwendung eines Washprimers nicht erforderlich

### **Grundierung**

Für die Grundierung sind derzeit zwei Materialvarianten im Einsatz:

- Zwischenprimer auf Polyurethan- oder Epoxidbasis ohne Chromaten mit ca. 70 % organischen Lösemitteln
- Zwischenprimer mit ca. 20 % Strontiumchromat im Festkörper mit ca. 67% organischen Lösemitteln

Chromathaltige Zwischenprimer werden aus Gründen des Korrosionsschutzes für Einsatzbedingungen unter hoher Luftfeuchtigkeit und hohem Salzgehalt der Atmosphäre oder auf speziellen Kundenwunsch appliziert. Etwa 10 % der Flugzeuge werden mit diesem Material beschichtet. Die Applikation erfolgt im Druckluftverfahren mit elektrostatischer Unterstützung.

---

## **Decklack**

Als Decklackmaterialien werden konventionelle 2K-Lacksysteme mit ca. 61 Gew. %, sowie 3K-High-Solid-Systeme mit ca. 43 Gew. % organischen Lösemitteln appliziert. Beide Decklacksysteme sind blei- und chromatfrei. Das konventionelle Decklacksystem wird ausschließlich auf Kundenwunsch verarbeitet. Die Applikation erfolgt im Druckluftverfahren mit elektrostatischer Unterstützung.

## **Klarlack**

Konventionelle Decklacke werden üblicherweise mit Klarlack beschichtet. Bei der Verwendung von High-Solid-Decklacken ist der Auftrag von Klarlack nicht notwendig und wird daher nur auf besonderen Kundenwunsch durchgeführt. Die Applikation erfolgt im Druckluftverfahren mit elektrostatischer Unterstützung [LUFTHANSA TECHNIK 2001].

### **3.5.1.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte**

Aufgrund der verschiedenen Flugzeuggeometrien erfolgt die Beschreibung der Verbrauchsmengen am Beispiel einer B 747-400, der zur Zeit aktuellen Version des Modells (vgl. Tabelle 3-15). Die zu beschichtende Oberfläche beträgt ca. 2.780 m<sup>2</sup> [LUFTHANSA TECHNIK 2001].

Tabelle 3-15: Verbrauchsmengen am Beispiel der Lufthansa Technik [Lufthansa Technik2001]

| Prozessschritt       | Material   | Verbrauchs-menge | Lösemittelgehalt | VOC-Emission<br>(pro beschichteter B747)  |
|----------------------|--|------------------|------------------|---|
| Entlackung           | Beizmittel   | 3000 kg          |                  | kein VOC nach Definition der RL1999/13/EG |
| <b>Vorbehandlung</b> | Washprimer auf Polyvinylbutyral-basis, chromathaltig | 240 kg           | 76 %             | 182 kg                                    |
|                      | Zwischenprimer, <i>chromathaltig</i>                 | 450 kg           | 67 %             | 301 kg                                    |
|                      | Zwischenprimer, <i>chromatfrei</i>                   | 450 kg           | 71 %             | 319 kg                                    |
| <b>Reinigung</b>     | Butylacetat-Isobutanol                               | 250 kg           | 100 %            | 200 kg                                    |
| <b>Decklack</b>      | Decklack, <i>High-Solid</i>                          | 1200 kg          | 43 %             | 516 kg                                    |
|                      | Decklack, <i>konventionell</i>                       | 1300 kg          | 61 %             | 793 kg                                    |
| <b>Klarlack</b>      | Klarlack <i>konventionell</i>                        | 1200 kg          | 65 %             | 780 kg                                    |

Je nach verwendeten Lacksystemen beträgt die VOC-Emission pro lackiertem Flugzeug (B747) 1,2 – 2,3 t. Bei der Verwendung von High-Solid Decklack reduziert sich die emittierte VOC-Menge um ca. 1 t im Vergleich zum konventionellem Decklack mit nachfolgendem Klarlackauftrag. Eine Abgasreinigungsanlage zur Abreinigung der VOC-beladenen Abluft ist auf Grund der sehr großen Volumenströme (ca.450.000 m<sup>3</sup>/h) und der geringen Beladung nicht im Einsatz [Lufthansa Technik 2001].

In der untersuchten Anlage darf entsprechend der Genehmigung die Menge der leichtflüchtigen, organischen Lösemitteln laut Genehmigungsbescheid 180 t/a nicht überschreiten. Dabei wird (als Referenzmodell) von der Komplettlackierung von 150

---

Flugzeugen vom Typ A-300 pro Jahr, ausgegangen. Da in der Anlage verschiedene Flugzeugtypen bearbeitet und zum Teil auch nur Teile lackiert werden, betrug die VOC-Emission im Jahr 2000 67 t aus Lackier- und Reinigungsvorgängen [Lufthansa Technik 2001]. Der Schwellenwert für den Lösemittelleinsatz von 150 kg / h wird bei bestimmten Lackierprozessen durch die übliche, gleichzeitige Lackapplikation von mehreren Mitarbeitern (bis zu 12 Lackierer) kurzfristig überschritten [LUFTHANSA TECHNIK 2001].

### **3.5.1.4 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Zur Reduktion der VOC-Emissionen bei der Instandhaltung, können nur prozessintegrierte Maßnahmen angewendet werden. Elektrostatische Applikationsverfahren stellen derzeit den Stand der Technik dar. Für die Entlackung ist der Einsatz von Benzylalkohol-Ameisensäure, als Abbeizmittel, ein geeignetes Verfahren dar, bei dem nur geringe Emissionen auftreten.

Für den Einsatz unter normalen klimatischen Beanspruchungen der Flugzeuge, kann ein chromatfreier Zwischenprimer appliziert werden [Lufthansa Technik 2001]. Durch Verwendung von High-Solid-Decklacken ohne Klarlackschicht, kann die VOC-Emission stark reduziert werden. Die High-Solid-Lacksysteme sind inzwischen in ihren technischen und optischen Eigenschaften mit konventionellen Lacken vergleichbar oder diesen sogar überlegen [Lufthansa Technik 2001].

### **3.5.1.5 Auswahl der besten verfügbaren Techniken**

Folgende Techniken können für die Instandhaltung eingesetzt werden:

- Entlackung mit Benzylalkohol-Ameisensäure
- Applikation chromatfreier Zwischenprimer
- Auftrag von High-Solid Decklacksysteme ohne zusätzlichen Klarlackauftrag
- Lackapplikation mit elektrostatischer Unterstützung
- Abwasserbehandlung: Das Abwasser wird einer zentralen Abwasserbehandlung zugeleitet mit der sichergestellt werden kann, dass bei Cr VI 0,1 mg/l und Cr gesamt 5 mg/l sicher eingehalten werden.

---

## 3.5.2 Flugzeugneubau

### 3.5.2.1 Verwendete Prozesse und Verfahren im Flugzeugneubau

Da die Hersteller Gewährleistungen bei Korrosionsschäden etc. für eine Dauer von 25 Jahren garantieren, können nur bestimmte Lacksysteme appliziert werden. Auch erfolgt die Lackierung, wie im Bereich der Instandhaltung, auf Kundenwunsch.

#### Einzelteillackierung

Beim Flugzeugneubau werden teilweise Einzelteile bereits vor der Montage beschichtet. Im Bereich der Einzellteillackierung werden die zu beschichtenden Werkstücke vorbehandelt, geprimert und decklackiert. Ein Washprimer wird dabei nur in Ausnahmefällen angewendet [FANGMEIER 2001]) Nur bei der Einzellteillackierung werden zunehmend Flächenspritzautomaten sowie Infrarot- oder Konvektionstrockner eingesetzt. Die zu beschichtende Oberfläche der Einzelteile beträgt dabei etwa das vierfache der zu lackierenden Flugzeugaußenflächen. Zulieferteile werden bereits beim Zulieferer mit einer Grundierung (chromatierter Basisprimer) versehen.

#### Außenlackierung

Die Außenflächen des fertig montierten Flugzeugs werden dann manuell lackiert. Die verwendeten Prozesse und Verfahren wurden bei der AIRBUS Deutschland GmbH am Standort Hamburg untersucht.

Da die Endlackierung nach dem ersten Flug erfolgt, können hierfür nur Lacke verwendet werden, die bei Raumtemperatur aushärten. Derzeit werden überwiegend lösemittelhaltige Lacke (mit Lösemittelanteilen von etwa 55 – 65 %) eingesetzt; jedoch nimmt der Anteil an High-Solid-Lacken (mit einem Lösemittelanteil zwischen 30 und 40 %) allmählich zu. [BAUMANN 1997]

Die Lackierarbeiten werden, ebenso wie bei der Instandhaltung, in geschlossenen Hallen durchgeführt. Die applizierten Lacke trocknen bei Raumtemperatur. Zuerst wird der Rumpf lackiert; wenn dieser vollständig getrocknet ist, wird er in Packpapier eingepackt, und die Tragflächen werden lackiert. Die einzelnen Lackschichten werden im Naß-in-Naß-Verfahren aufgetragen. Der Lackierprozess gliedert sich in die folgenden Schritte auf: **Vorbehandlung, Auftrag des Washprimers, Auftrag des Primers, Decklackierung** [BAUMANN 1997].

---

## **Vorbehandlung**

Vor der Außenlackierung werden Verunreinigungen, z.B. Kerosin, Fette und Öle, entfernt. Bei der Vorbehandlung wird der gesamte Rumpf mit Lösemittel abgewaschen. Pro Flugzeug werden für alle Reinigungsvorgänge ca. 200 l verbraucht [AIRBUS 2002]. Anschließend erfolgt eine Chromsäureanodisierung, die eine künstliche, dickere Oxidschicht für einen verbesserten Korrosionsschutz erzeugt. Anschließend wird der chromathaltige Basisprimer trocken angeschliffen (aktiviert), und der gesamte Rumpf schließlich nochmals manuell mit Lösemittel gereinigt.

## **Auftrag des Washprimers**

Nach der Vorbehandlung werden zunächst die nicht zu lackierenden Teile des Flugzeugs abgeklebt und im Anschluss der *Washprimer* durch elektrostatisches Spritzen manuell aufgetragen. Der Washprimer ist ein lösemittelhaltiger, chromathaltiger Lack auf Basis von Epoxid- oder Polyurethanharzen oder Polyvinylbutyral (PVB) mit einem Lösemittelgehalt von 75 – 90 %. Die Washprimerschicht hat eine Dicke von 8 bis 10 µm. Der spritzfertige Lack wird direkt vor dem Auftrag aus Stammlack, Härterkomponente und Verdünner gemischt. Als Korrosionsschutzpigmente wird Strontium- oder Zinkchromat eingesetzt. Nach dem Auftrag wird bei Raumtemperatur abgelüftet.

## **Auftrag des Primers**

Auf den Washprimer wird der Primer, ein lösemittelhaltiger Epoxidharz- oder Polyurethanlack, elektrostatisch, manuell appliziert. Der Lösemittelanteil derartiger Primer liegt bei etwa 50 – 65 %; der Anteil der Korrosionsschutzpigmenten (Strontium- oder Zinkchromat) beträgt 10 - 20 %. Die aufgetragene Schichtdicke liegt zwischen 15 und 25 µm. Nach dem Auftrag wird bei Raumtemperatur abgelüftet.

## **Decklackierung**

Die Decklackierung kann je nach Kundenwunsch sehr unterschiedlich sein, jedoch werden für die Außenlackierung von Flugzeugen ausschließlich lösemittelhaltige 2-K-Lacke mit einem Lösemittelgehalt von 55 – 65 % appliziert. Die Decklackierung wird in Abhängigkeit des Farbtones in zwei bis vier Schichten durch elektrostatisches, manuelles Spritzen aufgetragen. Je nach Farbton ist auch mit unterschiedlichen Schichtdicken zu rechnen; in der Regel liegt die Schichtdicke der Decklackierung zwischen 60 und 100 µm. Nach dem Auftrag der ersten Schicht wird abgelüftet, bevor anschließend die zweite Schicht aufgetragen wird. Vor Auftrag einer dritten Schicht wird ca. 1 Stunde abgelüftet. Die drei Decklackschichten werden

---

nachfolgend getrocknet. Anschließend kann die Dekorlackierung mittels Lackierung oder aufgeklebter Folien erfolgen. Für die Außenlackierung werden neben den konventionellen Lacken High-Solid-Lacke mit Feststoffgehalten von ca. 70 % eingesetzt. Nachfolgend kann auf Kundenwunsch, ein Klarlack aufgetragen werden.

### **Temporäre Korrosionsschutz**

Der sog. temporäre Korrosionsschutz wird durch den Auftrag von wasserabweisenden, korrosionsinhibierenden Schichten im Innenbereich erzielt. Der Korrosionsschutz verbleibt dauerhaft im Flugzeug. Hauptbereiche sind Türen, Tore, Fahrwerksschächte, und sog. Unterflurbereiche sowie Frachträume. Temporäre Korrosionsschutzmittel sind in Lösemitteln gelöste, wachsartige Substanzen aus Mineralölkohlenwasserstoffen. Die Applikation erfolgt mit Pinsel oder durch Spritzapplikation. Der Lösemittelgehalt der Produkte beträgt ca. 40 – 60 Gew. %. Pro Flugzeug werden ca. 60 – 80 l verarbeitet.

#### **3.5.2.2 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte**

##### **Verbrauch von Eingangsstoffen**

Für die Bestimmung der Verbrauchsmengen, sind die zu beschichtenden Flächen zu bestimmen. Dabei muss neben der Außenlackierung v.a. die Innenlackierung im Rahmen der Einzelteillfertigung und der Innenflächen des Flugzeugs berücksichtigt werden. Die Arbeitszeit für die Außenlackierung eines Flugzeugs beträgt acht Tage, wovon allerdings die meiste Zeit für Abkleben, Einpacken, Auspacken und Nacharbeiten verbraucht wird. Die größte Lackmenge wird bei der Einzelteillackierung appliziert. Die zu beschichtende Fläche ist etwa 4 mal größer, als die Fläche der Flugzeugaußenlackierung [FANGMEIER 2001]. In der Tabelle 3-16 sind die zu beschichtenden Flächen am Beispiel einer A 320 (ca. 150 Passagiere) dargestellt.

Tabelle 3-16: *Beschichtete Oberfläche am Beispiel einer A 320 [FANGMEIER 2001]*

| <b>Beschichtende Oberfläche</b> | <b>Fläche [m<sup>2</sup>]</b> | <b>Lackschichten</b> |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Einzelteile                     | 3.600                         | 1 – 2                |
| Außenanstrich                   | 1.200                         | 2 – 4                |
| Innenausstattung                | 500                           | 2                    |
| Nietkopfkonservierung           | 10.000 lfdm*                  | 1 – 2                |

(\*lfm: Laufende Meter)

---

Für die Lackierung einer A321 (ca. 180 Passagiere) beträgt die Fläche der Einzelteil- und Innenlackierung ca. 3600 m<sup>2</sup>, die der Außenlackierung ca. 945 m<sup>2</sup>. Das aufgetragene, abgetrocknete Lackmaterial hat ein Gewicht von 380 kg [FANGMEIER 2001].

Für einen durchschnittlichen Decklackaufbau bestehend aus Washprimer, Primer und Decklack, kann von einer aufgetragenen Lackmenge von ca. 0,9 kg/m<sup>2</sup> für die Außenlackierung ausgegangen werden [AIRBUS 2002]. Für die Einzelteillackierung sowie für die einzelnen Lackschichten der Außenlackierung, konnten keine Daten erhoben werden. Verbrauchsmengen finden sich bei Baumann (vgl. Tabelle 3-17).

Tabelle 3-17: *Verbrauch von Eingangstoffen bei der Flugzeugaußenlackierung* [BAUMANN 1997]

| Lackschicht bzw. Prozessschritt | Verbrauchswerte und Kommentare   |
|---------------------------------|--|
| Vorbehandlung                   | 200 l Lösemittel (30 % Isobutanol und 70 % Butylacetat) für 600 m <sup>2</sup> |
| Washprimer                      | 75 kg Nasslack (für den Rumpf); Overspray: ca. 20 % Verlust                    |
| Primer                          | 100 kg Nasslack (für den Rumpf); Overspray: ca. 20 % Verlust                   |
| Decklack                        | 200 kg Nasslack (für den Rumpf)  |

### Emissionen in die Luft

Bei einem durchschnittlichen Lackauftrag von ca. 0,9 kg/m<sup>2</sup> im Bereich der Außenlackierung, werden **ca. 600 g/m<sup>2</sup> VOC** emittiert. Die Staubmenge pro m<sup>2</sup> Abluft liegt deutlich unterhalb von 1 mg / m<sup>3</sup> [AIRBUS 2002]. Ausgehend von 450 kg Lösemittel-Emissionen pro Flugzeug ergeben sich für eine Anlage mit einer Kapazität von 60 Flugzeuge/a Gesamtemissionen von 27 t pro Jahr für die Außenlackierung [BAUMANN 1997].

Da die Fläche der Innenlackierung in grober Näherung ca. das Vierfache der Fläche der Außenlackierung ausmacht, kann für die Innenlackierung (die i.d.R. an anderen Standorten als Innenteilelackierung durchgeführt wird) eine Gesamtemission von maximal 100 t pro Jahr abgeschätzt werden. Im Werk der AIRBUS Deutschland GmbH in Nordenham, betrug der Lösemittelleinsatz im Jahr 2000 ca. 131 t / a. Im Werk Hamburg dürfen laut Genehmigung maximal 69 t / a verarbeitet werden [AIRBUS 2002]. Im Jahr 2001 wurden dort ca. 70 Flugzeuge produziert. Der Schwellenwert der IVU-Richtlinie von 150 kg / h wird ebenfalls nicht erreicht [AIRBUS 2002].

Die in Deutschland existierenden Anlagen des Flugzeugneubaus, erreichen wahrscheinlich nicht die Mengenschwellen der IVU-Richtlinie.

---

## **Abwasser**

Mit Lackschlamm beladenes Abwasser fällt aus der Lackschlammauswaschung an. [BAUMANN 1997]. Die Behandlung des Waschwassers ist mit den Prozessen in der PKW-Serienlackierung vergleichbar (vgl. Kap. 2.2.7).

## **Abfälle**

Bei der Lackierung von Flugzeugen fallen die nachfolgenden Abfälle in der Regel an:

- anfallende Lackschlämme (Sonderabfall),
- Trockenfilter,
- Einwegpapieranzüge,
- Putzlappen,
- Lösemittel (recycelt),
- Packpapier (recycelt),
- Folien,
- Schleifstäube,
- Leere Lackgebinde. [BAUMANN 1997]

## **Energiebedarf**

Angaben zum Energiebedarf konnten nicht ermittelt werden.

### **3.5.2.3 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Zur Reduktion der VOC-Emissionen lassen sich im Flugzeugneubau vor allem prozessintegrierte Maßnahmen einsetzen. Abluftreinigungsanlagen werden, wie bei der Instandhaltung, auf Grund der großen Abluftströme und des diskontinuierlichen Betriebs der Anlagen bisher nicht eingesetzt.

Zur Reduktion der VOC Emissionen können bei der Flugzeuglackierung in einigen Bereichen lösemittelarme Produkte verwendet werden. So kann an Stelle des konventionellen 3-Schichtsystems (Washprimer, Primer, Decklack) ein High-Solid-System aus Epoxidprimer mit nachfolgendem Auftrag von High-Solid-Decklack erfolgen. Im Vergleich zum konventionellen System verringern sich die VOC-Emissionen um ca. 30 %. Die Nachteile dieses Verfahrens liegen in den höheren Materialpreisen und der aufwändigeren Entlackung bei der Flugzeuginstandsetzung. Das Lacksystem lässt sich nicht durch Entlackungsmittel abbeizen [LUFTHANSA TECHNIK 2001], sondern muss mechanisch durch Schleifen entfernt werden. Dabei werden chromathaltige Schleifstäube frei, die ein Gesundheitsrisiko darstellen. Chromatfreie Primer werden im Flugzeugneubau auf Grund der Herstellergewährleistung gegen Korrosion nicht durchgehend verarbeitet. Aus den aufgeführten Gründen wird das

---

Lacksystem von europäischen Kunden nicht nachgefragt, sondern vorwiegend bei Flugzeugen für den amerikanischen Markt appliziert [AIRBUS 2002].

Neben einer Reduktion des Lösemittelgehaltes der applizierten Produkte können die Emissionen durch verbesserte Auftragsverfahren verringert werden. Elektrostatische Applikationsverfahren stellen derzeit den Stand der Technik dar.

Im Bereich der Kleinteillackierung führt die Verwendung von automatischen Lackieranlagen in Kombination mit Abluftreinigungsanlagen zu einer Einsparung an Lackmaterialien und Emissionen.

### **3.5.2.4 Vorschlag der besten verfügbaren Techniken**

Folgende Techniken können für den Neubau von Flugzeugen empfohlen werden:

- Konventionelles 3-Schichtsystem (Washprimer, Primer, Decklack) mit High-Solid-Decklack ohne Klarlackauftrag
- Lackapplikation mit elektrostatischer Unterstützung für die Außenlackierung
- Automatische Lackapplikation mit Abluftreinigung für die Kleinteilelackierung

### **3.5.2.5 Neue fortschrittliche Verfahren**

Für den Bereich der Innenlackierung befinden sich wasserverdünnbare Lacke in der Entwicklung. Bisher können wasserverdünnbare Produkte auf Grund geringerer Chemikalienbeständigkeit (Hydrauliköle etc.) verwendet nicht werden [AIRBUS 2002]. Ein großes Einsparpotential an VOC ergibt sich aus der Anwendung eines 2-Schicht-Lacksystems (vgl. Abschnitt 3.5.2.3). Für dieses System laufen Entwicklungen, um die Flugzeugentlackung auch durch chemisches Abbeizen vorzunehmen.

---

## 3.6 Lackierung von Schienenwagen

### 3.6.1 Allgemeine Informationen

An die Lackierung von Schienenfahrzeugen werden neben den optischen Ansprüchen insbesondere hohe Anforderungen an den Korrosionsschutz gestellt. Die Lackierung muss eine hohe Wetterbeständigkeit, Resistenz gegen Stäube aus Kohlenbürstenabrieb aufweisen, sowie beständig gegen aggressive Reinigungsmittel (Graffitientfernung) sein [Pires 2001]. Lokomotiven werden bei der Deutschen Bahn AG etwa alle 8 Jahre mit einer neuen Außenlackierung versehen.

### 3.6.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Der Aufbau der Lackierung wird hinsichtlich der zu verwendenden Materialien, Farbgebung und Schichtstärken in der Regel vom Kunden festgelegt (vgl. Tabelle 3-18). Thermische Nachverbrennungsanlagen für die Behandlung der Abluftströme aus Trocknern und Lackierhallen sind auf Grund des diskontinuierlichen Betriebs und der großen Abluftströme mit geringer Beladung bei kleineren Anlagen nicht im Einsatz [ZIEMS 2002]. Z.T. wird bei größeren Anlagen die lösemittelhaltige Abluft des Trockners einer Abgasreinigung zugeführt. Bei der Beschreibung der Prozesse kann zwischen der **Lackierung von Neufahrzeugen** und der Lackierung im Zuge von **Instandhaltung** unterschieden werden. Beide Tätigkeiten finden in der Regel auch in den Herstellungsbetrieben statt. Die verwendeten Lacksysteme sind identisch, daher werden im Folgenden die Besonderheiten der Instandhaltung skizziert.

#### Instandhaltung

Im Wesentlichen sind folgende Tätigkeiten bei der Instandhaltung von Bedeutung im Hinblick auf den Umweltschutz:

- **Ausbesserung im Finish oder Reparatur:** Der Anstrich wird nur stellenweise abgeschliffen und erneuert.
- **Ganzlackierung von Altfahrzeugen:** In Abhängigkeit vom Lackzustand erfolgt ein Abschleifen bis auf die Grundierung oder ein vollständiges Entfernen der Lackierung durch Strahlen (siehe nachfolgenden Anstrich) [BAUMANN 1997, NEUTZLER 2001].
- **Entlackung und Neuanstrich:** Beim Umbau eines Waggons wird der alte Anstrich z.T. vollständig durch Strahlen entfernt oder die Lackierung bis auf die Grundierung abgeschliffen und eine Neulackierung aufgetragen. In der Regel erfolgt die Entlackung per Hand durch Strahlen. Für die Entlackung von Edelstahl- und

---

Aluminiumuntergründen (z.B. Aufbauten) wird als Strahlmittel z.B. Elektrokorund als mineralisches Mehrwegstrahlmittel eingesetzt, für die Entlackung von Schwarzstahl wird Stahlkies verwendet. Abschließend wird durch Abblasen mit Luft entstaubt [NEUTZLER 2001].

Da die verwendeten Lacksysteme im Neubau und der Instandhaltung identisch sind, erfolgt die Beschreibung der verwendeten technischen Prozesse und Verfahren an Hand des Neubaus von Schienenfahrzeugen .

### **Lackierung von Neufahrzeugen**

In der Tabelle 3-18 ist der Lackaufbau für Wagenkästen am Beispiel der Vorschriften der Deutschen Bahn AG dargestellt. Der dargestellte Schichtaufbau stellt eine von vielen Möglichkeiten dar.

Tabelle 3-18: Lackaufbau für Schienenwagen in Anlehnung an die technischen Fertigungsbedingungen der DB AG [NEUTZLER 2001]

| Gegenstand   | Beschichtungsaufbau  | Beschichtungsstoff<br>LM = lösemittelbasiert<br>W = wasserlöslich  | Soll-Trockenschichtdicke [um]                               |
|--|--|--|---|
| <b>Wagenkasten kompl.</b>  | Oberflächenvorbehandlung   | Strahlen   |   |
| <u>Außenanstrich</u>   |  |  |   |
| Stirn- und Seitenwände einschl.<br>Fenster- und Türumrandungen<br>Dachvoute und glatte, gewölbte<br>Dächer GFK-Kopf<br>(jedoch ohne Punkt 1) | 1. Grundanstrich<br>2. Spachtel<br>3. Zwischenanstrich<br><br>alternativ:<br><br>4. Decklack<br>oder<br>Decklack<br>oder<br>Decklack<br>oder<br>Decklack | EPW- Metallgrund<br>UP-Spachtel LM<br>PUR- bzw. EP Grundfarbe W<br><br>PUR-Grundfarbe LM<br><br>PUR-Lackfarbe LM<br>PUR-Lackfarbe W<br><br>Basislack W<br>mit 2 K Klarlack LM<br>PUR-Lackfarbe LM<br>mit Antigraffitiklarlack LM | 60<br>60<br>60<br>60<br>40<br>40<br>20-30<br>40<br>40<br>40 |
| Dach<br>(Wannendach bzw. gesickte<br>Dachbleche)   | 1. Grundanstrich<br>2. Decklack<br>alternativ:   | EPW-Metallgrund<br>EPW-Dickschichtlackfarbe<br>EP – DS – Lackfarbe LM  | 80<br>140<br>140  |
| Untergestell<br>Unterboden<br>Bodenwanne<br>Holzfußbodenplatten  | 1. Grundanstrich<br>2. Decklack<br>alternativ<br>alternativ:   | EPW – Metallgrund<br>EPW - Dickschichtlackfarbe<br>EP – DS – Lackfarbe LM<br>1 K Unterbodenschutz  | 60<br>140<br>140<br>200                                     |
| Drehgestelle   | 1. Grundanstrich<br>alternativ<br>2. Decklack<br>alternativ:<br>DIN – Teile  | EPW – Metallgrund<br>EP – Metallgrund<br>EPW – Dickschichtlackfarbe<br>EP - DS – Lackfarbe<br>Schutzwachs  | 60<br>60<br>140<br>140                                      |
| <u>Innenbeschichtung</u>   |  |  |   |
| Dach, Seiten- u.<br>Stirnwandflächen<br>Fußboden   | 1. Grundbeschichtung<br>2. Decklack<br>alternativ:<br>3. Spaltabdichtung<br>4. Entdröhnung   | EPW- Metallgrund<br>EPW- Dickschichtlackfarbe<br>EP – DS – Lackfarbe LM<br>Dichtmasse<br>Kurzharzdispersion wässrig  | 100<br>140<br>140<br>2 – 3 mm                               |

PUR: Polyurethan, EP: Epoxid, DS: Dickschicht,

---

### **3.6.2.1 Vorbehandlung der Rohbaukarosse**

Die Rohkarosse wird nach Bedarf (v.a. bei Aluminium) nach der Montage durch eine wässrig-alkalische Reinigung entfettet. Anschließend wird die Oberfläche durch Strahlen (Außen und Innen) für die Lackierung vorbereitet. Das Strahmaterial wird teilweise wiederverwertet (mineralische Mehrwegstrahlmittel).

### **3.6.2.2 Grundierung (Außen und Innen)**

Die Grundierung erfolgt auf dem gesamten Waggon, d.h. auf Dach, Seitenwände und Sickenboden, z. B. mittels Airless-Spritzen. Neben konventionellen Lack-Systemen sind wasserverdünnbare, chromatfreie zweikomponentige, aminhärrende Epoxidlacke verfügbar. Der Lösemittelgehalt dieser Systeme liegt bei ca. 3-5 %. Die applizierten Schichtdicken bei Dach und Seitenwänden liegen bei etwa 60 - 100 µm, am Sickenboden bei ca. 200 µm. [BAUMANN 1997]

Kleinteile, wie z.B. Gepäckablagen, werden mit einem lösemittelhaltigen Beschichtungsmaterial lackiert oder pulverbeschichtet [NEUTZLER 2001].

### **3.6.2.3 Spachteln**

Nach Trocknung der Grundierung wird ein Spachtel aufgetragen (16 % Lösemittel, davon 8% reaktiv, nicht emissionswirksam), um grobe Unebenheiten zu verdecken. Am Anschluss werden die Seitenteile des Waggons, nach dem Trocknen des Spachtels an der Luft, erneut angeschliffen, mit Druckluft entstaubt und mit Lösemittel entfettet. [BAUMANN 1997] Häufig wird eine sog. Minimalspachtelung, lediglich im Bereich der Schweißnähte vorgenommen. [NEUTZLER 2001].

### **3.6.2.4 Füller (i.d.R. nur Außen)**

Der Füllerauftrag auf Seitenwände erfolgt mittels Airmix-Spritzverfahren. Beim Füller handelt es sich um einen zweikomponentigen, aminhärrenden Epoxidlack auf Wasserbasis mit einem Lösemittelgehalt von ca. 3 % oder um lösemittelhaltige PUR-Füller mit ca. 60 % Lösemittel. Die Trockenschichtdicken liegen bei ca. 60 µm. Die Trockenzeit beträgt 2 bis 3 Stunden bei einer forcierten Trocknung bei etwa 80 °C an der Luft (Umlufttrocknung). Bei fertig ausgebauten Fahrzeugen darf die Objektemperatur 45 °C, auf Grund der Elektroinstallationen, nicht überschreiten. [BAUMANN 1997, NEUTZLER 2001]

---

### **3.6.2.5 Decklackierung (i.d.R. nur Außen)**

Je nach Art des Waggons wird der Decklack in mehreren Schichten aufgebracht (z.B. nach den Anforderungen der Deutschen Bundesbahn: 2K-PUR Decklack, wasserverdünntbar mit ca. 10 % Lösemittelgehalt). Für einen CityBahnwagen werden z. B. sechs verschiedene Farbtöne eingesetzt, davon drei für die Seitenwände, jeweils einer für das Dach, für den Boden und- für die Drehgestelle. Der Auftrag der Decklackierung erfolgt durch Airmix-Spritzverfahren. Überwiegend werden noch konventionelle Deck- und Klarlacksysteme appliziert. Wasserverdünnbare Systeme sind zwar verfügbar, werden jedoch von Auftraggebern oft nicht akzeptiert. Die Verwendung dieser Lacksysteme wird nach den Lieferbedingungen der Bahn AG akzeptiert [ZIEMS 2002]. Zwischen den einzelnen Lackierschritten müssen die aufgetragenen Lackschichten jeweils etwa eine Stunde ablüften und anschließend eine halbe Stunde bei 50 - 60 °C trocknen. Nach zwei Stunden sind sie abklebefest, worauf die fertigen Lackschichten abgeklebt werden und die nächste Schicht aufgetragen wird. Die Schichtdicke an den Seitenwänden betragen je Schicht etwa 40 µm (d.h. je nach Anzahl der Schichten bis zu 120 µm) und im Dachbereich ebenfalls ca. 120 µm. [BAUMANN 1997]

### **3.6.2.6 Unterbodenschutz**

Der Boden wird z. B. mit einem wasserverdünnbaren Unterbodenschutz bzw. Steinschlagschutz mittels Airless-Spritzverfahren beschichtet. Die Schichtdicke beträgt mindestens 140 - 200 µm.

---

## **3.6.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte**

In der Tabelle 3-19 ist der Verbrauch an Beschichtungsstoffen für einzelne Lackschichten aufgeführt. Der Lösemitteleinsatz aus Lacken, Verdünnern und Reinigern betrug im untersuchten Werk für das Jahr 1999 ca. 177,6 t. Die in der IVU-Richtlinie angegebenen Mengenschwellen werden damit nicht erreicht. Daten für einzelne Lackschichten konnten im untersuchten Werk nicht ermittelt werden.

Tabelle 3-19: *Verbrauch von Eingangsstoffen pro beschichtetem Waggon* [BAUMANN 1997]

| Lacksystem und ggf. Substrat     | Verbrauch [kg] |
|----------------------------------|----------------|
| Grundierung                      | 200            |
| Füller                           | 35 bis 40      |
| Decklack:                        |                |
| Dach                             | 35             |
| Fensterband                      | 35             |
| Begleitstreifen                  | 5              |
| Seitenwand unterhalb der Fenster | 15             |
| Unterbodenschutz                 | 150 bis 200    |

### 3.6.3.1 Emissionen in die Luft

Eine Abluftreinigung findet im allgemeinen nur in Bezug auf Stäube (Strahlmittelstäube, Lackpartikel) statt, wobei Emissionswerte von mindestens  $< 3 \text{ mg/m}^3$  erreicht werden. VOC aus Lackierprozessen werden zum großen Teil als direkte und diffuse Emissionen in die Umwelt eingetragen. Bei einigen genehmigungsbedürftigen Anlagen werden bereits Abluftreinigungsanlagen nach Trockner mit denen Emissionswerte von  $< 50 \text{ mg C/m}^3$  eingehalten werden können, betrieben. Bei Verwendung eines serienmäßig angewendeten lösemittelbasierten Lacksystems, (bestehend aus den Schichten 1-4, vgl. Tabelle 3-18) und wenn keine Abgasreinigung nach Trockner eingesetzt wird, werden durchschnittlich **326 g/m<sup>2</sup> VOC** emittiert [ZIEMS 2002]. Von den im untersuchten Unternehmen im Jahr 1999 eingesetzten 177, 6 t Lösemitteln, wurden ca. 134,08 t emittiert (eine Abgasreinigung nach Trockner existiert nicht). 53,52 t wurden als Abfall entsorgt.

### 3.6.3.2 Abwasser

Abwasser fällt bei der Nassauswaschung und aus der Reinigung der Spritzgeräte an. [BAUMANN 1997]. Nähere Daten konnten nicht ermittelt werden.

### 3.6.3.3 Abfälle

Bei der Lackierung von Schienenfahrzeugen fallen u.a. die nachfolgenden Abfälle an: Lackschlamm, Zuluftfilter, Reiniger, ausgehärtete Lackreste, Gebinde mit getrockneten Lackrückständen; Abklebepapier, Abklebefolien, Abfallprodukte des mineralischen Strahlmittels [BAUMANN 1997].

---

### **3.6.3.1 Energiebedarf**

Eine Aussage über den Energiebedarf pro lackierter Einheit ist aufgrund des diskontinuierlichen Betriebes der Anlagen bzw. der ständig wechselnden Rohbauten nicht möglich [NEUTZLER 2001].

### **3.6.4 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Abluftreinigungsanlagen zur Verminderung der VOC-Emissionen sind nur in wenigen Betrieben nach Trockner zu finden, die Emissionsminderung erfolgt im wesentlichen durch die Verwendung von emissionsarmen Beschichtungssystemen.

#### **Lösemittelarme bzw. lösemittelfreie Lacksysteme**

- Der Einsatz von lösemittelarmen bzw. lösemittelfreien Beschichtungssystemen stellt eine Möglichkeit zur Reduktion der VOC-Emissionen dar. Im Neubau befinden sich wasserverdünnbare Systeme für Grundierung und Füller bei einigen Herstellern bereits im Serieneinsatz. Für den Decklackbereich kommen mehrere Varianten in Betracht, deren Einsatz abhängig vom Kundenwunsch, vom Außendesign und von der Verarbeitungstechnologie ist. Für den Decklackbereich (Uni- und Metallic) sind ebenfalls wasserverdünnbare Lacksysteme verfügbar, die trotz guter technischer Eigenschaften von vielen Kunden noch nicht akzeptiert und daher nur vereinzelt angewendet werden [ZIEMS 2002]. Bei Ganzanstrichen und Neulackierungen im Rahmen von Instandsetzungsarbeiten werden von der Deutschen Bahn AG wasserverdünnbare 2K-Lacksysteme für Grundierung, Füller und Decklack, also ein kompletter Wasserlackaufbau, appliziert [GLÜCK 2000, PRIEB 2001]. Die Verarbeitung von wasserverdünnbaren Lacken muss in einer darauf abgestimmten Umgebung erfolgen. Dazu bedarf es für den Applikationsvorgang ggf. einer Luftbefeuchtung und für den Abluft- bzw. Trocknungsvorgang einer Luftentfeuchtung. Bei Metallic-Lackierungen wird im Neubau heute üblicherweise ein konventioneller, lösemittelbasierter Klarlack appliziert.

In Tabelle 3-20 ist ein Beispiel für die Beschichtung der Baugruppen des Rohbaus mit überwiegend wasserverdünnbaren Lack-Systemen aufgeführt. Mit der Verwendung dieses Lacksystems können Emissionswerte von 110 g/m<sup>2</sup> erreicht werden.

Tabelle 3-20: Beschichtung der Baugruppen des Rohbaus mit überwiegend wasserverdünnbaren Lacken [ZIEMS 2002]

| Baugruppe                              | Beschichtungsmaterial  |
|--|--|
| Gesamter Wagenkasten (innen und außen) | Epoxidharz-Metallgrund, wasserverdünnbar   |
| Dach, Unterbau, Innenlackierung        | Epoxidharz-Dickschicht, elastifiziert, wasserverdünnbar oder 1 K-Acryldispersion, wasserverdünnbar |
| Spachtel                               | Partiell, styrolarme Variante  |
| Seiten- und Stirnwände                 | Lösemittelbasierte Epoxidharzlacke und Klarlacke   |

### **Lackauftrag mit verbesserten Wirkungsgrad**

Da im Schienenfahrzeugbau der Lackauftrag manuell erfolgt, können sparsame Airless (Grundierung) und Airmix bzw. HVLP (Dickschicht-Decklackbeschichtung) Spritzpistolen angewandt werden [ZIEMS 2002]:

### **Sparsame Lackversorgungssysteme**

Lackeinsparungen können durch die Verwendung einer stationären 2 K-Anlage erzielt werden. Weitere Einsparungen lassen sich durch Verwendung von nur einer Grundierung für alle Fahrzeugbaureihen erreichen, da Farbwechsel und die damit verbundenen Spülvorgänge entfallen.

### **Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauches**

Bei Spritzkabinen, die mit einer Nassauswaschung ausgerüstet sind, wird das Berieselungswasser über Kaskaden geführt oder über Lufteinleitung umgewälzt. Zusätzlich wird dem Wasser in Abhängigkeit von der zu applizierenden Lackmenge manuell ein Koaguliermittel zugesetzt. Durch diese Maßnahmen kann die Standzeit erheblich verlängert werden.

### **Maßnahmen zur Abfallvermeidung**

Beschichtungsstoffe (Grundierung, Dickschicht), die in großen Mengen eingesetzt werden, können zur Verringerung der Abfallmenge aus Großgebinden (200 l-Fässer) verarbeitet werden.

---

### **3.6.5 Vorschlag der besten verfügbaren Techniken**

Zur Verminderung der VOC-Emissionen sowie zur Senkung des Abfallanfalls und des Wasserverbrauchs können folgende materialspezifischen Techniken in Kombination mit verfahrensspezifischen Techniken empfohlen werden:

#### **Materialspezifische Techniken:**

- Einsatz eines für Grund, Füller und Decklack durchgängigen Wasserlackkonzeptes und Verwendung von konventionellem Klarlack bei Zweischichtlackierungen sowie Einsatz von styrolarmen Spachtelmassen und Minimalspachtelung
- Einsatz von vorbeschichteten Oberflächen (coil-coat) im Güterwagenbau

#### **Verfahrensspezifische Techniken:**

- Reduzierung der lackierten Oberflächen  
z.B. Einsatz von Selbstklebefolien für die dekorative Gestaltung oder als Graffitischutz
- Optimierte Applikationstechnik: HVLP, Airless und Airmix
- Kreislaufführung von Reinigungsverdünnungen durch Destillation sowie Destillation lösemittelhaltiger Lack- und Farbschlämme und Abfälle
- Einsatz automatischer Koaguliermitteldosierung bei Naßabscheidern zur Verlängerung der Standzeiten des Wassers

Hinsichtlich der VOC-Emissionen können damit Emissionswerte von < 110 g/m<sup>2</sup> erreicht werden.

---

### **3.6.6 Neue fortschrittliche Verfahren**

Neue fortschrittliche Verfahren für die Lackierung von Schienenfahrzeugen werden auf wasserverdünnbare 2 K PUR-Systeme basieren. Dies betrifft sowohl den Füllerbereich, als auch die Palette an Unilacken. Obwohl die technischen Eigenschaften der wasserverdünnbaren 2 K-PUR-Decklacke mit denen konventioneller Lösemittelsystemen bereits vergleichbar sind, ist die Akzeptanz dieser Beschichtungssysteme, mit Ausnahme der Kommunen, sehr gering [ZIEMS 2002].

Die Entwicklung wasserverdünbarer 2 K Klarlacke ist bereits weit fortgeschritten. Dabei wird das Konzept verfolgt, diese Klarlacke mit sehr guten Reinigungseigenschaften so zu formulieren, dass sie den derzeit zur Anwendung kommenden lösemittelhaltigen Antograffiti-

---

Klarlacken sehr nahe kommen. Erste praxistaugliche Klarlacke werden schon im Reparaturbereich für Fahrzeuge der Deutschen Bahn-AG eingesetzt.

Metallic-Lacke haben sich in der Formulierung als 1K-Wasser-Base-Coat bewährt. Wenn die Entwicklung der 2 K-Klarlacke wasserverdünntbar in der Lackindustrie einen Gleichstand eingenommen hat, dann wird es auch möglich sein, das Zweischichtsystem als komplettes Wassersystem einzusetzen.

Beim Bau geschlossener Güterwagen werden zunehmend Coil-coating Bleche<sup>3</sup> verarbeitet.

Eine Ganzlackierung des Rohbaus (siehe "Inline"- Lackierkonzept in der Automobilindustrie) bringt den Vorteil, dass ein Lackansatz pro zu lackierende Fläche desselben Farbtönen gefahren werden kann. Eine Einzelteillackierung bei Durchführung der Modulbauweise bedingt einen höheren Lackverbrauch durch Spülverluste und einen höheren Oversprayanteil. Bei dieser Bauweise, die sich bei einigen Fahrzeugtypen durchsetzen wird, sollte auf vorbeschichtete Einheiten zurückgegriffen werden [ZIEMS 2002].

### **3.6.7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen**

Eine Abluftreinigung zur Verminderung der VOC-Emissionen ist durch den diskontinuierlichen und manuellen Betrieb und aufgrund der hohen Volumenströme mit geringer Beladung insbesondere wirtschaftlich nicht sinnvoll. Bei nur wenigen größeren Anlagen wird nach dem Trockner aufgrund der rechtlichen Vorgaben eine Abgasreinigung betrieben. Da im Trockner i.d.R. bisher nur bis zu 20 % der insgesamt freigesetzten VOC-Emissionen erfasst und damit einer Vernichtung zugeführt werden, bietet sich für die Lackierung von Schienenfahrzeugen besonders die Verwendung von wasserverdünnbaren Lacksystemen als wirksame VOC-Minderungsmaßnahme an. Durch die veränderte rechtliche Lage (europaweite Begrenzung der VOC-Emissionen, da sie zu den Vorläufersubstanzen von bodennahem Ozon gehören) werden sich auch hier zukünftig Entwicklungsschübe bei den BVT ergeben. Damit wird sich auch die Akzeptanz der Kunden erhöhen, z. B. wasserverdünnbare Systeme als Beschichtung zuzulassen. Gegenwärtig ist die Akzeptanz dieser Produkte bei den Kunden noch gering, trotz ausreichender Praxiserfahrungen.

---

<sup>3</sup> Coil- coating-Systeme werden überwiegend im geschlossenen Anlagen appliziert und verfügen über eine thermische Abluftreinigung (vgl. Kapitel 7).

---

## 3.7 Schiffslackierung

### 3.7.1 Allgemeine Informationen

Die Anforderungen an die Beschichtung sind bei **Handelsschiffen** und **Luxusyachten** unterschiedlich. Während bei Handelsschiffen Haftung und Korrosionsschutz im Vordergrund stehen, spielt bei der Beschichtung von Yachten neben Haftung und Korrosionsschutz die Ästhetik eine entscheidende Rolle [BAUMANN 1997]. Deshalb werden im folgenden Handelsschiffe und Yachten getrennt aufgeführt. Die Beschichtung von **Marineschiffen** erfolgt nach den Bauvorschriften der Bundeswehr (BV 1900/1). Im folgenden wird daher auf die Beschichtung von Schiffen für die zivile Schifffahrt (Handelsschiffe) eingegangen. Bei der Lackierung von Schiffen muss auf Grund unterschiedlicher Prozesse ebenfalls zwischen **Neubau und Reparatur** unterschieden werden. Im Jahr 2000 wurden in Deutschland 63 Handelsschiffe (60 % Containerschiffe, 15 % Fähr- und Passagierschiffe) und 47 Binnenschiffe gebaut [VSM 2001]. Für den Neubau von Marineschiffen und den Bereich der Schiffsreparatur liegen keine zusammenfassenden Angaben vor. Die im Jahr 2000 in Deutschland gebauten Schiffe hatten einen Anteil von ca. 5 % am Weltmarkt. [VSM 2001].

Die in Deutschland applizierenden Anlagen erreichen nicht die in der IVU-Richtlinie angegebenen Mengenschwellen für den Lösemittelverbrauch. Die von dem Sektor verarbeiten Lackmengen sind im europäischen Ausland möglicherweise wesentlich größer. Da der Sektor darüber eine sehr hohe Umweltrelevanz aufweist und in Deutschland bereits teilweise wirksame Techniken zur Verminderung der Umweltbelastungen existieren, erfolgt eine ausführliche Beschreibung des Bereichs und der besten verfügbaren Techniken.

### 3.7.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren für die Lackierung von Handelsschiffen

Der Reeder bestimmt bei Schiffsreparatur und Neubau im allgemeinen das Beschichtungssystem. Die Schichtdicken sind dabei vom Lackhersteller vorgegeben. Im Vergleich zu den bisher beschriebenen Lacksystemen sind die Schiffsbeschichtungen sehr dick mit Gesamtschichtdicken zwischen 700 µm und 2 mm. Handelsschiffe werden in der Regel aus Schiffbaustahl hergestellt. Vorbehandlung und Applikation bei der **Reparatur** unterscheiden sich zum Teil erheblich von den im **Schiffsneubau** angewendeten Verfahren. Im Folgenden wird daher auf die Unterschiede hingewiesen.

---

## **Neubau**

Die Beschichtung wird in den Werftanlagen überwiegend von Fremdfirmen vorgenommen, so dass sich die eingesetzten Verfahren z.T. deutlich unterscheiden können. Die einzelnen Bauteile und Segmente werden in einigen Firmen bereits bei der Montage zum Schutz vor Korrosion lackiert. Nach Fertigstellung erhält das ganze Schiff den Schlussanstrich. Die Stahlplatten, die bei der Fertigung von Schiffen zu Sektionen verschweißt werden, sind bereits beim Hersteller mit einer Lackschicht (Shopprimer) zum Schutz vor Korrosion ausgestattet. Diese Lackschicht bildet im Neubau die Grundlage für die nachfolgenden Beschichtungsvorgänge. Nach Montage erfolgt der Endanstrich. In einigen Werften werden die Vorbehandlung und Beschichtung der Segmente in Strahl- und Beschichtungshallen, zumeist aber in offenen Hallen, Wetterschutzhallen oder unter freiem Himmel vorgenommen.

## **Schiffsreparatur**

Bei der Reparatur wird vor einer Neubeschichtung der Schiffsrumphf gereinigt und alte, schadhafte Beschichtungen entfernt oder angeschliffen. Je nach Zustand der Oberfläche werden entweder nur schadhafte, Stellen durch Spotstrahlen oder Schleifen behandelt und wieder lackiert oder es wird der komplette Rumpf entlackt und neu beschichtet. Die Farbbebeschichtungsarbeiten am Rumpf werden in Trockendocks ausgeführt.

### **3.7.2.1 Vorbehandlung**

#### **Neubau**

In einem ersten Schritt wird das Schiff entfettet: Rumpf und Aufbauten werden mit einem wässrigen, leicht alkalischen Entfettungsmittel behandelt. Stark verschmutzte Flächen müssen z.T. zusätzlich mit Reinigungslösemittel behandelt werden. Diese Reinigung / Entfettung ist optional und hängt vom Zustand der Oberfläche ab. Eine Entfettung findet vorwiegend bei Aluminiumuntergründen statt. Als Alternative zur wässrigen und lösemittelbasierten Reinigung kann teilweise die sog. Trockeneisreinigung angewendet werden. Dabei wird die zu beschichtende Fläche mit Trockeneis in Form von Pellets, gestrahlt. Das Trockeneis kühlt dabei die Oberfläche des Stahls ab, was zu einer Versprödung von anhaftenden Verunreinigungen führt, die durch den Aufprall der Trockeneis-Pellets mechanisch entfernt werden. Das Verfahren kann teilweise den Einsatz von Reinigungslösemitteln ersetzen, ist aber sehr energieintensiv [Heck 2001].

Es wird ein Trockenstrahlverfahren mit Druckluft unter Verwendung von Mehrwegstrahlmitteln auf Korundbasis angewandt.

---

## **Schiffsreparatur**

Vor der Überholung des Anstrichsystems wird der Unterwasserbereich mit Süßwasser vom Fouling<sup>4</sup> und Salz gereinigt.

## **Strahlen und Schleifen**

Zur Entfernung von Rost und zum Aufrauen der Oberflächen kann in **Neubau und Reparatur** zum Entfernen von Lackschichten und Rost das Schleifen und Strahlen von Stahlplatten als Standardverfahren bezeichnet werden.

Bei der Schiffsinstandhaltung im Unterwasserbereich wird die alte, schadhafte Beschichtung meist nur in beschädigten Teilflächen durch Strahlen z.B. mit Stahlkies oder Kupferschlacke durch Spotstrahlen oder Schleifen entfernt. Die derzeit vorherrschende Technologie zur Schiffsentlackung ist das sog. **Gritblasting**, bei dem feinkörnige Schlacke (v.a. Kupfer) in einem Druckluftstrahl für die Entfernung der Lackschichten sorgt. Das mit Lackresten kontaminierte Strahlmittel ist als Sondermüll zu entsorgen. Zur Verminderung von Staubemissionen beim Strahlen wird in das Strahlgut meist zusätzlich Wasser eingespritzt. Bei der Instandhaltung im Trockendock ist die Oberfläche des Docks durch Fegen von Lackresten und Strahlmittel, vor der Flutung zu reinigen [Meyer, Guber 2001].

Staubemissionen und verschmutztes und zu entsorgendes Strahlgut können durch Verwendung des Druckwasserstrahlens vermieden werden. Dabei wird zur Entlackung, ein Hochdruckwasserstrahl mit einem Druck von bis zu 2.800 bar zur Entfernung der Lackschichten eingesetzt. Durch die Möglichkeit, den Druck zu variieren, können einzelne Lackschichten oder der komplette Farbaufbau entfernt werden. Diese Entlackungstechnologie wird schon seit mehreren Jahren eingesetzt. Wesentliche Anlagenkomponenten sind Hochdruckwasserpumpen, fahrbare, automatisierte Applikationsgeräte für die Schiffsseitenflächen, den Unterboden- und Kimmberreich sowie eine Dockabwasserbehandlungsanlage [PASTUCH, PALM 2001].

---

<sup>4</sup> Fouling bezeichnet die Besiedlung im Unterwasserbereich des Rumpfs durch Meeresorganismen.



Abbildung 3-2: *Schiffsentlackung mittels Hochdruckwasserstrahlen* [PASTUCH, PALM 2001]

Wesentliche Vorteile der Hochdruckwaschtechnologie (Waterblasting) gegenüber dem konventionellen Gritblasting sind:

- Signifikante Reduzierung der zu entsorgenden Reststoffe
- Verbesserung der Oberflächenqualität (Restsalzgehalt) hinsichtlich der nachfolgenden Farbbebeschichtung
- Vermeidung umweltbelastender Effekte (Schmutz, Staub)

### 3.7.2.2 Beschichtungen

Die Applikation der Beschichtungen erfolgt im **Neubau** und in der **Schiffsreparatur** vorwiegend im manuellen Airlessverfahren. Der Oversprayanteil liegt in Abhängigkeit der Applikationsbedingungen bei bis zu 30 %. Der Overspray kann aus Docks und offenen Wetterschutzhallen durch Wind in die Umwelt eingetragen werden. Bei der Blohm + Voss Repair GmbH, Hamburg wird eine automatisierte, mobile Beschichtungsanlage mit einem Spritzkopf und integrierter Oversprayabsaugung verwendet. Bei diesen Anlagen beträgt der Overspray weniger als 5 %. Diese Anlagen können jedoch nur auf ebenen, senkrechten Flächen eingesetzt werden [PASTUCH, PALM 2001]. Durch den höheren Auftragswirkungsgrad wird der Lackverbrauch und damit die Farbpartikelemission Lösemittelemission deutlich reduziert.



Abbildung 3-3: *Automatische Beschichtungsanlage mit Oversprayabsaugung* [PASTUCH, PALM 2001]

Im Neubau sind teilweise Beschichtungshallen mit nachgeschalteter Abluftreinigung im Einsatz.

### 3.7.2.3 Auftrag des Primers

Nach dem Strahlen / Reinigen wird im Neubau auf das gesamte Schiff ein 2- oder 1K, lösemittelhaltiger, chromatfreier Primer mittels Airlessspritzen aufgetragen. Die Primerschicht trocknet an der Luft. Die Schichtdicke beträgt zwischen 40 und 80 µm. Häufig sind die Stahlplatten und Profile bereits bei den Herstellern mit einer Fertigungsbeschichtung, dem sog. Shop Primer versehen. Diese Beschichtung soll die Oberfläche bis zur weiteren Oberflächenbehandlung vor Korrosion schützen.

Im folgenden muss bei den Prozessschritten jeweils zwischen **Unterwasserbereich** und **Überwasserbereich** unterschieden werden.

---

## **Unterwasserbereich**

### **3.7.2.4 Korrosionsschutz im Unterwasserbereich**

Es werden zwei bis vier Anstriche mittels Airless-Spritzverfahren mit einem elastischen, lösemittelhaltigen Epoxidlack appliziert. Die Schichtdicke beträgt ca. 100 µm pro Anstrich.

### **3.7.2.5 Haftvermittler (Unterwasserbereich)**

Als Haftvermittler zwischen dem Korrosionsschutzanstrich und dem nachfolgend aufgetragenen Antifoulinganstrich dient ein ein- oder zweikomponentiger, lösemittelhaltiger Anstrich mit einem Vinylharz. Wenn zwischen dem Auftrag des Korrosionsschutzanstriches und des Antifoulinganstriches nicht mehr als 36 Stunden liegen, kann bei einigen Anstrichsystemen auf den Haftvermittler verzichtet werden. Der Auftrag von Haftvermittler erfolgt im Airless-Spritzverfahren. Die Schichtdicke liegt bei etwa 40 µm.

### **3.7.2.6 Antifouling (Unterwasserbereich)**

Zum Schutz gegen die Besiedelung von Meeresorganismen (Pflanzen und Tiere, das sog. Fouling) an Rumpf werden als äußerste Schicht im Unterwasserbereich des Schiffsrumpfes sog. Antifoulinganstriche, appliziert.

Fouling bewirkt eine stärkere Friktion zwischen Rumpf und Wasser. Der erhöhte Reibungswiderstand erhöht den Treibstoffverbrauch des Schiffs um bis zu 40 % [VSM 2001]. Bis zu 150 kg Organismen können sich innerhalb eines Zeitraumes von sechs Monaten pro m<sup>2</sup> an der Schiffsaußenhaut unterhalb der Wasserlinie ansiedeln. Das Fouling kann direkt die Oberflächenbeschichtung angreifen und so zu Korrosion führen. Die heute noch überwiegend verwendeten Antifouling-Beschichtungen enthalten in ihren Bindemitteln Biozide. Als Biozide werden bisher hauptsächlich (neben anderen Bestandteilen) Tributylzinn (TBT), eine Organozinnverbindung, und Kupferverbindungen verwendet [Deutsches Lackinstitut 2001]. Die Anstriche enthalten ca. 10 - 15 % TBT [Krauter, Maack 2000]. Der Gehalt an Kupferverbindungen beträgt maximal 50 %. Diese Verbindungen werden unter Wasser, z.B. in Folge eines selbstpolierenden Effektes, langsam freigesetzt und erzeugen an der Oberfläche eine Biozidkonzentration, die das Ansiedeln von Organismen verhindert. Die aus den Beschichtungen freigesetzte TBT-und Kupferverbindungen werden zum Großteil (70 %) an Schwebeteilchen im Wasser gebunden und gelangen in die Nahrungskette. In Folge der Sedimentation von Schwebeteilchen sind vor allem Hafenschlämme und das Wattenmeer hoch belastet. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) bezeichnet TBT, das schwere Schäden an Meerestieren verursacht, als einen der giftigsten Stoffe, der derzeit emittiert wird. Die Ökotoxizität der Kupferverbindungen wird um den Faktor 1000 geringer eingestuft [IMO 1999].

---

Alle 2 bis 5 Jahre wird bei Hochseeschiffen der Anstrich im Trockendock erneuert. Selbstpolierende tributylzinn (TBT)-haltig Anstriche haben beispielsweise eine Standzeit von bis zu 5 Jahren. Der alte Anstrich wird an schadhaften Stellen dazu durch Spotstrahlen, Schleifen oder Abbürsten entfernt und das Korrosionsschutzsystem ausgebessert. Anschließend wird der lösemittelhaltige Antifouling-Lack im gesamten Unterwasserbereich airless aufgetragen. Es werden Schichtdicken von 100 – 500 µm in bis zu 4 Arbeitsgängen appliziert [SCHIFFBAUTECHNISCHE GESELLSCHAFT 1998]. Bei der Neubeschichtung wird der Overspray zum Teil bei Wind oder mit dem Regenwasser, sowie beim Fluten des Docks in die Umwelt eingetragen [Krauter, Maack 2000].

Im Oktober 2001 verabschiedete die Internationale Maritime Organisation (IMO), eine Unterorganisation der UNO, eine Resolution über Anti-Fouling Schiffsfarben, die TBT enthalten. Die Resolution verbietet die Anwendung von TBT-haltigen Anstrichen jeglicher Art in Schiffsfarben, ab Januar 2003. Ab 2008 soll entsprechend der Konvention der alte TBT-haltige Anstrich entfernt oder mit einem Sealer versiegelt sein. Derzeit haben TBT-haltige Anstriche noch einen Marktanteil von etwa 70 % [ARBEITSKREIS ANDERE NÜTZLICHE PRODUKTE 1999].

Auf dem Markt sind zahlreiche TBT-freie (Lacke mit Kupferverbindungen) und biozidfreie Produkte erhältlich, für die aber (mit Ausnahme der als Biozid wirkenden, ökotoxischen Kupferverbindungen) z.T. Langzeiterfahrungen fehlen. Ca. 10 % der deutschen Reeder haben ihre Schiffe bereits auf TBT-freie oder biozidfreie Antifoulingsysteme umgestellt [WWF 2001].

#### *Alternative Antifoulings:*

#### **Schadstofffreie Silikonanstriche (Antihaftbeschichtung)**

Diese Anstriche sollen durch ihre glatte Oberfläche ein Festsetzen von Fouling verhindern und ein Reinigen des Rumpfs erleichtern. Bei mechanischen Beschädigungen von Silikonbeschichtungen werden die Verbindungen in die Umwelt eingetragen. Silikone gelten als äußerst abbaustabil. Die Toxizität der Silikone ist gering [Watermann 1999]. In einem Pilotprojekt des Niedersächsischen Umweltministerium und dem WWF mit Lackherstellern und Schiffseignern zur Erprobung von umweltverträglichen Antifoulinganstrichen, zeigten biozidfreie Anstriche auf Silikonbasis ausreichende bis gute Effektivität gegen die Besiedlung mit Organismen. Bei Verwendung dieser Lacksysteme zeigte sich zwar Bewuchs aber die Haftung der Organismen auf der Oberfläche war im Vergleich zu Antikorrosionsbeschichtungen stark reduziert. Im Fahrbetrieb der Schiffe löste sich in Abhängigkeit der Anströmgeschwindigkeit der Bewuchs. Silikonbasierte Antifoulings erwiesen sich im Versuch in der Nordsee effektiver für schneller fahrende Schiffe (z.B. Fähren), als für langsam fahrende Schiffe mit langen Liegezeiten. Die Anstrichsysteme

---

eignen sich daher für Schiffe mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von ca. 10 Knoten [Daehne et al. 2000]. Eine Übertragung auf andere Meeresgebiete ist aufgrund ökosystemarer Unterschiede schwierig. Bei den biozidfreien Silikonsystemen besteht eine biologische Gefährdung von Ökosystemen durch mögliche Verschleppung von Meeresorganismen [Scharf, Stefan 2001]. Bei der Beschichtung mit silikonbasierten Antifoulings darf kein Overspray auf noch mit anderen Lacken zu beschichtenden Oberflächen gelangen (Haftprobleme). Diese müssen daher sorgfältig abgedeckt werden.

### **Anstriche mit speziellen bewuchserschwerenden Oberflächenbeschaffenheiten**

Beschichtungen mit Lacken zur Ausbildung von Oberflächenstrukturierungen (Härchen, Mikrorauheiten etc.). Microfaser-Lacke erzielten bei den Versuchen in einem Pilotprojekt des Niedersächsischen Umweltministeriums und des WWF sowie Lackherstellern und Schiffseignern zur Erprobung von umweltverträglichen Antifoulinganstrichen die beste Schutzwirkung vor Bewuchs aller getesteten, biozidfreien Antifoulings. Die Bewuchshemmung erfolgte unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit der Schiffe und ist der von TBT-basierten Anstrichen vergleichbar. [Daehne et al. 2000] Die Applikation der Beschichtung erfolgt mittels Spezialgeräten.

### **Mechanische Methoden**

Abkratzen, Abbürsten oder Abschaben des Bewuchses mit kurzen Abbürstintervallen und einem harten, widerstandsfähigen Anstrich kann eine Alternative zu Antifoulinganstrichen darstellen. Es gibt bereits ein breites Angebot an Geräten mit rotierenden Bürsten, die während kurzer Liegezeiten den Bewuchs entfernen können. Der Nachteil des Verfahrens besteht in kurzen Reinigungsintervallen und der Anhäufung von organischem Material mit Lackresten. Das Verfahren ist gut geeignet für Schiffe, die im Brackwasser und Süßwasser eingesetzt werden [Daehne et al. 2000].

### **Elektrochemische Verfahren**

Elektrochemische Verfahren wirken durch Anlegen von Spannung an die zu schützenden Oberfläche, die Elektrolysevorgänge induziert und damit toxisch wirkende Chlorverbindungen freisetzen und / oder den pH-Wert verändert und dadurch ein Festsetzen von Organismen am Rumpf verhindert. Zusätzlich kann die Anode aus Kupfer bestehen und toxisch wirkende Kupferionen freisetzen. Verfahren, bei denen anodisch geschaltete Kupferelektroden benutzt werden, weisen Freisetzungsraten von Kupferoxiden auf, die in der Größe von kupferoxidbasierten Antifoulinganstrichen liegen. Das Verfahren hat sich als sehr effektiv erwiesen, begünstigt aber die Korrosion [IMO 2001].

---

### **Anstriche mit natürlichen Bioziden**

Anstriche mit natürlichen Bioziden, die eine geringerer Persistenz aufweisen, wie sie z.B. von Korallen als Bewuchsschutz produziert werden, befinden sich in der Erprobung. Der Vorteil der natürlichen Biozide liegt in deren schneller Abbaubarkeit. (EU-Projet Camellia, 1996-2000).

### **Überwasserbereich und Aufbauten**

**Beschichtungen der Aufbauten werden in der Regel auf See ausgeführt.** Da diese Beschichtung nicht in Anlagen im Sinne der IVU-RL stattfindet, wird dieser Bereich im Folgenden nur knapp beschrieben.

#### **3.7.2.7 Grundierung**

Auf den Primer kann als eine von mehreren Möglichkeiten eine lösemittelhaltige, zweikomponentige Polyurethangrundierung in zwei Schichten aufgespritzt werden. Die Schichtdicke liegt bei ca. 60 µm pro Schicht.

#### **3.7.2.8 Decklack**

Auf die Grundierung wird ein zweikomponentiger, lösemittelhaltiger Polyurethanlack in zwei Schichten aufgespritzt. Die Schichtdicke beträgt 40 µm pro Schicht.

Die Lackschichtdicken betragen im Unterwasserbereich zwischen 500 µm und 1 mm, und im Überwasserbereich und an den Aufbauten zwischen 250 und 300 µm.

### **3.7.3 Beschichtung von Yachten**

Hierbei handelt es sich um Schiffe mit Längen bis zu 130 m. Teile der Yachten werden bereits bei der Montage lackiert. Je nach Auftraggeber ist die Beschichtung unterschiedlich; im Folgenden wird daher eine Möglichkeit exemplarisch beschrieben. Zwischen den einzelnen Lackierschritten wird jeweils geschliffen. Yachten bestehen aus Schiffbaustahl (Schwarzstahl), die Aufbauten z.T. aus Aluminium. Teilweise werden Yachten komplett aus Aluminium gefertigt. Vorbehandlung und Primer-Auftrag sind je nach Material unterschiedlich. Wasserlacke finden nur sehr begrenzt Einsatz.

#### **3.7.3.1 Vorbehandlung und Primerauftrag auf Schwarzstahl**

Zunächst werden Rumpf und Aufbauten gestrahlt. Als Primer dient entweder ein Zinkprimer (Zinkphosphat) oder ein Shopprimer (zink- und chromatfrei, schweißbar). Beide sind

---

lösemittelhaltige Epoxidprimer, und werden airless aufgetragen. Die Schichtdicken betragen zwischen 40 und 60 µm.

### **3.7.3.2 Vorbehandlung und Primerauftrag auf Aluminium**

Aluminumoberflächen werden auch zur Entfernung von Oxidschichten mit Entfettungsmitteln behandelt. Dazu können Lösemittel verwendet werden. Im Anschluss wird ein Primer (2K Epoxyprimer oder 1K-PVC-Primer) aufgetragen.

Auf Strahlungsgründen im Unterwasserbereich folgt auf den Primer wie bei den Marineschiffen ein Korrosionsschutzanstrich, der sog. Zwischenanstrich. Es handelt sich um eine lösemittelhaltige Epoxidfarbe, die mit Polyamiden aushärtet. Sie wird im Airless-Spritzverfahren in zwei bis vier Schichten aufgetragen. Die Schichtdicke beträgt 120 µm pro Schicht.

Im Anschluss an den Korrosionsschutzanstrich wird der Haftvermittler aufgetragen. Im Gegensatz zu den Marineschiffen wird immer mit Haftvermittler gearbeitet. Es handelt sich um eine lösemittelhaltige, einkomponentige Vinylfarbe, die im Airlessspritzverfahren, mit einer Schichtdicke von etwa 40 µm, aufgetragen wird.

Als letzte Schicht wird ein lösemittelhaltiges Antifoulingmittel in zwei Schichten airless aufgetragen. Die Schichtdicke beträgt pro Durchgang 100 µm. In 90 % der Fälle wird bei Yachten ein sog. Hartantifouling eingesetzt: Dies wird im Gegensatz zum selbstpolierenden Antifoulingmittel nicht abgerieben. TBT-haltige Anstriche sind bei Freizeitbooten und Yachten mit weniger als 25 m Länge in Deutschland verboten. Den verwendeten kupferoxidhaltigen Anstrichen sind zur Vermeidung von Bewuchs oftmals weitere Biozide beigemischt.

### **3.7.3.3 Überwasserbereich und Aufbauten, Schwarzstahl: Zwischenanstrich**

Auch im Überwasserbereich und an den Aufbauten wird im Anschluss an den Primer ein Korrosionsschutzanstrich aufgetragen (Zwischenanstrich). Dabei handelt es sich ebenfalls um einen lösemittelhaltigen, ein- oder zweikomponentigen Epoxidlack, der mit Polyamiden aushärtet und im Airless-Spritzverfahren in zwei Schichten aufgetragen wird. Die Schichtdicke beträgt ca. 120 µm.

### **3.7.3.4 Aufbauten, Aluminium: Zwischenanstrich**

Auch auf Aluminiumuntergründen im Überwasserbereich und an den Aufbauten folgt auf den Primer ein Korrosionsschutzanstrich (Zwischenanstrich). Es handelt sich dabei um den selben Anstrich, der auch auf Stahluntergründen im Überwasserbereich eingesetzt wird. Er wird im

---

Airless-Spritzverfahren in zwei Schichten aufgetragen. Die Schichtdicke beträgt 120 µm pro Schicht.

### **3.7.3.5 Spachteln**

Nach dem Zwischenanstrich wird das Schiff im Überwasserbereich und an den Aufbauten sowohl auf Stahl- als auch auf Aluminiumuntergründen gespachtelt, um Rauigkeiten und Bearbeitungsspuren zu verdecken und somit eine möglichst glatte Oberfläche zu erzielen. Zunächst wird ein lösemittelfreier Grobspachtel zwei- bis dreimal aufgetragen, danach ein Mikrospachtel und schließlich zum Wasserabschluss ein Epoxid-Feinspachtel. Der Auftrag erfolgt per Hand mit Brett und Kelle. Zwischen den einzelnen Vorgängen wird jeweils geschliffen.

### **3.7.3.6 Täuschungsanstrich / Füller**

Im Anschluss an das Spachteln wird ein lösemittelhaltiger 2K-Polyurethan-Kombinationslack oder Epoxidlack aufgetragen. Die Applikation erfolgt mittels Airlessspritzen. Die Schichtdicke beträgt zwischen 50 und 100 µm.

Nach dem Trocknen des Täuschungsanstrichs wird die Yacht zu Wasser gelassen und in einer Testfahrt auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft. Nach Abschluss des Tests wird die Yacht wieder an Land geholt, mit Hochdruck gereinigt und angeschliffen. Daran schließt die endgültige Decklackierung an.

### **3.7.3.1 Decklackierung**

Die Decklackierung erfolgt per Druckluft im Naß-in-Naß-Verfahren in zwei bis drei Schichten mit einem lösemittelhaltigen, 2K-Polyurethan-Kombinationslack. Zwischen den einzelnen Schichten wird jeweils zwischen 45 Minuten und einer Stunde getrocknet. Die erste Schicht beträgt zwischen 10 und 15 µm, die zweite zwischen 30 und 50 µm und die dritte 50 µm. Die Gesamtdicke des Decklacks beträgt somit ca. 100 µm.

## **3.7.4 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte**

Bei der Beschichtung von Schiffen werden lösemittelhaltige Lacke appliziert. Die Lösemittelgehalte betragen in Abhängigkeit des verwendeten Systems 20 - 25 Gew. %. Lacke auf Wasserbasis haben auf Grund der Applikationsbedingungen (Luftfeuchtigkeit, Feuchtigkeit, Temperatur, Zug) auf Werften, und erhöhter Anforderungen an die zu beschichtende Oberfläche (Entfernung von Ölen, Fetten und Rost) nur ein sehr begrenztes

---

Anwendungsgebiet. Wasserlacke werden teilweise im Innenbereich und auf Anbauteilen appliziert [SCHIFFBAUTECHNISCHE GESELLSCHAFT 1998].

Tabelle 3-21: *Verbrauch von Eingangsstoffen pro beschichtetes Schiff* [BAUMANN 1997]

| Lacksystem und ggf. Substrat | Verbrauch [kg] |
|------------------------------|----------------|
| Primer                       | 400 – 500      |
| Unterwasserbereich           |                |
| Korrosionsschutz             | 750 - 1 000    |
| Haftvermittler               | 80             |
| Antifouling                  | 300            |
| Überwasserbereich/Aufbauten  |                |
| Grundierung                  | 400 – 500      |
| Decklack                     | 300            |
| <i>Insgesamt</i>             | 2 200 – 2 700  |

Tabelle 3-22: *Verbrauch von Eingangsstoffen pro beschichtete Yacht* [BAUMANN 1997]

| Lacksystem und ggf. Substrat     | Verbrauch [kg] |
|----------------------------------|----------------|
| Schwarzstahl: Primer             | 300 - 400      |
| Unterwasserbereich, Schwarzstahl |                |
| Zwischenanstrich                 | 400 - 500      |
| Haftvermittler                   | 80             |
| Antifoulingmittel                | 300            |
| Spachtel                         | 8 00 - 10 00   |
| Täuschungsanstrich               | 150            |

Die in der IVU-Richtlinie angegebenen Mengenschwellen von 200 t Lösemittel pro Jahr werden von den deutschen Werften beim Neubau nicht erreicht, da selbst in Großanlagen nur wenige Schiffe (1-5) gefertigt werden [MÜNCHAU 2001]. Die verarbeitete Lösemittelmenge beträgt etwa bei der HDW, Kiel 59 t / a. Im Bereich der Schiffsreparatur werden größere Lackmengen als im Neubau verarbeitet [VSM 2001]. Bei der Blohm + Voss Repair GmbH in Hamburg werden ca. 60 t / a bei Vollauslastung verarbeitet. Die IVU-Mengenschwellen werden daher auch in Großanlagen der Schiffsreparatur nicht erreicht [VSM 2001]. Möglicherweise bestehen im europäischen Ausland Anlagen mit höheren Verbrauchskapazitäten.

---

### 3.7.4.1 Emissionen in die Luft

Arbeiten in Werften finden vielfach im Freien, bzw. im Baudock, in Wetterschutzhallen oder an der Ausrüstungskaje statt. Bei Schleif-, Strahl- und Farbspritzarbeiten werden daher Schadstoffe über Abwasser oder durch Abdriften mit der Luft in die Umgebung eingetragen. Die flüchtigen organischen Verbindungen aus Beschichtungen werden vollständig als diffuse Emissionen in die Umwelt eingetragen. Neben den VOC sind hier vor allem Metall- und Farbstäube sowie Überreste aus dem Strahmaterial (Stahl, Silikat, Kupferverbindungen) zu nennen. Diese Partikel werden je nach Wetterlage über mehrere Kilometer verlagert und in die Umgebung eingetragen. Bei der Beschichtung mit Lacken außerhalb von Beschichtungshallen mit Abgaserfassung und Reinigung werden die verarbeiteten Lösemittel vollständig emittiert. Die applizierten Lacke enthalten im Durchschnitt ca. 20 – 25 Gew. % Lösemittel. **Pro beschichtetem m<sup>2</sup> werden im Durchschnitt ca. 100 g VOC emittiert** [PASTUCH 2001].

Einträge an umweltgefährdenden Substanzen können v.a. im Neubau durch Einhausung der Strahl- und Beschichtungsanlagen wirksam reduziert werden (HDW, Werk Kiel). Bei der HDW Kiel wurden die Wetterschutzhallen mit Abluftreinigung, in denen Strahl- und Beschichtungsarbeiten stattfanden, durch geschlossene Hallen ersetzt. (Hier müssten jetzt die erzielten Ergebnisse der HDW-Anlage nochmals dargestellt werden). Eine weitere Möglichkeit zur Vermeidung des Eintrags von Farbresten und Stäuben besteht im Einsatz von Druckwasserstrahlen mit nachgeschalteter Abwasserbehandlung und Wiederverwendung des Wassers. Bei der Lackapplikation kann der Overspray durch Verwendung fahrbarer Applikationanlagen mit Oversprayabsaugung auf 5 % gesenkt werden. Der Oversprayeintrag in die Umwelt kann zusätzlich durch Spannen von Netzen (zur Verringerung der Luftbewegung ) an den Dockenden verringert werden.

### 3.7.4.2 Abwasser

Bei **Instandsetzungsarbeiten** der Beschichtung fallen verschmutzte Strahlmittel, Lackreste und Farbstäube an. Im allgemeinen muss nach Beendigung der Arbeiten, vor dem Fluten des Docks, dieses „besenrein gesäubert“ werden, um die Umweltbelastungen zu verringern. Der Eintrag von Lackresten in die Umwelt kann so nur unbefriedigend verhindert werden. Die Gefährlichkeit der Abwässer liegt im Schwermetallgehalt durch Stäube aus den verschiedenen Beschichtungs- und Vorbehandlungsschritten sowie im Gehalt an Kohlenwasserstoffen aus Fetten und Ölen. Zur Verringerung des Eintrags dieser Substanzen bieten sich mehrere Verfahren an:

Eine Alternative bei der Instandhaltung, um die Umweltbelastung zu verhindern, besteht in einem Verfahren bei dem das Trockendock nach dem Kehren mit Hilfe von Wasser gereinigt wird. Das entstehende Abwasser wird erfasst, in einem Abscheider von Partikeln gereinigt

---

und aufbereitet und als Abwasser eingeleitet oder wiederverwendet. Die Installationskosten für Süllkanten, Pumpen, Rohrleitungen und Abscheider betragen in Abhängigkeit der Dockgrundfläche etwa 1 Mio. DM pro Dock [MEYER, GUDER 2001].

Zur Vermeidung von Strahlstäube, die bei ungünstigen Witterungsbedingungen mit dem Wind in die Umwelt eingetragen werden können, wird das Druckwasserstrahlen mit nachgeschalteter Dockabwasserreinigung und Wiederverwendung des Wassers eingesetzt. Dabei kann der Eintrag von Strahlwasser in die Umwelt durch die Verwendung von mobilen Strahlanlagen mit Absaugung (z.B. Dockmaster, Blohm+Voss Repair) weiter reduziert werden. Diese Verfahren führen das Strahlen, und Reinigen mit einem sich an die Außenhaut drückenden Waschkopf aus. Abwasser und Lackreste können so wirkungsvoll aufgenommen und weiter behandelt werden.

Die Abwasserbehandlung erfolgt in mehreren Verfahrensstufen, bestehend aus Flockung und Fällung mittels Eisen-III-chlorid sowie Abscheidung und Filterung. Der entstehende Schlamm wird zwecks Volumen- und Gewichtsverringerung zu einem Kuchen gepresst und als Abfall entsorgt. Das gereinigte Wasser wird in den Prozesswasser-Kreislauf zurückgeführt bzw. bei Wasserüberschussbedingungen eingeleitet.



Abbildung 3-4: *Dockabwasserbehandlung* bei der Blohm & Voss, Hamburg [ PASTUCH, PALM 2001]

---

Derzeit werden im Rahmen eines Entwicklungsprojektes ergänzende Verfahrensstufen zur verbesserten Abtrennung von Schwermetallen und Organozinnverbindungen realisiert. Damit soll sichergestellt werden, dass der Eintrag von in den Antifoulinganstrichen enthaltenen toxischen Bestandteile Tributylzinn, Kupfer und Zink (TBT) vermindert wird.

#### **3.7.4.3 Abfälle**

Die bei der Beschichtung von Schiffen anfallenden Abfälle umfassen: Lackschlämme aus der Nassauswaschung, Lösemittelabfälle, ausgehärtete Farben und Lacken, Metall- und Kunststoffbehälter mit Lackresten, Filtermatten. [BAUMANN 1997] Die Einführung von Großfarbgebindebinden (1000 l) im Rücklauf kann im Vergleich zu den üblicherweise verwendeten 10- und 20 l Einweggebindebinden die Abfallmenge sowie die den Gebinden anhaftenden Lackreste reduzieren. Bei der Beschichtung von Schiffen, fallen vor allem in der Instandhaltung, in Abhängigkeit von der Vorbehandlung größere Mengen von verschmutztem Strahlgut an. Umweltrelevant sind v.a. Schwermetalle und TBT aus Schleif- und Strahlstäuben. Durch Verwendung des Druckwasserstrahlens kann die Menge an Abfall auf nur 1,5 % des herkömmlichen Grittblastings reduziert werden.

#### **3.7.4.4 Energiebedarf**

Daten zum Energiebedarf konnten nicht ermittelt werden.

### **3.7.5 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Ein verstärkter Einsatz von wasserverdünnbaren Lacken ist auf Grund der Applikationsbedingungen derzeit nicht möglich. Die im Folgenden aufgeführten Techniken stellen eine Auswahl der derzeit in der Schiffsindustrie verwendeten emmissions- und abfallarmen Verfahren dar.

#### **Schiffsreparatur**

- Einsatz des Druckwasserstrahlens bei der Reparatur mit Aufbereitung der Dockabwässer und Wiederverwendung des Wassers zur Vermeidung von Stäuben und zur Verringerung des Sonderabfalls.
- Bei Verwendung des Grittblastings, Abschwemmen der Dockoberfläche und Erfassung der Abwässer und nachgeschaltete Abwasserbehandlung. Durch die Verwendung von Mehrwegstrahlmitteln und Aufbereitung kann zusätzlich eine starke Reduktion des Abfalls erreicht werden.

- 
- Auf Grund von Witterungseinflüssen und der Applikationsbedingungen (Zug, Nässe.etc.) kann eine zufriedenstellende Beschichtung bei der Schiffsreparatur im Trockendock nur durch das Airlessverfahren erreicht werden [MEYER, GUDER 2001]. Dieses Verfahren ermöglicht für die Instandhaltung die derzeit größtmögliche Materialausnutzung. Durch Einsatz von mobilen Applikationsanlagen mit Absaugung des Oversprays auf ebenen, senkrechten Flächen kann der in die Umwelt eingetragene Overspray verringert werden. Durch die höhere Materialausnutzung werden Materialeinsatz und Lösemittelemissionen reduziert. Die Applikation erfolgt in diesen Anlagen im Airlessverfahren.

### **Neubau**

- Applikation von Lacken im Eletrostatik-Air-Mix-Verfahren beim Schiffsneubau in geschlossenen Hallen. Bei der Applikation darf keine Luftbewegung stattfinden was zu einer starken Einschränkung der Anwendung auch im Neubaubereich führen kann [ETZOLD 2001]. Das Verfahren lässt sich, in Folge der elektrostatischen Aufladung, nicht in explosionsgefährdeten Bereichen wie z.B. Tanks oder anderen schlecht zu belüftenden Räumen anwenden [HECK 2001]. Bei der Instandhaltung von Schiffen im Trockendock ist das Verfahren auf Grund der Applikationsbedingungen nicht anwendbar.
- Einträge an staubförmigen, umweltgefährdenden Substanzen in die Umgebung, können v.a. im Neubau durch Einhausung der Strahl- und Beschichtungsanlagen wirksam reduziert werden. Bei der HDW Kiel wurden beispielsweise die Wetterschutzhallen, in denen Strahl- und Beschichtungsarbeiten stattfanden, durch geschlossenen Hallen ersetzt. Beim Strahlvorgang (Trockenstrahlen) wird die staubhaltige Luft (max. 150 000 m<sup>3</sup>) abgesaugt und durch filternde Abscheider (Schlauchfilter mit Druckstoßabreinigung) gereinigt. Das Mehrwegstrahlmittel auf Korundbasis wird nach Beendigung des Strahlvorganges aus dem Innern der Schiffssektionen mit pneumatischen Sauggeräten und vom Hallenboden aufgenommen, und in einer Aufbereitungsanlage gereinigt und wiederverwendet (Wiederverwendungszyklus wurde mit 60 Durchläufen angegeben). Beim Beschichtungsvorgang wird die lösemittel- und farbstaubbeladene Hallenluft abgesaugt und über Schwebstofffilter abgereinigt. Die VOC werden über eine Adsorptionsanlage an Aktivkohle adsorbiert. Die gesättigte Aktivkohle wird in einem Desorber mit Inertgas regeneriert und die Lösemittel zurückgewonnen. Die Anlagenkapazität beträgt 300000 m<sup>3</sup>/h. Die Lösemittel werden thermisch, zur Erzeugung der für die Desorption notwendigen Prozesswärme, eingesetzt. Durch die geschlossene Anlage und die integrierten Verfahren konnten die Staubbeladung des Reingases auf weniger als 1 mg/m<sup>3</sup> reduziert, und die Staubemissionen um 95 % sowie die VOC-Emissionen um 75 % reduziert und Emissionswerte von i. M. 23 mg/m<sup>3</sup> (oder 27 g/m<sup>2</sup>) erreicht werden. Durch die Mehrfachverwendung des Strahlmittels wurde der Strahlmittelverbrauch um 98 % verringert

---

verbunden mit einer entsprechenden Abfallverminderung [UBA 1997/HDW-Abschlussbericht]. Es entstehen zusätzliche Abfälle aus Filtermaterialien und verbrauchter Aktivkohle. Die Investition für das Vorhaben betrug ca. 20,95 Mio. EUR (inklusive der Einführung eines Mehrwegsystems für Farbgroßemballagen). Die jährlichen Betriebskosten betragen ca. 1,02 Mio. DM. Durch Einsparungen an Strahlmitteln und Reduktion der Sonderabfälle (Einsatz von Großemballagen bei der Lackversorgung) konnten die Betriebskosten im Vergleich zum konventionellen Verfahren leicht gesenkt werden.

### **Neubau / Reparatur**

- Verwendung von Mehrweg-Farbgroßemballagen für die Standardbeschichtungen im Neubau und in der Reparatur. Durch den Einsatz dieser Mehrwegcontainer kann im Vergleich zu den üblicherweise verwendeten 10- und 20- Liter Gebinden die Abfallmenge stark reduziert werden. Außerdem wird die Menge an den Gebinden anhaftenden und zu entsorgenden Farbresten minimiert.
- Verwendung von TBT-freien Antifoulinganstrichen bei Neubau und Reparatur auf Basis von Kupferoxid oder auf Basis biozidfreier Systeme entsprechend den Einsatzbedingungen des Schiffes. Für biozidfreie Systeme liegen noch keine Langzeiterfahrungen vor. Projekte zur Erprobung (z.B. ECOPAINT) laufen derzeit.

### **3.7.6 Auswahl der BVT-Kandidaten**

#### **Neubau**

- Lackapplikation mit einem hohen Anteil an Elektrostatik-Air-Mix-Verfahren.
- Geschlossenen Beschichtungsanlagen für große Schiffssektionen im Schiffsneubau mit Absaugung der Abluft und Reinigung über filternde Staubabscheider, Abgasbehandlung über Adsorptionsanlagen und thermischer Verwertung der rückgewonnenen Lösemittel und Wiederverwertung der Strahlmittel.

#### **Schiffsreparatur**

- Druckwasserstrahlen zur Entlackung mit Abwasserreinigung der Dockabwässer und Wiederverwendung des Wassers.
- Für die Applikation im Dock gewölbten und nicht senkrechten Flächen kann das Airlessverfahren als bereits etablierte, beste verfügbare Technik, bezeichnet werden. Für

---

gerade, senkrechte Flächen stellt der Einsatz von mobilen Applikationseinrichtungen mit Oversprayabsaugung die emissionsärmste Technik dar.

- Spannen von Netzen zur Verminderung der Luftbewegung und damit Verminderung des Austrags von Overspray

### **Neubau und Reparatur**

- Verwendung von TBT-freien Antifouling-Anstrichen auf Basis von Kupferverbindungen und von biozidfreien Systemen in Neubau und Reparatur.
- Verwendung von Mehrweg-Farbgroßemballagen für die Standardanstrichsysteme in Neubau und Reparatur.

### **3.7.7 Neue fortschrittliche Verfahren**

- Derzeit laufen bei der Blohm+Voss Repair GmbH Entwicklungen im Bereich der Abwasserbehandlung der Dockabwässer mit Bestrahlung mit UV-Licht, Behandlung mit Ozon oder Fällung etc. zur weiteren Verringerung des Schadstoffkonzentrationen, insbesondere von Schwermetallen und Organozinnverbindungen.
- Hinsichtlich der mobilen Farbbebeschichtungs-Applikationsanlagen werden derzeit Beschichtungsköpfe entwickelt, die eine Applikation auf gekrümmten Außenhautflächen ermöglichen.

---

## Quellenverzeichnis

[ARBEITSKREIS ANDERE NÜTZLICHE PRODUKTE 1999]

ARBEITSKREIS ANDERE NÜTZLICHE PRODUKTE, EIN ABEITSKREIS DER IG-METALL, BREMEN

*Umweltbelastungen einer Werft*, 1999

[AIRBUS 2002]

AIRBUS DEUTSCHLAND GmbH: *Persönliche Mitteilungen: Fangmeier, Kuhlenschmidt, Meyer-Antholz, Patschinski*, Januar 2002

[BAUMANN 1997]

BAUMANN, W.; MUTH, A.: *Farben und Lacke: Daten und Fakten zum Umweltschutz*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1997

[BROCK 1998]

BROCK, T.; GROTEKLAES, M.; MISCHKE, P.: Lehrbuch der Lacktechnologie, *Vincentz-Verlag*, Hannover, 1998

[FANGMEIER 2001]

FANGMEIER A.: AIRBUS: Mitteilungen, Oktober 2001

[ETZOLD 2001]

ETZOLD: MEYERWERFT Papenburg, persönliche Mitteilungen, August 2001

[FLECK 2000]

FLECK, W.: *Modernes Lackierzentrum für Lkw-Fahrgestelle*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 3, März 2000

[GUDER 2001]

GUDER, R.: (Gesellschaft für produktionsintegrierte Umweltsystemtechnologien und Management mbH, Bremen): Persönliche Mitteilungen, August 2001

[GLÜCK 2001]

GLÜCK, G.: *Der ICE im neuen Kleid*, in JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 10, 2000

[HARSCH 1999]

HARSCH, M.; PIWOWARCZYK, D.: *Entwicklung einer Methodik zur Entscheidungsvorbereitung bei der Verfahrensauswahl für Pulver- und Flüssiglacke*, im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP), Stuttgart, 1999

[KIRSCH 2001]

KIRSCH, A. (MAN NUTZFAHRZEUGE AG, MÜNCHEN): *Persönliche Mitteilung*, März 2001

---

[LUFTHANSA TECHNIK 2001]

HENKE K., WUNDERLICH R. et al: *Lufthansa Technik Hamburg, persönliche Mitteilungen*  
November 2001

[MAY 1997]

MAY, T.: *Umweltmanagement im Lackierbetrieb, Reihe: Moderne Lackiertechnik*, Herausgegeben von U. Zorll und D. Ondratschek, Vincentz Verlag, Hannover, 1997

[MAY 2000]

MAY, T. (DUPONT PERFORMANCE COATINGS, WUPPERTAL): *Persönliche Mitteilung*, Juli 2000

[MAY 2001A]

MAY, T. (DUPONT PERFORMANCE COATINGS, WUPPERTAL): *Persönliche Mitteilung*, Februar 2001

[MAY 2001B]

MAY, T. (DUPONT PERFORMANCE COATINGS, WUPPERTAL): *Lösemittelverordnung in Deutschland*, in: Welt der Farben, Nr.2, Februar 2001

[MAYER 2001]

MAYER T. (CLAAS SAULGAU GMBH): *Persönliche Mitteilungen*: Oktober 2001

[Meyer 2001]

MEYERY, D. (Bremerhavener Dock Gesellschaft BREDO, BREMERHAVEN ): Persönliche Mitteilungen August 2001

[MÜNCHAU 2001]

MÜNCHAU (Verband Schiffsbau- und Meerestechnik e.V.): *Mitteilungen, September*, 2001

[NEUTZLER 2001]

NEUTZLER, H.- D.(ALSTOM LHB GMBH, SALZGITTER): *Persönliche Mitteilungen*, Mai 2001

[PALM 2001]

PALM L. (JAFO TECHNOLOGIE, HAMBURG): Persönliche Mitteilungen, Oktober 2001

[PASTUCH 2001]

PASTUCH J. (BLOHM und VOSS REPAIR GMBH Hamburg): Persönliche Mitteilungen, Oktober 2001

[PREISSIG 2001]

PREISSIG, J. (GROSS UND PERTHUN LACKFABRIK): *Persönliche Mitteilung*, Februar 2001

[PRIEBE 2001]

PRIEBE (HYMER AG, BAD WALDSEE): *Persönliche Mitteilungen*, März 2001

[PRIEB 2001]

PRIEB, R.: *Von Grund auf solide*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 4, 2000

[REFERENTENENTWURF 2000]

BUNDESREGIERUNG: *Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von*

---

*Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen*, Entwurf, Stand: Dezember 2000

[RENTZ 1999]

RENTZ, O.; NUNGE, S.; LAFORSCH, M.; HOLTMANN, T.: *Technical Background Document for the Actualisation and Assessment of UN/ECE Protocols related to the Abatement of the Transboundary Transport of Volatile Organic Compounds from Stationary Sources*; Report of the Task Force on the Assessment of the Abatement of the Transboundary Transport of Volatile Organic Compounds from Stationary Sources, Karlsruhe, September 1999

[SCHIFFBAUTECHNISCHE GESELLSCHAFT 1998]

SCHIFFBAUTECHNISCHE GESELLSCHAFT e.V.: *STG-Richtlinie 2215, Korrosionsschutz für Schiffe und Seebauwerke, Teil I: Schiff, Seebauwerk und Ausstattung- Neubau*

[SCHÖNBERGER 2001]

SCHÖNBERGER, A. (CLAAS SAULGAU GMBH): *Persönliche Mitteilungen*, Oktober 2001

[SIENER 2001]

SIENER, E. (EVOBUS, MANNHEIM): *Persönliche Mitteilung*, Februar 2001

[SIKKENS 2001]

BISCHOFF, TH. (SIKKENS GMBH, STUTTGART): *Mit 2K-Lacksystem im Einschicht-Verfahren Zeit sparen*, in: Besser Lackieren, Nr. 3, Februar 2001 und Mitteilungen H.G. Müller, Firma Sikkens, September 2001

[UBA 1997]

UMWELTBUNDESAMT: Forschungsvorhaben: EmissionsarmeStrahl und Beschichtungsanlage in einer Werft, 1997

[VDA 2001]

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE: Automobilproduktion, [www.vda.de](http://www.vda.de), September 2001

[VSM 2001]

VERBAND FÜR SCHIFFBAU UND MEERESTECHNIK E.V. ,: [www.vsm.de](http://www.vsm.de)

[WITTKE 2000]

WITTKE, L. (VOLKSWAGEN NUTZFAHRZEUGE AG): *Nutzfahrzeughersteller reduziert mit Adsorptionsverfahren Lösemittelemissionen*, in: Besser Lackieren, Nr. 19, November 2000

[WWF 2001]

WWF Deutschland: *Erfahrungen mit TBT-freien Schiffsanstrichen, Akzeptanz von TBT-freien Antifoulingfarben bei deutschen Reedern und Werften*, 2001

[ZELLER 2000]

ZELLER, R: *Fast jeder Bus ein Unikat*, in: Besser Lackieren, Nr. 2, Februar 2000

[ZIEMS 2002]

ZIEMS, D.: .(ALSTOM LHB GMBH, SALZGITTER): *Mitteilungen*, JANUAR 2002

---

## 4 Serienlackierung von Kunststoffwerkstücken

Dieses Kapitel behandelt die Serienlackierung von Kunststoffwerkstücken, die auf Grund der großen Vielfalt, im Rahmen dieser Arbeit nicht alle untersucht werden können. Der Lackverbrauch in dem Sektor teilt sich folgendermaßen auf: Ca. 75% der verarbeiteten Lacke werden in diesem Sektor für **Kunststoffanbauteile für Fahrzeuge** verwendet und ca. 25 % kommen bei der Beschichtung von **TV-/ Hifi-Gehäusen** u.ä. zur Anwendung [MAY 1997]. Daher erfolgt eine Beschreibung dieses Bereichs, vorwiegend anhand von ausgewählten Werkstücken der Automobilzulieferindustrie. Auf Grund der starken Wettbewerbssituation und der damit verbundenen restriktiven Informationspolitik der Unternehmen konnten nur sehr wenig Daten erhoben werden.

### 4.1 Allgemeine Informationen

Die Betriebe der Kunststofflackierung verfügen oftmals über Abteilungen, die sich mit Prozess- und Verfahrenstechnik der Oberflächenbehandlung beschäftigen. Daher sind diese Betriebe über den Einsatz von Emissionsminderungsmaßnahmen (gemäß Stand der Technik) hinaus ebenfalls an der Entwicklung solcher Maßnahmen beteiligt. [BMU 1997]

Bei den zu beschichtenden Werkstücken der Automobilzulieferindustrie, handelt es sich sowohl um Teile, die bei einem Automobilhersteller in der gleichen Anlagen wie die Fahrzeuge oder in separaten Lackierstrassen selbst lackiert werden, als auch um Teile die beim Zulieferer beschichtet werden. In die Karosse integrierte Kunststoffteile müssen soweit wie möglich mit dem Farbton der Karosse übereinstimmen, so dass Übergänge nicht sichtbar sind. Im Extremfall werden die Karossen und die verschiedenen Teile in unterschiedlichen Anlagen mit unterschiedlichen Applikationsgeräten und Lackmaterialien lackiert. Dabei ist das Colour-Matching von sehr großer Bedeutung [STEGEN 2001]. Aufgrund der verstärkten Anwendung recyclingfähiger Kunststoffe in der Automobilzulieferindustrie ist der Einsatz von Polyolefinen in den letzten Jahren stark angestiegen. Diese Werkstoffe sind unpolär und bedürfen daher einer Oberflächenbehandlung, welche die notwendige Haftung für eine anschließende Lackierung gewährleistet.

---

#### **4.1.1 Besonderheiten des Substrates Kunststoff**

Kunststoffe weisen einige Besonderheiten auf, wie z.B.:

- Eingeschränkt beständig bei mechanischen oder thermischen Belastungen sowie gegenüber aggressive Medien,
- elektrische nicht leitfähig,
- andere Benetzungs- und Hafteigenschaften im Vergleich zu Metalloberflächen,
- Austreten/Migration von Kunststoffinhaltsstoffen ist möglich.

Diese Besonderheiten des Substrates führen im Vergleich zur Metallbeschichtung zu anderen materiellen Anforderungen an die Vorbehandlung und den Lackierprozess.

So muss der Lack beispielsweise vor allem geeignete Lösemittel enthalten (z.B. können aggressive Lösemittel zum Quellen und zu Versprödungen sowie zu Rissen im Kunststoff oder zu Haftungsverlusten führen). Der Lack muss elastischer als der Untergrund sein, um Deformationen standzuhalten [BROCK 1998].

## **4.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren**

Die verwendeten technischen Prozesse und Verfahren für die Serienlackierung von Kunststoffteilen werden im Folgenden zunächst allgemein skizziert und dann an ausgewählten Werkstücken des Sektors beschrieben:

### ***Vorbehandlung***

Die Vorbehandlung dient der Reduktion von Störungen auf der Oberfläche, die z.B. durch das Austreten von Inhaltsstoffen entstehen, zur Erhöhung der Haftungseigenschaften (insbesondere beim Einsatz von Lacksystemen auf Wasserbasis) sowie zur Oberflächenaktivierung. Darüber hinaus kann auch eine Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit des Substrats erforderlich sein (z.B. um den Einsatz elektrostatisch unterstützter Applikationsgeräte und damit eine Erhöhung des Auftragswirkungsgrades zu ermöglichen).

Als Vorbehandlungsverfahren werden in diesem Bereich u.a. die chemischen Vorbehandlungen in Bädern, Beflammen, Plasma, Corona sowie die Fluorierung (s. auch Anhang II) [BAUER 2000, FISCHER 2000]) eingesetzt. Bei der Fluorvorbehandlung kann zum Teil auf die Füllerschicht verzichtet werden (Einschichtlackierung), da durch diese

---

Vorbehandlung bereits eine gleichmäßige Oberfläche unabhängig von der Werkstückgeometrie erzeugt wird. Ein weiterer Vorteil der Fluorierung besteht darin, dass die fluorierten Teile lange gelagert werden können, bevor sie einem anschließenden Lackiervorgang zugeführt werden.

### **Lackaufbau**

Je nach Anforderungen ist ein zwei-, drei- oder vierstckiger Lackaufbau erforderlich. Zunächst kann eine Grundierung aufgebracht werden, die vor allem für einen ausreichenden Verbund sorgen soll. Auf besonders schwierigen Kunststoffarten, wie z.B. Polypropylen, kann ein zusätzlicher Haftvermittler erforderlich sein. Bei Weich-PVC oder PUR-Weichschaum muss oft ein Isolier- oder Sperrgrund zur Unterbindung der Weichmachermigration eingesetzt werden. Zur Egalisierung der Oberflächenrauhigkeit wird in der Regel ein elastischer Füller appliziert. Der Decklack, der oftmals ebenfalls elastisch eingestellt ist, kann ein- oder zweischichtig sein. [BROCK 1998]

### **Eingesetzte Lacksysteme und Applikationsverfahren**

Für die Kunststofflackierung werden in Deutschland überwiegend lösemittelbasierte 1- und 2-Komponenten-Lacksysteme auf PUR-Basis und 1K-Lacke auf Acryl-Melamin-Basis verarbeitet. Daneben kommen wasserverdünnbare Systeme, UV-vernetzende Systeme und Pulverlacke zur Anwendung [GRUPP 1999].

Zur Verarbeitung der Nasslacke wird meist die Druckluftzerstäubung im Hochdruckverfahren eingesetzt. Je nach Teilgeometrie betragen die Lacknutzungsgrade zwischen 20 und 40 %. Die Druckluftzerstäubung im Niederdruckverfahren (HVLP) befindet sich in einigen Fällen ebenfalls im Einsatz. Die erreichbaren Auftragswirkungsgrade liegen hier zwischen 25 und 50 %. Zunehmend werden Lackierroboter eingesetzt, weil damit vor allem gleichmäßige Schichtdicken als bei der manuellen Lackierung erzielt werden können.

Elektrostatische Applikationsverfahren werden bisher lediglich bei Mehrschichtaufbauten verwendet. In der Regel wird zunächst eine leitfähige Grundierung mit konventionellen Pistolen aufgebracht. Die nachfolgende Basislackbeschichtung wird ebenfalls oft mit konventionellen Pistolen aufgetragen. Der Auftrag der Klarlackschicht kann dann elektrostatisch (z.B. mittels Hochrotationsglocken) erfolgen. Da das elektrostatische Beschichten bisher nur auf leitfähigen Vorbeschichtungen möglich ist, kann es derzeit nicht bei Einschichtlackierungen angewandt werden [HOFFMANN 1999]. Mit elektrostatischen Verfahren lassen sich Auftragswirkungsgrade auch in diesem Bereich stark erhöhen. Bei Verwendung von Hochrotationsglocken werden Auftragswirkungsgrade bis zu 85 % erreicht.

---

Die Trocknung und Härtung erfolgt wegen der Wärmeempfindlichkeit des Substrates in der Regel bei maximal 80 °C. Bei manchen Kunststoffen kann es im Fall der UV- und der Elektronenstrahlhärtung zur Vergilbung heller Farbtöne kommen [BROCK 1998].

Die 31. BImSchV definiert für die Beschichtung von Kunststoffoberflächen folgende Emissionsgrenzwerte:

Tabelle 4-1: *Emissionsgrenzwerte für die Beschichtung von Kunststoffoberflächen nach 31. BImSchV*

| Schwellenwert für den jährlichen Lösemittelverbrauch > 15 [t/a] | Emissionsgrenzwert Reingas<br>[mg/m³] | Anteil Lösemittel im unbehandelten Abgas einschließlich diffuse Emissionen (in % des Lösemittelinput) |
|---|---------------------------------------|---|
| Bei automatisierter Beschichtung bahnförmiger Materialien       | 20                                    | 10  |
| Sonstige Beschichtung   | 50<br>bei TNV 20                      | 20  |

Im folgenden werden die eingesetzten Verfahren am Beispiel der Lackierung der Werkstücke Stoßfänger, Radzierblenden, Lenkräder, Fernseh-, Hifi- und EDV-Gehäuse, sowie Reflektoren beschrieben.

#### 4.2.1 Lackierung von Stoßfängern

Die Lackierung von Stoßfängern mit konventionellen Lacken wurde bei der Firma Omnia Automotive Components GmbH und der Dynamit Nobel Kunststoff GmbH untersucht (vgl. Anhang VI). Für die Beschreibung der verwendeten Prozesse und Einsatzmengen wurden zusätzlich Daten der Volkswagen AG [GRUBER 2001] verwendet.

In der Abbildung 4-1 ist ein vereinfachter Prozessablauf dargestellt.

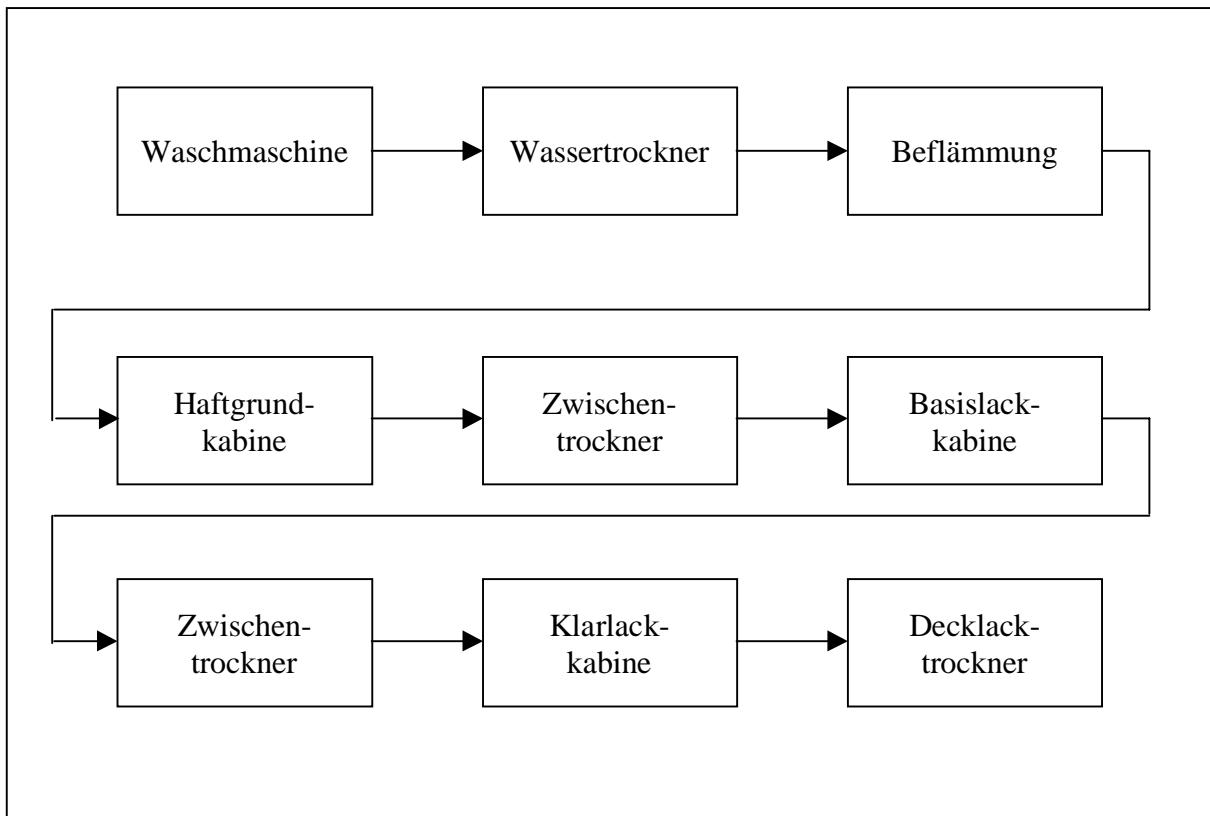


Abbildung 4-1: *Prozessablauf der Stoßfängerlackierung* [GRUBER 2001]

Die zu lackierenden Werkstücke bestehen aus Polyurethanformteilen und thermoplastischen Kunststoffen.

### **Vorbehandlung**

Zur Vorbehandlung werden in den untersuchten Anlagen mehrere Verfahren eingesetzt, die im Folgenden beschrieben werden.

Zur Vorbereitung auf die Lackierung werden die Stoßfänger manuell mit einem Wasser-Isopropanolgemisch (5 Gew. % Isopropanol) gereinigt und anschließend in Konvektionstrocknern getrocknet. Als automatisiertes Verfahren wird vielfach eine Spritzwasserreinigung eingesetzt. Dabei durchlaufen die Teile mehrere Zonen [FREIMANN 2001]:

- Erste Entfettung durch wässrig, alkalische Reinigung
- Spülen mit Wasser

- 
- Zweite Entfettung durch wässrig, alkalische Reinigung
  - Spülen mit Wasser
  - Spülen mit voll entsalztem Wasser

Zur Einsparung von Wasser wird i.d.R. eine Kaskadenspülung eingesetzt. Das von den Teilen ablaufende Wasser kann zum Ersatz der Verdunstungsverluste der Entfettung genutzt werden. Auch das VE- Wasser kann im Kreislauf gefahren werden. Durch diese Maßnahmen kann eine abwasserfreie Vorbehandlung erreicht werden [SCHMID 2000]. Nach der Reinigung durchlaufen die Teile eine Blas-, Trocken- und Kühlzone. Dabei werden teilweise Kondensationstrockner, sog. Hydrextröckner zur Entfernung des Haftwassers verwendet. Bei Verwendung eines Kondensationstrockners kann auf eine Kühlzone verzichtet werden.

Nach der Trocknung werden die Werkstückoberflächen durch Beflammen aktiviert. Polyurethaneile benötigen keine weitere Vorbehandlung.

### ***Lackapplikation***

In der Regel erhalten Stoßfängern einen dreischichtigen Lackaufbau aus Grundierung, Decklack und Klarlack. Die Lackapplikation erfolgt automatisch und manuell durch elektrostatisch unterstütztes Druckluftspritzen mit HVLP Pistolen. Zunächst werden die Kunststoffteile mit einer lösemittelhaltigen 2K-Grundierung oder einem wasserverdünnbaren Haftgrund geprimert und anschließend in einer Trockenzone im Umluftstrom (bei 80°C) getrocknet.

Der Basislackauftrag erfolgt im gleichen Verfahren wie die Grundierung. Als Basislacke werden 1K-Lacksysteme sowohl wasserverdünnbar als auch lösemittelhaltig, appliziert. Nach der Lackapplikation erfolgt das Abdunsten und der Auftrag eines konventionellen, lösemittelhaltigen 2K-Klarlackes.

Nach Abdunsten erfolgt die Trocknung der Lackschichten im Trockner. Lösemittelbeladene Abluftströme aus Abdunstzonen und Trockner werden erfasst und einer TNV zugeführt. Der erreichte Wirkungsgrad liegt bei mehr als 99 %. Durch die TNV wird die Konzentration im Rohgas von ca. 277 mg C/m<sup>3</sup> auf ca. 25 mg C/m<sup>3</sup> im Reingas reduziert. Die Abreinigung des Oversprays erfolgt über Auswaschung.

In Tabelle 4-2 sind die Lösemittelanteile von verschiedenen Lacksystemen aufgeführt.

Tabelle 4-2: Lösemittelanteile für eingesetzte Lacksysteme bei der Lackierung von Stoßfängern

| Lackaufbau und -systeme | Lösemittelgehalt bzw. -emissionen |
|-------------------------|-----------------------------------|
| <b>Grundierung</b>      |                                   |
| Lösemittelhaltig        | 44 - 50 Gew.-%                    |
| Wasserverdünntbar       | 15 Gew.-%                         |
| <b>Basislack</b>        |                                   |
| Lösemittelhaltig        | 50 Gew.-%                         |
| Wasserverdünntbar       | 15 Gew.-%                         |
| <b>Klarlack</b>         |                                   |
| Lösemittelhaltig        | 50 Gew.-%                         |
| Wasserverdünntbar       | 30 Gew.-%                         |

### 4.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Die zu beschichtende Oberfläche eines Stoßfängers beträgt ca. 0,9 – 1,5 m<sup>2</sup>. Daten zum spezifischen Lackverbrauch [g/m<sup>2</sup>] können auf Grund nicht gemacht werden. Im Folgenden wird daher auf die Gesamteinsatzmenge an Lösemitteln am Beispiel der Pufferstangenlackieranlage der Volkswagen AG im Werk Wolfsburg eingegangen. In der Anlage wurden im Jahr 2000 ca. 1 Mio. Stoßfänger lackiert. Von denen in der Anlage applizierten Materialien sind Grundierung und Klarlack lösemittelbasiert, der Basislack ist wasserverdünntbar. Insgesamt wurden 351 t VOC in Lacken und Verdünnern eingesetzt [GRUBER 2001]. Der VOC-Einsatz für das Jahr 2000 ist in Abbildung 4-3 aufgeschlüsselt nach Lacken und Spülmedien dargestellt.

---

Tabelle 4-3: VOC-Einsatz im Jahr 2000 [GRUBER 2001]

| Lacksystem                  | Lösemitteleinsatz [t] |
|-----------------------------|-----------------------|
| Grundierung                 | 125                   |
| Basislack                   | 31                    |
| Klarlack                    | 84                    |
| <i>Summe Lack</i>           | <i>240</i>            |
| Spülverdünner Grundierung   | 61                    |
| Spülverdünner Basislack     | 9                     |
| Spülverdünner Klarlack      | 41                    |
| <i>Summe Spülverdünnner</i> | <i>111</i>            |

### ***Emissionen in die Luft***

Der Verbleib der eingesetzten Lösemittel ist in der Abbildung 4-2 dargestellt

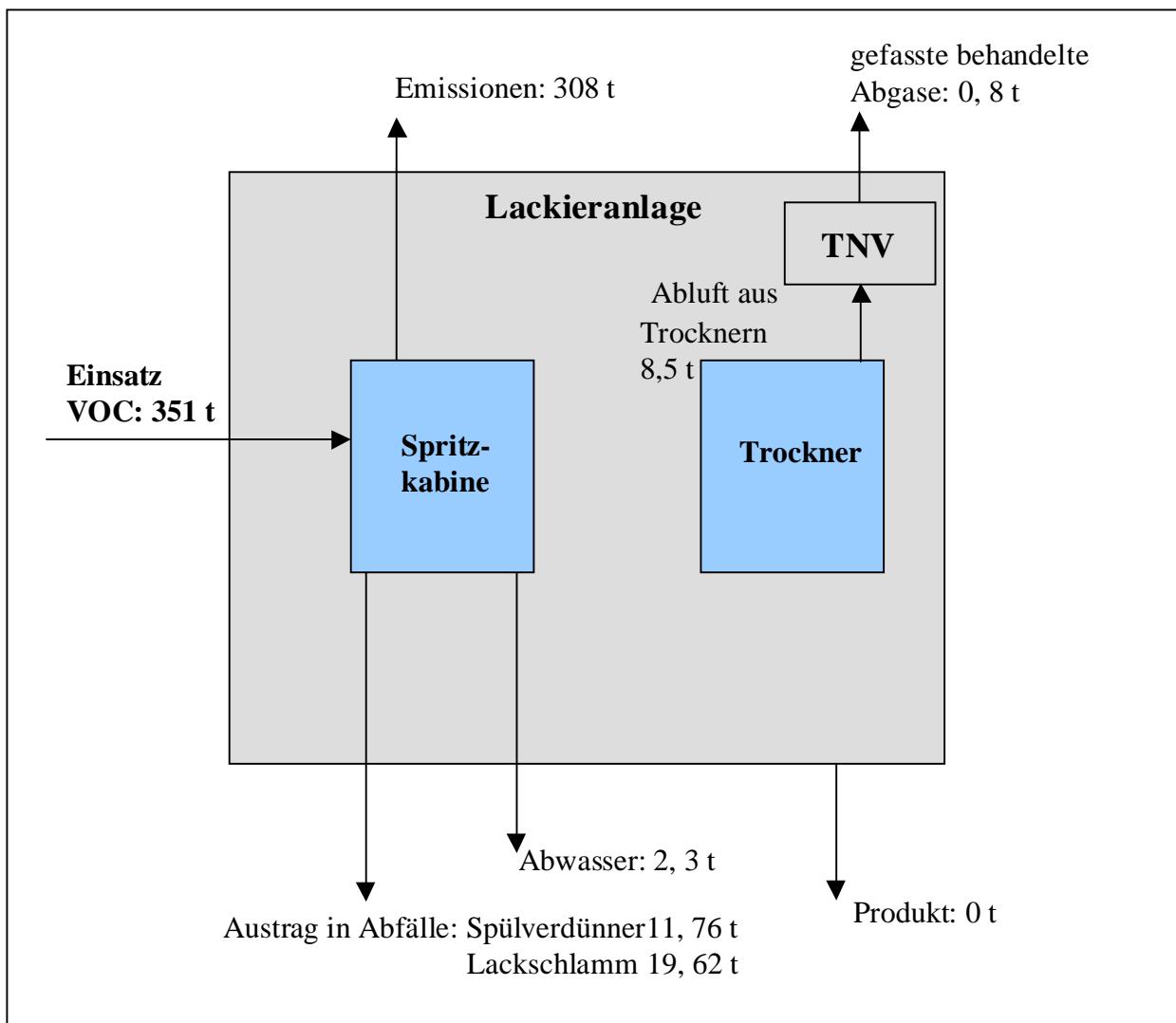


Abbildung 4-2: Aufteilung der Lösemitteleinsatzmenge [GRUBER 2001]

### **Emissionsminderungsmaßnahmen**

Die Lösemitteleinsatzmengen können durch die Verwendung von wasserverdünnbarer Grundierung im Vergleich zu lösemittelbasierter Grundierung, nach einer Studie der Volkswagen AG Wolfsburg, um bis zu 48 % reduziert [GRUBER 2001] und damit auch die Lösemittelemissionen entsprechend gesenkt werden. Eine wirksame Minderung der VOC-Emissionen kann durch die Erfassung und Behandlung der Abluftströme aus den Spritzkabinen erfolgen.

Als Basislacke werden bereits wasserverdünnbare Lacke appliziert. Zu einer weiteren Erhöhung des Auftragswirkungsgrades bei der Applikation von wasserverdünnbaren Primern und Basislacken kommen im automatisierten Auftragsverfahren zunehmend Hochrotationsglockenzerstäuber zum Einsatz. Zur Minimierung der Farreste und Spülverluste werden in Anlagen mit automatischem Auftrag molchbare Ringleitungen

---

eingesetzt. Lackmaterial und Spülverdünnungen können über Farbboxbildung reduziert werden. Die Spülverdünnung kann zudem aufgefangen und wieder verwendet werden. So können in der betrachteten Anlage (vgl. Abbildung 4-2) bei einer Auffangrate von 90 % und nachfolgender Aufbereitung pro Jahr 66 t Spülverdünner gespart werden [GRUBER 2001].

Für die Trocknung der Lackschichten der wasserbasierenden Lacke können Kondensationstrockner eingesetzt werden. Im Vergleich zur konventionellen Trocknung mit Konvektionstrocknern, können v.a. durch Wegfall der energieaufwendigen, nachgeschalteten Kühlzone bis zu 25 % Energie einspart werden [SCHMID 2000].

Bei einer Kreislaufführung des VE-Wassers, kann die Entstehung von Abwasser im Bereich der Reinigung vermieden werden [SCHMID 2000]. Der Verbrauch an Frischwasser kann durch Kaskadenführung reduziert werden.

#### **4.3.1 Lackierung von Radzierblenden**

Der Lackaufbau bei der Beschichtung von Radzierblenden ist zweischichtig, wobei zunächst ein konventioneller oder wasserverdünnbarer, metallischer Basislack und nachfolgend ein konventioneller lösemittelhaltiger 2K-Klarlack oder ein UV-Klarlack appliziert wird. Die Anforderungen an die Beschichtung umfassen Kratzfestigkeit, Wasser- und Steinschlagbeständigkeit sowie eine hohe Oberflächengüte. Die Beschichtung erfolgt automatisch.

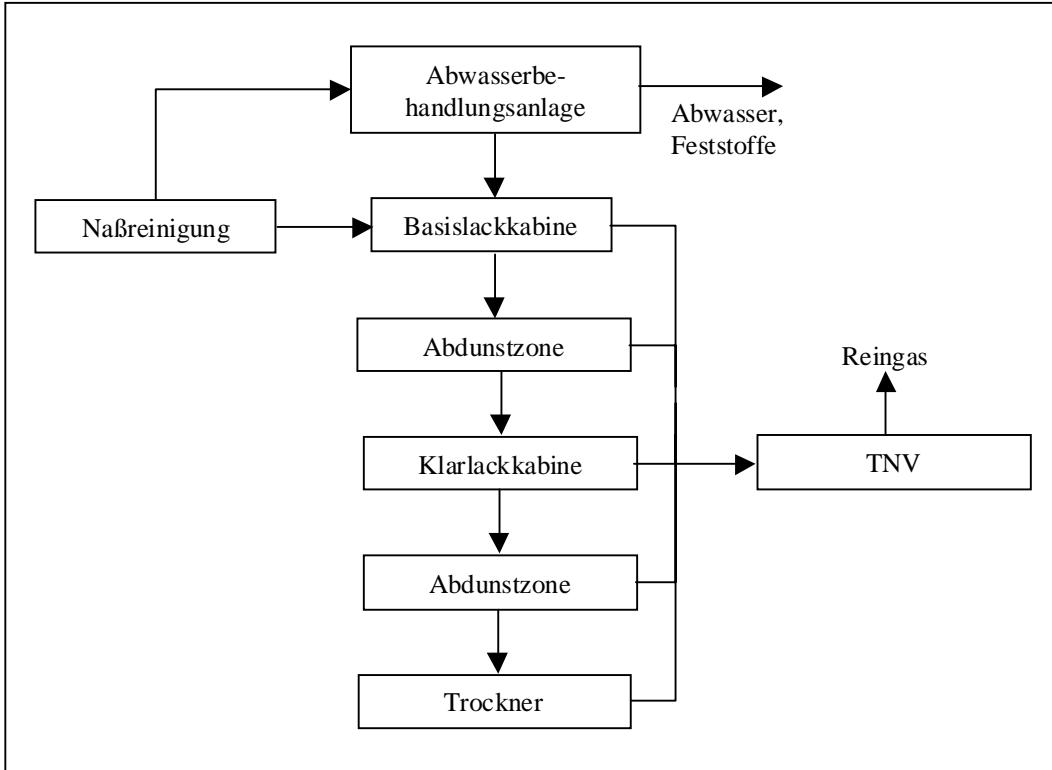


Abbildung 4-3: Lackierung von Radzierblenden mit konventionellen Lacken

In Abbildung 4-3 ist der Herstellungsprozess von Radzierblenden mit lösmittelhaltigen Lacken am Beispiel der Firma Montaplast dargestellt. Die lösemittelbeladene Abluft aus Spritzkabinen, Trockner und Abdunstzonen wird einer thermischen Nachverbrennung zugeführt, so dass eine Reingaskonzentration von 20 mg C/m<sup>3</sup> erreicht wird. Die Reinigung erfolgt im dargestellten Prozess wässrig alkalisch. In Tabelle 4-4 ist ein Vergleich zwischen den eingesetzten Systemen aufgestellt. [REINER 2000]

Tabelle 4-4: Vergleich hinsichtlich der Lösemittelgehalte von eingesetzten Lacksystemen bei der Lackierung von Radzierblenden [REINER 2000]

| Lacksystem und –aufbau | Lösemittelgehalt |
|------------------------|------------------|
| <b>Basislack</b>       |                  |
| Lösemittelhaltig       | 75 Gew.-%        |
| Wasserverdünntbar      | 10 Gew.-%        |
| <b>Klarlack</b>        |                  |
| Lösemittelhaltig       | 50 Gew.-%        |
| UV-härtend             | 10 Gew.-%        |
| Wasserverdünntbar      | 16 Gew.-%        |

---

### **4.3.2 Lackierung von Lenkräder**

Der Trend zu mehr Farbgestaltung im Auto hat u.a. dazu geführt, dass auch die Innenausstattung von Fahrzeugen mittlerweile bedeutend geworden ist. Beispielsweise wird nun auch das Lenkrad auf den Farbton von Armaturenbrett oder Lederummantelung abgestimmt. Bei Lenkräder sind Beständigkeit gegen Sonneneinstrahlung, Reinigungsmittel oder Handschweiß Eigenschaften, die bei der Lackierung zu gewährleisten sind. Derzeit werden Lenkräder hauptsächlich im sog. **In-Mould-Verfahren** lackiert. Bei diesem Verfahren wird in die erwärmte Form des Polyurethan-Formteils zunächst ein Trennmittel und darauf der In-Mould-Lack gesprüht. Dabei ist der Overspray-Anteil und somit der Materialverlust mit ca. 20 % relativ gering. Nach kurzer Abluftzeit werden die gemischten PUR-Komponenten eingefüllt. Beim Aufschäumen in der geschlossenen Form geht das Material eine feste Verbindung mit dem Lack ein.

Der eingesetzte Lack muss an das verwendete Trennmittel und das Polyurethan-System angepasst werden. Bislang kommen lösemittelhaltige 1K- und 2K-Lacke zum Einsatz. Wasserbasierende In-Mould-Lacke für PUR-Teile befinden sich zur Zeit in der Erprobungsphase. Erste Ergebnisse zeigen, dass kaum längere Trocknungszeiten als für herkömmliche Systeme notwendig sind und daher eine Integration von wasserbasierenden In-Mould Lacken in bestehende Prozesse möglich ist. Der großtechnische Einsatz ist bisher noch nicht erfolgt [MECKLENBURG 2001].

### **4.3.3 Lackierung von Reflektoren**

Bei der Lackierung von Reflektoren steht die Erzielung einer extrem glatten und einheitlichen Oberfläche im Vordergrund. Der Lackaufbau ist einschichtig. Ein fortschrittliches Verfahren dabei ist die automatische Applikation von UV-härtenden Lacksystemen (ca. 5-10 Gew. % Lösemittel). Auf diese Weise werden die Lösemittelemissionen gegenüber konventionellen Lacksystemen mit Lösemittelgehalten von bis zu 70 % deutlich gesenkt, der Lackiervorgang beschleunigt, die Qualität gesteigert (Kratzfestigkeit, hohe Füllkraft), Platz- und Energieersparnisse durch den schnellen Härtungsvorgang realisiert und geringere Temperaturbelastungen während der Beschichtung geschaffen [REINER 2000].

### **4.3.4 Lackierung in der Herstellung von Fernseh-/ HiFi-/EDV-Gehäusen**

Der heutige Trend in der Audio/Video Branche ist der Rückgang von schwarzen und grauen Farbtönen und die Zunahme der Nachfrage an Farbigkeit, sogar an individuellen Kundenwünschen hinsichtlich der Farbgebung. Die Qualitätsanforderungen für die Gehäuse-

---

Beschichtung umfassen im Wesentlichen die Beständigkeit gegen Alkohol, Hautfett, etc., die Kratz- und Abriebfestigkeit sowie gute optische Oberflächeneigenschaften. [FAUSER 2000] Stand der Technik ist für diesen Bereich der Serieneinsatz von Lacken auf Wasserbasis [MAY 2001]. Derzeit werden möglicherweise noch vereinzelt lösemittelhaltige Lacksysteme eingesetzt. Bei der Lackierung von TV-Gehäusen ist ein Lacknutzungsgrad von 45 % erreichbar. Die Beschichtung erfolgt automatisch [GRUPP 1999].

#### **4.3.5 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

##### ***Einsatz von wasserverdünnbaren Lacken***

In der Automobilzulieferindustrie wird bereits Lack auf Wasserbasis für die Füller- und Basislackschichten, die mit Hochrotationszerstäubern appliziert werden, eingesetzt. Dadurch werden gleichzeitig die Lösemittelemissionen und der Lackverbrauch deutlich reduziert. Da Kunststoff kein elektrisch leitendes Material ist, werden elektrostatische Auftragsverfahren mit Potentialtrennung eingesetzt. Die Einführung eines derartigen Systems bedarf keiner besonderen Sicherheitsmaßnahmen. Bestehende Anlagen sind nachrüstbar (vgl. [ESSLINGER 2000, SCHOLZ 2000])

Derzeit werden für die Grundierung von Kunststoffteilen bereits wasserverdünnbare Lacksysteme eingesetzt. Dabei handelt es sich um Acrylat- oder Polyesterdispersionen, 2K-PUR-Systeme und 2K-Epoxy-Grundierungen. Die Zusammensetzungen sowie Vor- und Nachteile dieser Lacksysteme sind in Tabelle 4-5 aufgeführt.

Tabelle 4-5: Zusammensetzung und Vor- und Nachteile der gängigsten Grundierungen auf Wasserbasis im Vergleich [BÄNERLE 1999]

| Lack-systeme          | FK-Anteil bei Verarbeitung [Gew.-%] | LM-Anteil bei Verarbeitung [Gew.-%] | LM-Anteil bezogen auf 100 % FK [Gew.-%] | Vorteile  | Nachteile   |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|
| 1K-Acrylat-Dispersion | 50                                  | 5                                   | 10                                      | Schnelle Trocknung  | Eingeschränkte Beständigkeit, Haftungsprobleme auf schwierige Untergründe |
| 2K-PUR                | 60                                  | 10                                  | 17                                      | Gute Beständigkeit, gute Haftung auf den meisten Untergründen | Blasenbildung   |
|                       | 60                                  | 15                                  | 25                                      |   |   |
| 2K-Epoxidharz         | 70                                  | 5                                   | 7                                       | Gute Beständigkeit, gute Haftung auf den meisten Untergründen | Geringe Beständigkeit gegenüber Dauerfeuchte                              |

FK: Festkörper

LM: Lösemittel

### ***Einsatz von Lacksystemen auf Pulverbasis***

Das Interesse, Kunststoffe mit lösemittelfreien Pulverlacksystemen zu beschichten, ist insbesondere aus Gründen des Umweltschutzes sehr groß. Der Einsatz ist jedoch, aufgrund mangelnder Leitfähigkeit und Wärmeformbeständigkeit der Kunststoffe, derzeit noch sehr begrenzt. Großserieneinsätze sind bislang nicht zu verzeichnen. Lediglich kleine Serien, zudem für die Lackierung von Kleinteilen, werden pulverbeschichtet, wie z.B. Verbundteile Metall/Kunststoff bei Autokühlern. [KARLE 2000]

Eine relativ neue industrielle Anwendung von UV-härtenden Pulverlacken ist die Beschichtung von PVC-Fußbodenplatten. Dabei sind die hohe Flexibilität, die ausgeprägte Chemikalienbeständigkeit und die gute Kratzfestigkeit besonders hervorzuheben. [BUYSSENS 2001]

### ***Einführung von elektrostatischen Lackauftragsverfahren***

Allgemein gilt, dass der Einsatz elektrostatischer Lackierverfahren Werkstücke voraussetzt, die zu den aufgeladenen Lackpartikeln einen elektrischen Gegenpol bilden können. Da Kunststoffteile aber elektrische Nicht-Leiter sind, muss die den Lackpartikeln mitgegebene Ladung beim Benetzen der Werkstückoberfläche abgeführt werden. Derzeit wird diese Problematik untersucht (vgl. [ONDRTSCHEK 2000B]). Die Ergebnisse der Untersuchungen

zeigen auf, dass die Abführung der Ladung über den gerade erzeugten Nasslackfilm erfolgt. Des weiteren haben diese anwendungsorientierten Untersuchungen verdeutlicht, dass die elektrostatische Lackierung von Kunststoffteilen z.T. ohne zusätzliche Arbeitsschritte und ohne Auftrag von leitfähigen Lackmaterialien unter Produktionsbedingungen möglich ist. Die Untersuchungen wurden an drei Anwendungen durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 4-6 aufgeführt sind.

Tabelle 4-6: *Ergebnisse der Untersuchungen zum Einsatz von elektrostatischen Lackapplikationsverfahren* [ONDRATSCHEK 2000B]

| Anwendungen       | Einsparpotentiale* [%] |                     |                |             |
|-------------------|------------------------|---------------------|----------------|-------------|
|                   | Lackverbrauch          | Lösemitteleneinsatz | Koagulatanfall | Lackierzeit |
| Stoßfänger        | 50                     | 50                  | 75             | 10          |
| Fernseher-Gehäuse | 40                     | 40                  | 70             | 30          |
| Kfz-Türgriff      | 55                     | 55                  | 75             | 25          |

\* im Vergleich zu konventionellen Hochdruck-Auftragsverfahren

Neben den aufgeführten Einsparpotentialen umfassen weitere Vorteile u.a. nennenswerte Energieeinsparungen, eine verbesserte Automatisierbarkeit sowie niedrigere Nacharbeits- und Ausschussraten [ONDRATSCHEK 2000B].

#### ***Erfassung lösemittelbeladener Abluft aus Spritzkabinen und Abdunstzonen***

Bei der Verwendung konventioneller Lacke kann eine wirksame Emissionsminderung durch die Erfassung von Abgasen aus Spritzkabinen, Abluftzonen und Trockneranlagen und Behandlung in einer TNV, erfolgen. Bei der üblichen Erfassung der Abluftströme aus Trockneranlagen, werden nur ca. 20 – 30 % der Emissionen erfasst.

## **4.4 Vorschlag der besten verfügbaren Techniken**

Wie aus der Beschreibungen der Verfahren hervorgeht, werden für die meisten Anwendungen bereits lösemittelarme oder lösemittelfreie Beschichtungen im Serieneinsatz verarbeitet. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Werkstücke, Kunststoffe und Anforderungen an die Beschichtung, können beste verfügbare Techniken für die Serienlackierung von Werkstücken aus Kunststoff nur in sehr allgemeiner Form abgeleitet werden:

- Hoher Anteil an elektrostatischer Applikation
- Molchbare Ringleitungen bei automatischer Applikation
- Applikation wasserverdünntbarer Systeme für Grundierung und Decklack oder Pulverlacke

- 
- Einsatz von UV-härtenden Klarlacken

## 4.5 Neue fortschrittliche Verfahren

Derzeit stößt die Pulverbeschichtung von Kunststoffen weiterhin an die Grenzen der Pulverlackanwendung: Kunststoffe stellen sowohl elektrische Nichtleiter als auch wärmeempfindliche Substrate dar. Daher werden derzeit umfassende Entwicklungen zu thermisch härtenden Niedrigtemperaturpulvern und UV-härtenden Pulverlacken, insbesondere durch die Lackhersteller, vorangetrieben. Erfolgsversprechende Ergebnisse zeigen die Einsatzfähigkeit solcher Pulverlacksysteme auf repräsentativen Kunststoffteilen auf [ONDRTSCHEK 2000A].

Für die Zukunft könnte man die Frage stellen, ob nicht sichtbare Teilflächen überhaupt lackiert werden sollen oder ob sie einen kompletten Lackaufbau benötigen. Zudem stellt sich ebenfalls die Frage, ob teilweise nicht auf die Grundierung verzichtet werden könnte, da in der Regel Vorbehandlungsverfahren wie Plasmabehandlung oder Fluorierung dem Kunststoffsubstrat sehr gute Haftungseigenschaften verleihen.

## 4.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Beim Lackieren von Fernsehgehäusen wird bereits wasserverdünnbarer Lack eingesetzt. [BMU 1997] Auch bei den weiteren Anwendungen hält der Trend zum Einsatz von Lacksystemen auf Wasserbasis ungehindert an [HOFFMANN 2001].

Es ist zu verzeichnen, dass die Zulieferer der Automobilindustrie stark an die Anforderungen und Vorgaben, im Besonderen an Materialfreigaben der Automobilhersteller gebunden sind und daher keinen großen Handlungsspielraum bezüglich der Materialauswahl und Verfahren besitzen. Diese Tatsache stellt bisher z.T. ein Hindernis auf dem Weg zu umweltfreundlicheren Lackierverfahren dar.

---

## **Quellenverzeichnis**

### **[BÄNERLE 1999]**

BÄNERLE, A.: *Kunststoffe umweltfreundlich grundieren*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, September 1999

### **[BAUER 2000]**

BAUER, G.P. (PFT FLOCK-TECHNIK GMBH): *Gute Lackhaftung mit Fluorierung: Kunststoffoberflächen richtig vorbehandeln*, in: Besser Lackieren, Nr. 17, Oktober 2000

### **[BMU 1997]**

BUNDESUMWELTMINISTERIUM, UMWELTBUNDESAMT, VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE E. V. ET AL.: *Gemeinsamer Abschlußbericht zum Dialog des BMU und des VCI zu Umweltziele am Beispiel VOC*, Dezember 1997

### **[BROCK 1998]**

BROCK, T.; GROTRKLAES, M.; MISCHKE, P.: *Lehrbuch der Lacktechnologie*, Vincentz-Verlag, Hannover, 1998

### **[BUYSENS 2001]**

BUYSENS, K.; KEIL, E.; CREMER, J.: *UV-härtbare Pulverlacke – Stand der Technik*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 2, Februar 2001

### **[ESSLINGER 2000]**

ESSLINGER, S. (DÜRR INLAC GMBH): *Kunststoffe mit Wasserlack beschichten*, in: Besser Lackieren, Nr. 17, Oktober 2000

### **[FAUSER 2000]**

FAUSER, TH.: *Wasserverdünnbare Beschichtungsstoffe für die Bereiche Audio / Video*, in: Seminarunterlagen "Wasserlacke IX", Wien, 23. November 2000

### **[FISCHER 2000]**

FISCHER, S. (FLUOR TECHNIK SYSTEM GMBH): *Kunststoffteile im Innen- und Außenbereich fluorieren und einschichtig lackieren*, in: Besser Lackieren, Nr. 17, Oktober 2000

### **[FREIMANN 2001]**

FREIMANN G. (Dynamit Nobel Kunststoff GmbH): Persönliche Mitteilungen 2001

### **[GRUBER 2001]**

GRUBER, M. (Volkswagen AG): *Studie zur Umsetzung der VOC-Richtlinie am Beispiel der Pufferstangenlackieranlage*, FH Braunschweig / Wolfenbüttel

### **[GRUPP 1999]**

GRUPP, TH.; HOFFMANN, U.: *Nasslackierprozess - Quo vadis?*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Mai 1999

---

**[HOFFMANN 1999]**

HOFFMANN, U.: *Lackierung von Kunststoffteilen*, in: Jahrbuch für Lackierbetriebe 2000, Vincentz-Verlag, Hannover, 1999, S. 402-414

**[HOFFMANN 2001]**

HOFFMANN, U.: *Lackieren von Kunststoffteilen*, in: Besser Lackieren – Jahrbuch 2001, Vincentz Verlag, Hannover. 2001

**[KARLE 2000]**

KARLE, D.: *Noch kein Durchbruch: Pulvern von Kunststoffen*, in: Besser Lackieren, Nr. 17, Oktober 2000

**[MAY 1997]**

MAY, T.: *Umweltmanagement im Lackierbetrieb, Reihe: Moderne Lackiertechnik*, Herausgegeben von U. Zorll und D. Ondratschek, Vincentz Verlag, Hannover, 1997

**[MAY 2001]**

MAY, T.: *Persönliche Mitteilungen*, September 2001

**[MECKLENBURG 2001]**

MECKLENBURG, M. (iSL-CHEMIE GMBH & Co. KG, KÜRTEN): *Lenkräder im In-Mould-Verfahren lackieren*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 3, März 2001

**[ONDRAVSCHEK 2000A]**

ONDRAVSCHEK, D. (FRAUNHOFER IPA, STUTTGART): *Pulverlacktechnologie für Kunststoffteile*, in: Besser Lackieren, Nr. 2, Februar 2000

**[ONDRAVSCHEK 2000B]**

ONDRAVSCHEK, D.: *Kunststoffe effizient elektrostatisch lackieren*, in: Besser Lackieren, Nr. 17, Oktober 2000

**[REINER 2000]**

REINER, H.: *Moderne Kunststofflackierung in der Autozulieferer- und Sportartikelindustrie*, in: Seminarunterlagen “Wasserlacke IX“, Wien, 23. November 2000

**[STEGEN 2001]**

STEGEN, H.; MASS, M. (DUPOINT PERFORMANCE COATING, WUPPERTAL): *Colour-Management - die hohe Kunst der Farbtonabstimmung*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 3, März 2001

---

## 5 Serienlackierung von Metalloberflächen

### 5.1 Allgemeine Informationen

Der Sektor der Serienlackierung von Metallwerkstücken ist sehr breit gefächert<sup>1</sup>. Es erfolgt eine Beschreibung des Bereichs anhand der Produkte: **Hausgeräte, Stahlmöbel, Bürogeräte, Schaltschränke, Heizkörper, Fassadenelemente, Felgen, Motorblöcke, Bremsscheiben, Kühler, Scheibenwischer** sowie **Rahmen für Motorräder und Fahrräder**. Auf Grund des großen Spektrums an eingesetzten Techniken und der sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Beschichtung der Produkte, kann eine einheitliche BVT-Bestimmung für diesen Sektor nicht vorgenommen werden, sondern erfolgt exemplarisch.

#### 5.1.1 Anforderungen an die Lackierung von Metalloberflächen

Die technischen Anforderungen an die Eigenschaften der Lacke sind sehr vielfältig und von den spezifischen Einsatzbedingungen der Metallwerkstücke abhängig. Die wesentlichen Anforderungen an den Lackaufbau umfassen: Mechanische und chemische Beständigkeit, Korrosionsschutz sowie die optische Qualität der Oberfläche [CORLEY 1991]. Die optische Oberflächenqualität ist im Vergleich zu anderen Bereichen, wie beispielsweise der Möbel- oder Automobilindustrie, von geringerer Bedeutung. Da sie im gesamten Herstellungsprozess die Lackierung eher eine untergeordnete Rolle einnimmt, betreiben zahlreiche Hersteller keine eigene Lackiererei, sondern vergeben die Lackierarbeiten im Unterauftrag an Lohnlackierbetriebe. Die produzierenden Unternehmen des Sektors sowie die Lohnlackierbetriebe sind überwiegend mittelständisch strukturiert.

Die Mehrzahl der Werkstücke, hauptsächlich Gussteile oder Gehäuse aus niedriglegierten Stählen, Chrom-/ Stahllegierungen, Aluminium und Magnesium werden ganz oder teilweise lackiert.

---

<sup>1</sup> Unter der Serienlackierung hier wird die manuelle oder automatische Beschichtung von Werkstücken in großen Stückzahlen verstanden.

---

## 5.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Im Gegensatz zur Automobilserienlackierung kommen bei der allgemeinen Industrielackierung eine Bandbreite von Beschichtungsmaterialien und Auftragsverfahren, zum Einsatz. Die Beschichtungen müssen unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden. Beim Beschichtungsmaterial handelt es sich neben Grundierungen oftmals um eine Einschichtdecklackierung, bei der nur eine Decklackschicht ohne nachfolgenden Klarlackauftrag, appliziert wird. (vgl. [BROCK 1998])

Für die Lackierung eines Metallwerkstückes sind in der Praxis verschiedene Lackierkonzepte und Techniken im Einsatz. Nachfolgend werden einige davon beschrieben und soweit möglich, einem Vergleich<sup>2</sup> unterzogen.

Zur Vorbereitung der Oberflächen auf die nachfolgende Lackierung wird im allgemeinen die Reinigung mittels wässrig-alkalischer Entfetter eingesetzt.

Je nach Typ und Zusammensetzung der Entfettungsbäder und Spülen wird mit Betriebstemperaturen zwischen 50 – 90 °C und pH-Werten von 9 – 12 gearbeitet. Ob Spritz- oder Tauchanlagen zum Einsatz kommen, hängt v.a. von der Werkstückgeometrie ab [ONDRADSHECK 2002].

---

### 5.2.1 Lackierung von Stahlmöbeln

Für die Lackierung von Stahlmöbeln werden **konventionelle** und **wasserverdünnbare Lacksysteme** sowie **Pulverlacke** verarbeitet.

Neben den Kosten sind v.a. Korrosionsschutz und die optischen Oberflächeneigenschaften von wesentlicher Bedeutung. Standard-Testmethoden, wie der Salzsprühnebel- und der Kondensationstest zeigen, dass sowohl wasserverdünnbare Tauchlacke und Pulverlacke im Vergleich zu der konventionellen Nasslackierung (mit lösemittelhaltigem Lack im elektrostatischen Spritzverfahren), eine gute bis sehr gute Korrosionsschutzwirkung erzielen. Im folgenden werden die unterschiedlichen Lackierkonzepte (vgl. Anhang VI.I) skizziert:

---

<sup>2</sup>. Dazu werden z.T. die Ergebnisse aus [HARSCH 1999] verwendet. Im Rahmen der Studie von Harsch wurden Lackierkonzepte mit der Methode der ganzheitlichen Bilanzierung untersucht. Dabei kamen die Bilanzierungssoftware GaBi und die Datenbank LACKY zum Einsatz. Die Basisdaten, Datenquellen und Annahmen für die durchgeführten Berechnungen sind daher [HARSCH 1999] zu entnehmen. Nähere Angaben über Kosten, Verbrauchs- und Emissionswerte sind im Anhang VI.I dokumentiert.

---

### **Konventionelles Lacksystem**

Beim konventionellen Lacksystem wird i.a. ein lösemittelhaltiger Lack (ca. 40 Gew.% Lösemittel) im automatischen und manuellen, elektrostatischen Spritzverfahren appliziert. Die Oversprayabscheidung erfolgt meist durch Nassabscheider. Zur Verminderung der VOC-Emissionen werden nur die Abluftströme aus den Trockneranlagen einer TNV zugeführt. Der Großteil der VOC Emissionen wird daher unbehandelt emittiert. Der Vorteil des konventionellen Lackierkonzeptes liegt in der hohen **Farbtonflexibilität**.

### **Pulverlacksystem**

Beim Pulverlacksystem werden **keine VOC-Emissionen** und nur **geringe Lackabfallmengen** generiert. Nachteilig können die höheren Schichtdicken sein, i.d.R. kann dieser Nachteil durch eine Kreislaufführung der Pulverlacke und den damit erreichbaren hohen Auftragswirkungsgraden jedoch ausgeglichen werden. In der nahen Zukunft wird allerdings eine Schichtdickenreduzierung erwartet. Bei hohen Anforderungen an die optischen Oberflächeneigenschaften kann es zu Qualitätsproblemen kommen. Pulverlacksysteme sind in bezug auf Farbtonwechsel weniger flexibel als Nasslacksysteme, da bei jedem Farbtonwechsel eine Reinigung der Lackerkabine notwendig ist, die allerdings i.d.R. keinen hohen technischen und zeitlichen Aufwand erfordert. [HARSCH 1999]

### **KTL-Anlage**

Die beste Alternative aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht, stellt die KTL-Lackieranlage im Durchlaufbetrieb dar. Mit dem Verfahren werden hohe Auftragswirkungsgrade, homogene Schichtdicken, sehr geringe Lösemittelemissionen und sehr guter Korrosionsschutz realisiert. Eine Nacharbeit der Werkstücke ist aufgrund der hohen Oberflächenqualität nicht notwendig. Da Farbwechsel nicht möglich sind, eignet sich dieses Lackierkonzept allerdings nur für hohe Durchsatzmengen mit einem Farbton.

## **5.2.2 Lackierung von Regalsystemen**

Bei der Lackierung von Regalsystemen kommen Farbenvielfalt und unterschiedliche Geometrien zum Tragen. Daher wird häufig eine Kombinationsanlage von automatisierten und manuellen Lackierstraßen eingesetzt, da die unterschiedlichen Teilegeometrien in einer vollautomatischen Anlage nicht gemeinsam lackiert werden können (vgl. Anhang VI.I) [HARSCH 1999].

Die Metallteile werden entfettet, phosphatiert (FE-Phosphatierung), gespült und anschließend getrocknet. Teilweise entfällt diese Vorbehandlung auch. Es folgt eine Decklackierung mit

---

**konventionellen Lacken** im Spritzverfahren oder mit **wasserverdünnbaren Flüssiglacksystemen**, für Standardfarben erfolgt dies meist in einer Tauchanlage. Ein weiterer Teil der Produkte wird mit **Pulverlacken** beschichtet, die Pulverkabinen verfügen in der Regel über Lackrückgewinnungssysteme. Besonders lange Teile, wie beispielsweise Rahmen, werden manuell lackiert.

Zur Trocknung bzw. Aushärtung werden die lackierten Produkte über eine Abdunstzone in den Trockner geführt. Teilweise befinden sich kombinierte Flüssiglack/Pulver-Trockner im Einsatz. [SCHÖNING 1999]

Der Vergleich zwischen konventionellem Flüssiglack, wasserverdünnbarem Flüssiglack und Pulverlack zeigt, dass:

- Lösemittelhaltige und wasserverdünnbare Flüssiglacke über annähernd gleiche technische, ökologische und wirtschaftliche Eigenschaften verfügen. Lacksysteme auf Wasserbasis verursachen geringere VOC-Emissionen gegenüber den konventionellen lösemittelhaltigen Lacken; jedoch werden aufgrund des geringeren Festkörperanteils größere Mengen an Lackmaterial verbraucht.
- Die Pulvertechnologie lediglich in Bezug auf die Vermeidung von VOC-Emissionen zu empfehlen ist. Parameter wie Energiebedarf, Materialverbrauch und Betriebskosten liegen gegenwärtig in diesem Bereich höher als bei Flüssiglacken. Dies ist im Wesentlichen auf die derzeit noch großen Schichtdicken zurückzuführen. Mit der Entwicklung von Pulverlacken zu Dünnschichten ist in einigen Jahren mit einem deutlichen Vorteil von Pulverlacke gegenüber Nasslacke zu rechnen [HARSCH 1999]

### 5.2.3 Lackierung von Haushaltsgeräte

Bei der Herstellung von **Kühlschränken** und **Herden** werden überwiegend beschichtete *Coil-Coating-Bleche* verarbeitet (vgl. Kapitel 6), so dass bei den Geräteherstellern keine Lackierarbeiten mehr durchgeführt werden.

Hersteller von **Wasch-, Geschirrspülmaschinen** und **Wäschetrockneren**, setzen derzeit nach der Phosphatierung und z.T. der Elektrotauchgrundierung *Pulverlacksysteme* ein (vgl. Anhang VI.I). Vereinzelt kommen noch lösemittelhaltige Flüssiglacke zum Einsatz. Derzeit werden bereits Dünnschichtlackierungen mit Pulverlacksystemen bei der Lackierung von Haushaltsgeräten durchgeführt (Schichtdicken ca. 45 µm). [AKZO 2000].

Wie bei der Gegenüberstellung zwischen konventionellem Flüssiglack und Pulverlack festzustellen ist, verfügt die Pulvertechnik bei gleicher Oberflächenqualität und Korrosionsbeständigkeit, über die besseren umweltbezogenen Eigenschaften, während die

---

konventionelle Nasslacktechnik VOC-Emissionen und die geringeren Kosten verursacht [HARSCH 1999].

#### **5.2.4 Lackierung von Hochspannungsschalschränke**

Für die Lackierung von Hochspannungsschalschränken wird nach dem Phosphatieren meist eine **Elektrotauchgrundierung** aufgetragen. Anschließend erfolgt der Decklackauftrag. Dazu sind **konventionelle 2K-Decklacke, wasserverdünnbare Decklacke** sowie **Pulverlacksysteme** im Einsatz (vgl. Anhang VI.I). Der notwendige Energiebedarf ist bei Anwendung von Flüssiglacken höher als beim Pulverlack. Deutliche Unterschiede sind bei der Freisetzung von VOC-Emissionen zu verzeichnen: Die besseren Alternativen sind die Pulverbeschichtung sowie wasserverdünnbare Lacksysteme. Das Abfallaufkommen bei der Pulverlackierung ist aufgrund Pulverrückgewinnung deutlich geringer als für die Nasslackierung. Zudem liegen die Betriebskosten für die Pulverlackierung von Schalschränken, deutlich unter denen der Flüssiglackierung.

#### **5.2.5 Lackierung von Motorengehäusen**

Motorengehäuse werden mit einem **Pulverlack** auf der Basis von Epoxidharz im elektrostatischen Spritzverfahren beschichtet. Der Pulveroverspray wird gesammelt und wieder verwendet. Dieses Lackmaterial ist temperatur- (bis zu 500 °C) und chemikalienbeständig. Die Trocknung erfolgt mittels Strahlung bei 200 °C. Im Vergleich zu Emaillelacken ist eine Verkürzung der Prozesszeiten sowie eine Erhöhung der Lebensdauer der Motorengehäusebeschichtung zu verzeichnen [BESSER LACKIEREN 2000].

Die erste industrielle Beschichtungsanlage für UV-härtende Pulverlacksysteme wurde für die Beschichtung von vormontierten Motorenblöcken, die hitzeempfindliche Kabelstränge enthalten, in Betrieb genommen. Der Pulverlack wird mittels einer Corona-Pistole im elektrostatischen Spritzverfahren aufgetragen, nachfolgend mit IR-Strahlern geschmolzen und mit UV-Quecksilber-Hochdruckstrahlern gehärtet. [BUYSENS 2001] Tabelle 5-1 zeigt einen Kostenvergleich zwischen konventionellem Lack und UV-Pulverlack.

Tabelle 5-1: Kostenvergleich zwischen einem konventionellen Lack und einem UV-Pulverlack bei der Beschichtung von vorgefertigten Motorblöcken [BUYSENS 2001]

| Kostenart, Sonstige Informationen                       | Konventioneller Lack | UV-Pulverlack |
|---|----------------------|---------------|
| <i>Materialkosten</i>                                   | 2,52                 | 2,02          |
| Festkörpergehalt [Gew.-%]                               | 10                   | 100           |
| Wirkungsgrad [%]  | 35                   | 98            |
| Trockenfilmdicke [ $\mu\text{m}$ ]                      | 30                   | 50            |
| Lackkosten [E/kg]                                       | 2,78                 | 26,5          |
| <i>Energiekosten [E/m<sup>2</sup>]</i>                  | 0,27                 | 0,24          |
| <i>Verarbeitungs-, Wartungskosten [E/m<sup>2</sup>]</i> | 1,52                 | 0,83          |
| <i>Entsorgungskosten (Overspray) [E/m<sup>2</sup>]</i>  | 0,74                 | 0             |
| <i>Kosten für Nacharbeit [E/m<sup>2</sup>]</i>          | 0,12                 | 0,08          |
| <i>Anlagenabschreibung [E/m<sup>2</sup>]</i>            | 0,09                 | 0,42          |
| <i>Investition [E/m<sup>2</sup>]</i>                    | 184 000              | 900 000       |
| <b>Gesamtkosten [E/m<sup>2</sup>]</b>                   | <b>5,26</b>          | <b>3,59</b>   |

Trotz eines höheren Preises von Pulverlacken gegenüber konventionellem Lack (auf kg Lack bezogen) sind die Materialkosten aufgrund des geringeren Oversprays deutlich geringer für den Pulverlack als für den lösemittelhaltigen Lack. Weiterhin sind ebenfalls die Energiekosten für den Pulverlack, in Folge des kürzeren Härtungsvorganges, geringer. Außerdem sind bei der Verwendung von Pulverlacksystemen die Verarbeitungs- und Wartungskosten im Vergleich zu konventionellen Systemen wesentlich niedriger. Schließlich ist anzumerken, dass aufgrund des hohen Auftragswirkungsgrades und der Recycling-Eigenschaften des Pulvers nahezu kein Abfall generiert wird. [BUYSENS 2001]

## 5.2.6 Lackierung von Scheibenwischern

Für die Lackierung von Scheibenwischern werden **wasserverdünnbare Lacke** (z.T. mit Hochrotationsglocken) sowie **Pulverlacke** verarbeitet (vgl. Anhang VII). Aus ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten verfügt die Pulvertechnik über Vorteile. Ein Nachteil der Pulverbeschichtung sind allerdings die höheren Schichtdicken, die zu einer Beeinträchtigung der Oberflächenqualität und zu Problemen beim Zusammenbau der Teile führen können. [HARSCH 1999]

---

## **5.2.7 Lackierung im Maschinenbau**

Für *Werkzeug- und Metallbearbeitungsmaschinen* müssen besonders widerstandsfähige Lackierungen, wie z. B. **konventionelle PUR-Füller und –decklacke**, eingesetzt werden, um aggressiven Ölen, Kühlmitteln und anderen Flüssigkeiten standzuhalten. Neben der optischen Oberflächenqualität steht daher der Korrosionsschutz im Vordergrund.

Die Lackierung von Maschinenbauprodukten gliedert sich in die Prozessschritte Vorbehandlung (Reinigen, Entfetten, Spachteln, Abdecken), Lackierung (Grundierung, Decklackierung, Trocknungsvorgänge), Nachbehandlung (Ausbessern von Schadstellen, Entfernen von Abdeckpapier) und Reinigen der Werkzeuge und Geräte auf. [CORLEY 1991]

### **Vorbehandlung**

Der zu lackierende Metalluntergrund ist üblicherweise mit Fetten, Ölen, Wachs oder Staub verunreinigt. Zur Beseitigung derartiger Verunreinigung wird die Oberfläche i.d.R. mit wässrigen Reinigungsmitteln oder vereinzelt mit organischen Lösemitteln gereinigt. Je nach Werkstück- und Losgröße erfolgt die Entfettung in Tauchbädern, durch Abspritzen, Bürsten oder manuelles Abwischen (Lösemittel und Lappen). Wenn bei der Entfettung Wasser verwendet wird, werden die Metallwerkstücke vor der Lackierung getrocknet.

### **Grundierung**

Die Elektrotauchlackierung mit wasserverdünnbaren Lacken als Grundierung hat die breiteste Anwendung. Daneben werden noch konventionelle oder wasserverdünnbare Grundierungen im Spritzverfahren aufgetragen.

### **Decklackierung**

Üblicherweise werden in der Maschinenlackierung zwei Decklackschichten in Form von 2-K-Komponenten-Lacksystemen auf der Basis von Acryl, PUR oder Epoxid als farbgebender Basislack (mit nachfolgendem Klarlackauftrag) oder 2 Schichten farbgebender Basislack eingesetzt. Teilweise werden bereits Pulverlacke appliziert.

Die Flüssiglacke werden vorwiegend manuell im Druckluftverfahren, HVLP, Airless oder im Airmix-Verfahren appliziert.

Für bestimmte Einsatzgebiete sind oversprayfreie Lackauftragsverfahren wie Gießen, Walzen, Tauchen, Fluten einsetzbar. Dabei werden Auftragswirkungsgrade bis zu 95 % erreicht. Ähnliche Wirkungsgrade werden auch bei der elektrostatischen Pulverlackierung erzielt.

---

## **Pulverlackierung**

Zum Einsatz kommen Pulverlacksysteme auf der Basis von Epoxid, Epoxid/Polyester, Polyester. Der Pulverlack wird entweder direkt auf den entfetteten Untergrund oder als Deckschicht auf eine Grundierung aufgetragen. Der Auftrag erfolgt üblicherweise im elektrostatischen Spritzverfahren.

### **5.2.8 Lackierung von Fassadenelementen**

Fassadenelemente werden seit langer Zeit mit Pulverlacksystemen beschichtet. Heutzutage sind auch TGIC-freie<sup>3</sup> Pulverlacksysteme auf dem Markt und werden in diesem Produktionsbereich eingesetzt. [ALFORT 1999]

Ein Hersteller von Fassadenteilen aus Aluminium beschichtet etwa 420 Teileträger pro Tag und ca. 100 000 pro Jahr. Jährlich werden mehr als 1 000 Farben verarbeitet, ausschließlich in Pulverbeschichtung. Die in diesem Bereich eingesetzten Lacksysteme Polyurethan, Acrylat, Epoxid, Amide und Ester. [WAREMA 2000]

### **5.2.9 Lackierung von Möbeln für den Krankenhaus-Bedarf**

Krankenhausmöbel werden bereits seit vielen Jahren mit Polyester-Pulverlack beschichtet, da sie desinfektions-, heißwasser- und kratzbeständig sein müssen. Unter anderem werden aus Desinfektionsgründen, z.B. Krankenhausbetten, heißdampfsterilisiert. Derzeit sind bereits TGIC-freie Lacksysteme verfügbar und im Einsatz, die den erwähnten Anforderungen genügen. [BOYSEN 2000]

### **5.2.10 Lackierung von Heizkörpern**

Bei der Lackierung von Heizkörpern ist der Einsatz von Pulverlacken Stand der Technik [MAY 2001]. Bei Heizkörperherstellern ist derzeit eine Erweiterung der Farbpalette, aufgrund der gestiegenen Nachfrage nach Sonderfarben, zu verzeichnen.

---

<sup>3</sup> Als Härterkomponente wurde vorwiegend TGIC (Triglycidyl-Isocyanurat) eingesetzt. Als Anfang der neunziger Jahre Untersuchungsergebnisse aufgezeigt haben, dass diesem Härter ein mutagenes Gefährdungspotential zuzuschreiben ist, wurden alternative Härter entwickelt. [ALFORT 1999]

---

### **5.2.11 Lackierung von Fahrrad- und Motorradrahmen**

Fahrrad- und Motorradrahmen werden mit wässrigen Flüssiglacken grundiert und mit einem farbgebenden- Basislack beschichtet und schließlich mit einem Flüssiglack klarlackiert. [BESSER LACKIEREN 2000] Die verwendeten Basislacke und Klarlacke sind dabei meist lösemittelbasiert. Zunehmend werden für die Basis- und Klarlackschicht auch Pulverlacke eingesetzt. Fahrradrahmen und Motorradrahmen werden aus Carbon, legierten Stählen oder aus geklebten Aluminiumrohren und Aluminiummuffen hergestellt. Bei der Pulverbeschichtung kann es sich als problematisch erweisen, dass manche Klebeverbindungen bei Temperaturen von über 180 °C nicht beständig sind. In solchen Fällen wird eine Nasslackierung durchgeführt. Folgende Verfahren kommen für die Beschichtung von Fahrrad- und Motorradrahmen zum Einsatz:

#### ***Vorbehandlung***

Üblicherweise erfolgt die Vorbehandlung durch Strahlen. Dadurch entsteht eine metallisch blanke Oberfläche, die frei von allen Rückständen (z.B. Fett, Öl) ist. Nach dem Entfettungsvorgang wird eine Fe-Phosphatierung durchgeführt, um einen optimalen Untergrund für die nachfolgende Beschichtung zu erhalten.

#### ***Beschichtung***

Bei der Beschichtung von Fahrrad- und Motorradrahmen ergeben sich drei Möglichkeiten:

- Bei einer Ein-Schichtlackierung wird ein Decklack direkt auf die metallisch blanke Oberfläche aufgetragen.
- Bei einer Zwei-Schichtlackierung wird eine Grundierung und ein Decklack oder ein Decklack und ein Klarlack auf die metallisch blanke Oberfläche aufgetragen.
- Bei einer Drei-Schichtlackierung wird auf die metallisch blanke Oberfläche eine Grundierung, ein Decklack und ein Klarlack aufgetragen

Die Pulverbeschichtung erfolgt elektrostatisch im manuellen Tribo- oder Corona-Verfahren, wobei eine gleichmäßig starke Schichtdicke erreicht wird. Die Oberfläche weist sehr gute Eigenschaften hinsichtlich mechanischer Beanspruchung und Korrosionsbeständigkeit auf. Nach der Beschichtung wird der Lack eingearbeitet, d.h. der Pulverfilm wird mit einer Temperatur von 180°C - 200°C im Ofen ausgehärtet und verschmilzt hierbei zu einem geschlossenen und glatten Lackfilm. [WEIST 2000, WEIST 2001]

---

### **5.2.12 Lackierung von Pkw-Kühlern**

Bei der Beschichtung komplett montierter Kühler im Fahrzeugbau wird Lack auf Wasserbasis im elektrostatischen Spritzverfahren manuell aufgetragen. Auf diese Weise werden die Kühler, die eine schwierige Geometrie mit Vertiefungen und diverse Kunststoffbauteile aufweisen, gleichmäßig beschichtet. Lackrückgewinnungsanlagen sind in dieser Branche bereits implementiert. Der Lackoverspray wird abgeschieden und der rückgewonnene Lack nachbehandelt (z.B. gereinigt mittels eines Unterdrucksiebs). Um die Eigenschaften dieses Lacks, wie beispielsweise die Viskosität, besser steuern zu können, wird der rückgewonnene Lack in einem bestimmten Verhältnis mit Neulack vermischt. Diese Kombination von elektrostatisch aufgetragenem Wasserlack und anschließende Lackrückgewinnung ermöglicht deutliche Lackeinsparungen und damit eine Reduktion der Betriebskosten. [R + H 2000] Neben der Verwendung von wasserverdünnbaren Lacken, werden zunehmend UV-härtende Pulverlacke appliziert. Da die zu beschichtenden Kühler aus Metall und Kunststoffen bestehen, ist aufgrund der eingeschränkten Wärmebeständigkeit, nur eine UV-Vernetzung möglich.

### **5.2.13 Beschichtung von Bremsscheiben**

Erst seit einigen Jahren werden Bremsscheiben vollständig lackiert. Zuvor blieben bestimmte Teile wie Reib- und Anschraubflächen unbeschichtet. Vorwiegend aus Korrosionsschutz- und optischen Gründen werden auch diese Fahrzeugteile inzwischen allseitig beschichtet. Diese Beschichtung weist weitere Eigenschaften auf: z.B. verbesserter Wärmeaustausch, keinen Einfluss auf das Bremsverhalten.

Im Falle, dass eine mechanische Bearbeitung der Bremsscheiben am gleichen Standort wie die anschließende Beschichtung erfolgt, kann der Entfettungsvorgang entfallen. In Deutschland ist dies in der Regel aber nicht der Fall und die Teile müssen zunächst entfettet, gespült und getrocknet werden. Anschließend sind zwei Verfahrensarten zum Korrosionsschutz möglich:

- . Die gängigsten Verfahren für die Vorbehandlung von metallischen Untergründen, sind Chromatierung oder Phosphatierung. Anschließend folgt die Applikation des Decklacks im Spritzverfahren. Üblicherweise wird in dieser Branche noch mit konventionellen lösemittelhaltigen Lacken gearbeitet.
- Alternativ kommt das Geomet-Verfahren zum Einsatz. Geomet ist ein Korrosionsschutz-Überzug, der gleichzeitig für Korrosionsschutz und Dekorbeschichtung sorgt. Dieser Lack besteht aus Zink- und Aluminiumlamellen und verleiht dem Untergrund einen silbernen Farbton. Verarbeitet wird der Geomet aus wässriger Lösung. Zur Gewährleistung einer optimalen Vorbehandlung wird dieser Lack bei Temperaturen bis

---

zu etwa 340 °C mit Induktionstrocknern eingebrannt. Der Auftrag erfolgt im Spritzverfahren, je nach Anlage im Reinraum, wobei z.T. HVLP-Pistolen zum Einsatz kommen.

Die aufgetragenen Schichtdicken betragen zwischen 3 und 15 µm. [JOT 2001]

### 5.2.14 Lackierung von Aluminiumfelgen

Neben dem Korrosionsschutz spielen vor allem die optischen Eigenschaften bei der Beschichtung von Felgen eine wichtige Rolle. Die konventionelle Beschichtung von *Aluminiumfelgen* umfasst eine Vorbehandlungsstufe, die in der Regel einer Gelbchromatierung unter Verwendung hochgiftiger Chrom VI-Verbindungen entspricht. Es folgt ein dreistufiger Lackaufbau aus **lösemittelbasierten Lacken**: Basislack, Metallic-Schicht und Klarlack. Aufgrund der Verwendung von toxischen Chrom(VI)-Verbindungen und des Einsatzes lösemittelhaltiger Lacke ist dieses konventionelle Beschichtungsverfahren als umweltbelastend zu bezeichnen. In einer neuen großtechnischen Anlage zur Felgenherstellung wird diese Gelbchromatierung durch ein chromfreies Verfahren und die konventionellen lösemittelhaltigen Lacke durch lösemittelarme und -freie Lacke ersetzt.. **Grundierung und Klarlackschichten** werden als **Pulverlack** appliziert. Der Auftrag des Metallic-Basislackes erfolgt als **wasserverdünnbaren Lack**.

In der neuen Anlage können im Vergleich zur konventionellen Anlage bei der Vorbehandlung jährlich 150 Tonnen chromhaltiger Sonderabfall vermieden werden. Stattdessen fallen etwa 70 t/a überwachungsbedürftiger, chromfreier Abfall aus der Abwasserbehandlung an. Der Abwasseranfall bleibt trotz der aufwändigeren Vorbehandlung gleich.

In der nachfolgenden Tabelle 5-2 werden die erzielten Umweltentlastungen des Beschichtungsprozesses dargestellt.

Tabelle 5-2: Verfahrensvergleich der Felgenbeschichtungsverfahren [ABAG itm GmbH 2002]

| Emissionen, bezogen auf 1 Mio. Räder/Jahr |                           |                       |  |
|---|---------------------------|-----------------------|--|
|   | Konventionelles Verfahren | Innovatives Verfahren | Anmerkungen                                      |
| <b>1. Beschichtung / Grundauftrag</b>     |                           |                       |  |
| Pulverabfall                              | < 2,5 t/a                 | < 2,5 t/a             | Keine Änderung, da Verfahrensschritt beibehalten |
| <b>2. Beschichtung Metallic-Basislack</b> |                           |                       |  |
| Flüchtige organische Anteile              | ca. 37 t/a                | ca. 4 t/a             | Minimierung durch Wasserbasislack um ca. 90 %    |
| Festkörperaustrag über Abwasser           | ca. 8 t/a                 | ca. 2 t/a             | Minimierung und qualitative Verbesserung         |
| <b>3. Beschichtung Klarlack</b>           |                           |                       |  |
| Flüchtige organische Anteile              | ca. 29 t/a                | 0 t/a                 | Reduzierung um 100 %                             |
| Festkörperaustrag über Abwasser           | ca. 20 t/a                | -                     | Reduzierung um 100 %                             |
| Pulverabfall                              |                           | ca. 1 t/a             | Neu  |

Mit der neuen Anlage werden deutlich niedrigere VOC – Emissionen verursacht (statt 66 g/Rad nur noch 4 g/Rad). Der Abfall wird reduziert (statt 30,5 g nur noch 5,5 g/Rad). Der Lackeinsatz vermindert sich von 210 g/Rad auf 170 g/Rad bei fast gleichbleibenden Schichtdicken. Der Energiebedarf erhöht sich, trotz höherer Trockentemperaturen des Pulverlackes, nicht.

Grundsätzlich ist diese neue Beschichtungstechnologie auch auf andere Aluminiumoberflächen, wie z.B. von Gepäckträgern, Rahmen, Bauelementen usw. übertragbar. [ABAG 2002]

---

## **5.3 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Aus der exemplarischen Betrachtung der Lackierprozesse verschiedener Werkstücke, lassen sich für die Lackierung und Vorbehandlung von Metallwerkstücken folgende emissionsarme Techniken einsetzen:

### ***Einsatz der wässrig-alkalischen Reinigung***

Wässrige Reinigungs- und Spülprozesse können als Stand der Technik für die Entfettung von Metalloberflächen angesehen werden (vgl. Anhang II, Abschnitt II.1.2).

### ***Einsatz von lösemittelarmen bzw. -freien Lacksystemen***

Für nahezu alle Bereiche des Sektors stellen wasserverdünnbare Lacksysteme oder Pulverlacke eine Alternative zu konventionellen, lösemittelhaltigen Lacken dar. Für die Beschichtung von Werkstücken in großen Stückzahlen ohne Farbwechsel stellt das Elektrotauchgrundieren mit wasserverdünnbaren Lacken einen bereits etablierte Technik dar. Beim Einsatz von Elektrotauchlackierung als Grundierung, ist eine Decklackierung mit Pulverlack oder festkörperreichen Flüssiglacken (1K ofentrocknend oder 2 K forciert trocknend) bereits weit verbreitet. Für Metallmöbel finden wasserverdünnbare Lacke einen bedeutenden Einsatz. [MAY 1997]

### ***Einführung von effizienteren Lackauftragsverfahren***

Neben der Optimierung der Spritzparameter (z.B. Spritzluftdruck, Spritzwinkel) kann eine Reihe von Auftragsverfahren für die Beschichtung von Maschinen angewandt werden. Tabelle 5-3 enthält erreichbare Auftragswirkungsgrade und Einschränkungen für einige Auftragsverfahren. Eine Beschreibung der aufgeführten Lackapplikationsverfahren kann Anhang III entnommen werden.

Tabelle 5-3: Erreichbare Auftragswirkungsgrade und Einschränkungen für unterschiedliche Auftragsverfahren bei Metallwerkstücken [CORLEY 1991]

| Verfahren                                     | Auftrags-wirkungsgrad [%] | Einsetzbare Lacksysteme | Werkstück-geometrie | Sonstige Einschränkungen                                  |
|---|---------------------------|-------------------------|---------------------|---|
| Druckluft                                     | 20 – 65                   | 1K, 2K                  | Keine Einschränkung | -   |
| Airless                                       | 40 – 80                   | 1K, 2K                  | Groß, einfach       | -   |
| Airmix  | 35 – 75                   | 1K, 2K                  | Groß, einfach       | -   |
| HVLP  | 45 – 65                   | 1K, 2K                  | Keine Einschränkung | -   |
| Druckluft mit elektrostatischer Unterstützung | 50 – 80                   | 1K, 2K                  | Kein Faraday-Käfig  | Leitende Werkstoffe erforderlich                          |
| Airless mit elektrostatischer Unterstützung   | 45 – 85                   | 1K, 2K                  | Kein Faraday-Käfig  | Leitende Werkstoffe erforderlich                          |
| Airmix mit elektrostatischer Unterstützung    | 40 – 80                   | 1K, 2K                  | Kein Faraday-Käfig  | Leitende Werkstoffe erforderlich                          |
| Walzen  | nahezu 100 %              | 1K                      | Eben, flächenförmig | -   |
| Gießen  | nahezu 100 %              | 1K                      | Eben, flächenförmig | -   |
| Fluten  | 85 – 95                   | 1K                      | Nicht schöpfend     | Große Lösemittel-Verluste                                 |
| Tauchen                                       | 75 – 90                   | 1K                      | Nicht schöpfend     | Große Lösemittel-Verluste                                 |
| Pulver, elektrostatisches Spritzverfahren     | 50 – 95                   | Pulver                  | Keine Einschränkung | Leitende und temperaturbeständige Werkstoffe erforderlich |

## 5.4 Vorschlag der besten verfügbaren Techniken

Die nachfolgenden Verfahren stellen für die Lackierung von Metallwerkstücken besonders fortschrittliche Verfahren dar und sind für die meisten Anwendungen verfügbar. Diese Lackierverfahren sind effizient im Hinblick auf eine hohe Lackmaterialausnutzung bei minimierten Umweltbelastungen.

---

#### Beschichtung von Stahloberflächen:

- Wässrige Reinigungs- und Spülprozesse mit Integration wassersparender Maßnahmen wie Kreislaufführung der Spülmedien,
- kataphoretische Tauchlackierung, ggf. mit anschließender Decklackierung entweder mit Flüssig- oder Pulverlack,
- lösemittelarme Flüssiglacksysteme,
- Pulverbeschichtung mit Pulveroverspray-Recycling,
- oversprayarme Auftragsverfahren in Kombination mit Nasslackoverspray-Rückgewinnung.

#### Beschichtung von Aluminiumoberflächen:

- Chromfreie Vorbehandlung
- Wässrige Reinigungs- und Spülprozesse mit Integration wassersparender Maßnahmen wie Kreislaufführung der Spülmedien
- Beschichtung mit Pulverlacken oder einer Kombination aus Pulver- und wasserlöslichen Lacken

Bei der Felgenbeschichtung können die Lösemittelemissionen pro Felge um 90 %, der Lackabfall um mehr als 85 % und der Lackverbrauch um mehr als 10 % gesenkt werden. Der Energiebedarf bleibt im Vergleich zum konventionellen Prozess gleich.

## **5.5 Neue fortschrittliche Verfahren**

Ein sich abzeichnender Trend geht in Richtung einer Reduzierung der Werkstückkomplexität beim Beschichten. Dies bedeutet, dass zunehmend vorbeschichtete Bleche angekauft und umgeformt werden. Erste Anwendungen sind im Bereich der Hausgeräte durch den Einsatz vorbeschichteter Coils zu verzeichnen. [GRUPP 1999]

---

## ***Quellenverzeichnis***

### **[ABAG-ITM GMBH 2002]**

MÜLLER ET AL: *Einführung eines Verfahrens zur umweltfreundlichen Beschichtung von Aluminiumrädern*, Abschlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, März 2000

### **[AKZO 2000]**

AKZO NOBEL POWDER COATINGS GMBH, REUTLINGEN: *30 µm weniger senkt Lackierkosten drastisch*, in: Besser lackieren, Nr. 1, Januar 2000

### **[ALFORT 1999]**

ALFORT, H.-J.; BLATTER, K.; ZIMMERMANN, F.: *Pulverlacke vor neuen Herausforderungen*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Januar 1999

### **[BESSER LACKIEREN 2000]**

N.N.: *Fahrrad-Klarbeschichten mit Pulver*, in: Besser lackieren, Nr. 1, Januar 2000

### **[BOYSEN 2000]**

BOYSEN, R. (BASF COATINGS AG): *Auf TGIC-freien Pulverlack umstellen*, in: Besser lackieren, Nr. 1, Januar 2000

### **[BUYSSENS 2001]**

BUYSSENS, K.; KEIL, E.; CREMER, J.: *UV-härtbare Pulverlacke – Stand der Technik*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 2, Februar 2001

### **[BROCK 1998]**

BROCK, T.; GROTEKLAES, M.; MISCHKE, P.: Lehrbuch der Lacktechnologie, Vincentz-Verlag, Hannover, 1998

### **[CORLEY 1991]**

CORLEY, M.; TOUSSAINT, D.: *Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren – Maschinenlackierung*, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt Baden-Württemberg, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, 1991

### **[GRUPP 1999]**

GRUPP, TH.; HOFFMANN, U.: *Nasslackierprozess – Quo vadis?*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Mai 1999

### **[HARSCH 1996]**

HARSCH, M.; SCHUCKERT, M.: *Ganzheitliche Bilanzierung der Pulvertechnik im Vergleich zu anderen Lackiertechnologien*, im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP), Stuttgart, 1996

### **[JOT 2001]**

N.N.: *Bremsscheiben-Beschichtung im Sekudentakt*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 3, März 2001

---

**[HARSCH 1999]**

HARSCH, M.; PIWOWARCZYK, D.: *Entwicklung einer Methodik zur Entscheidungsvorbereitung bei der Verfahrensauswahl für Pulver- und Flüssiglacke*, im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP), Stuttgart, 1999

**[ONDRADESCHECK 2002]**

ONDRADESCHECK, D.: *Besser Lackieren, Jahrbuch 2002*, Vincentz Verlag Hannover 2002

**[RUESS 2000]**

RUESS, B. (REISS INTERNATIONAL GMBH): *Schneller Pulver wechseln - Kosten sparen*, in: Besser lackieren, Nr. 1, Januar 2000

**[R+H 2000]**

RANGE UND HEINE GMBH (WINNENDE): *Rückgewinnung spart Lack auch bei komplexen Teilen*, in: Besser lackieren, Nr. 2, Februar 2000

**[MAY 1997]**

MAY, T.: *Umweltmanagement im Lackierbetrieb*, Reihe: Moderne Lackiertechnik, Herausgegeben von U. Zorll und D. Ondratschek, Vincentz Verlag, Hannover, 1997

**[SCHÖNING 1999]**

SCHÖNING, TH.: *Recycling von Wasserlack-Overspray in der Praxis*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Juni 1999

**[WAREMA 2000]**

WAREMA RENKHOFF GMBH, MARKTHEIDENFELD: *TGIC-frei ohne Qualitätsverlust*, in: Besser lackieren, Nr. 1, Januar 2000

**[WEIST 2000]**

WEIST UND WIENECKE OBERFLÄCHENBEHANDLUNG GMBH: *Vom Lackierer zum Dienstleister*, in: Besser lackieren, Nr. 2, Februar 2000

**[WEIST 2001]**

WEIST UND WIENECKE OBERFLÄCHENBEHANDLUNG GMBH: *Oberflächenveredelung*, in: Internet-Seite <http://www.alfeld-online.de/weist-wienecke/info.htm>, März 2001

---

## 6 Bandbeschichtung (“Coil Coating”)

Coil Coating bezeichnet die Beschichtung von großen Metalloberflächen in Form von gewalzten Bändern für die Band und Blech verarbeitenden Industrie, wie z. B. Bauwesen, Fahrzeug-, Geräte- und Eisen-, Blech-, und Metallwarenindustrie. Die wichtigsten Substrate<sup>1</sup> sind Aluminium, rein oder als Legierungen mit Magnesium und Mangan, und vorveredeltes Stahlband mit Überzügen aus Zink oder Zinklegierungen (selten unverzinkter Stahl). [MEUTHEN 2000A]

### 6.1 Allgemeine Informationen

#### 6.1.1 Struktur der Bandbeschichtungsindustrie und Standorte in Deutschland

Die Coil-Coating-Industrie ist gekennzeichnet durch einerseits große Konzerne mit integrierten Anlagen und meist eigener Weiterverarbeitung (insbesondere in der Stahlindustrie), andererseits mittelständische Industriebetriebe mit vergleichsweise kleineren, langsameren Anlagen und oft spezialisiertem Produktangebot (vgl. Tabelle 6-1).

Die kontinuierliche Bandbeschichtung gehört zu den Verfahren mit deutlichen Zuwachsraten, da wirtschaftlich und emissionsarm lackierte Bleche dem weiteren Verarbeiter zur Verfügung stehen und oft eigene Lackierarbeiten mit Vorbehandlung, Lacklager, Prüflabor, Entsorgung, usw. erspart. Die Absatzmärkte für bandbeschichtete Metalle umfassen vor allem die folgenden Branchen [MEUTHEN 2000A]:

- die Bauindustrie (Bauteile für Dach und Wand, Garagentore, Türen und Trennwände, Rolladen);
- die Geräteindustrie (weiße und braune Ware, wie z.B. größere Elektrohausgeräte, Gehäuse von Phono- und Videogeräten);
- die Automobilindustrie (vgl. Pkw, Nutzfahrzeuge, Wohnmobile).

---

<sup>1</sup> Das Beschichten für den Einsatz in der Emballagenindustrie wird in Kapitel 7 behandelt. Des weiteren wird auch Elektroblech mit Isolierbeschichtung von der Betrachtung ausgenommen.

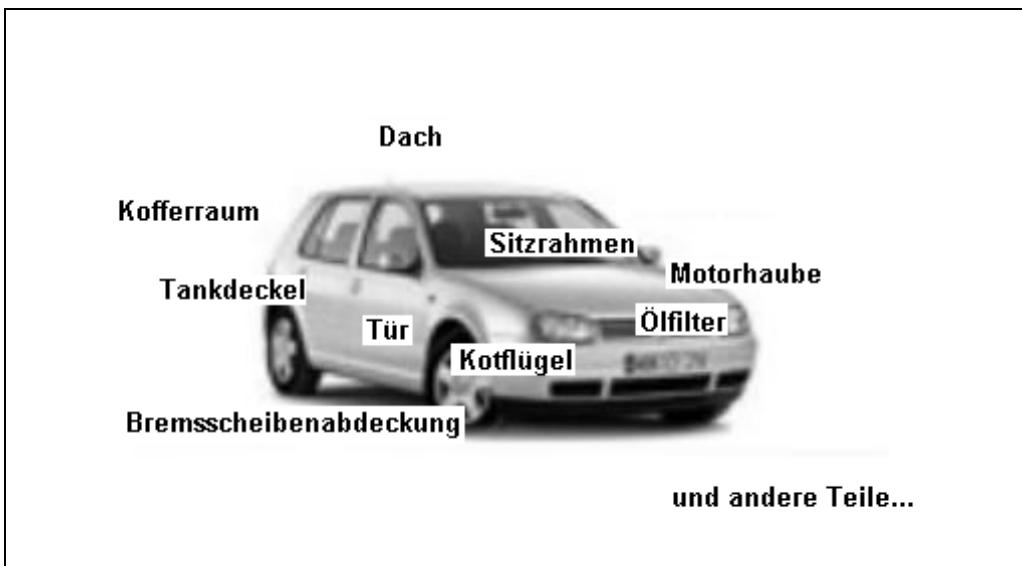


Abbildung 6-1: *Coil Coating im Automobilbau* [ECCA 2000]

Tabelle 6-1: *Standorte der Bandbeschichtungsanlagen in Deutschland* [MEUTHEN 1998]

| Unternehmen           | Anlage            | Metalle         | Beschichtungen    |
|-----------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| <i>Konzerns</i>       |                   |                 |                   |
| EKO Stahl             | Eisenhüttenstadt  | Stahl           | Lack/Folie        |
| Salzgitter Flachstahl | Salzgitter        | Stahl           | Lack/Folie        |
|                       | Salzgitter        | Stahl           | Lack/Folie        |
| Thyssen Krupp Stahl   | Duisburg          | Stahl           | Lack/Folie        |
|                       | Duisburg          | Stahl           | Lack/Folie        |
|                       | Kreuztal-Eichen   | Stahl/Aluminium | Lack/Folie/Metall |
|                       | Kreuztal-Ferndorf | Stahl/Aluminium | Lack/Folie        |

| Unternehmen                              | Anlage        | Metalle         | Beschichtung<br>n |
|--|---------------|-----------------|-------------------|
| Alcan Deutschland                        | Göttingen     | Aluminium       | Lack/Metall       |
|  | Nachterstedt* | Aluminium       | Lack              |
|  | Singen        | Aluminium       | Lack              |
| Alcan Singen                             | Grevenbroich  | Aluminium       | Lack              |
| VAW aluminium                            | Grevenbroich* | Aluminium       | Lack              |
|  | Grevenbroich* | Aluminium       | Lack              |
| <i>Mittelständische Unternehmen</i>      |               |                 |                   |
| HFP Bandstahl                            | Hagen         | Stahl/Aluminium | Lack              |
| Ewald Giebel                             | Wuppertal     | Aluminium       | Lack              |
| Helmut Lingemann                         | Wuppertal     | Stahl/Aluminium | Lack              |
|  | Wuppertal     | Stahl/Aluminium | Lack              |
| Hühoco Metallocberflächen-<br>veredelung | Schifferstadt | Aluminium       | Lack              |
| Klaus Stahl Industrie-<br>lackierungen   | Bersenbrück   | Stahl/Aluminium | Pulver            |
| Rudolf Wiegmann<br>Metallcolor           |               |                 |                   |

\* Kombinationsanlagen: Verknüpfung von Verzinken und organischer Beschichtung (Stahl) oder Weichglühen und organischer Beschichtung (Aluminium)

In Deutschland liegt die Nenn-Kapazität bei ca. 1,2 Mio. Tonnen beschichteten Stahl und Aluminium. Schätzungen für das Jahr 1999 ergeben Größenordnungen von 800 000 t bzw. 200 Mio. m<sup>2</sup> beschichteter Stahl- und Aluminiumoberfläche, was einem Anteil von etwa 20 % in Westeuropa darstellt. [MEUTHEN 2000A]

In Tabelle 6-2 sind die Liefermengen bandbeschichteter Metalle in Westeuropa aufgeführt. Der Absatz nach Fläche bzw. Gewicht weist für das Jahr 2000 ein Wachstum von 17 % im Vergleich zu 1999 auf. Allerdings folgen die eingesetzten Lackmengen diesem Trend weniger, da zunehmend Dünnfilmbeschichtungen im Einsatz sind (insbesondere im Fahrzeugbau) [MEUTHEN 2001A].

Tabelle 6-2: Liefermengen bandbeschichteter Metalle in Westeuropa für das Jahr 2000  
[MEUTHEN 2001B]

| Metall               | Oberfläche [Mio. m <sup>2</sup> ] | Gewicht [Mio. t] |
|----------------------|-----------------------------------|------------------|
| Stahl                | 969                               | 4,48             |
| Aluminium            | 284                               | 0,39             |
| Gesamt               | 1,25                              | 4,88             |
| Im Vergleich zu 1998 | + 17,2 %                          | + 16,6%          |

Die Lackmengen, die in Deutschland in der Bandbeschichtung in den letzten drei Jahren eingesetzt wurden, sind in Tabelle 6-3 aufgeführt. Im Jahr **2000** wurden etwa 65 % der Lacke für Produkte im Bauwesen eingesetzt, die restlichen 35 % in der industriellen Verwendung. Für das selbe Jahr ist eine verstärkte Nachfrage des Industriebereiches zu verzeichnen: Der Einsatz von beschichtetem Coil bei Hausgeräten ist stark angestiegen. Des weiteren werden auch im Automobilbau vorlackiertes Aluminium und vorlackierte verzinkte Bleche, wie z.B. Anbauteile (wie Kotflügel) und Ersatzteile (wie Ölfilter) zunehmend verwendet. Führende PKW-Hersteller haben sich entschieden, sog. dünnfilmbeschichtete Metallbleche auch als Ersatz für sekundäre Korrosionsschutz-maßnahmen (bei Hohlräumen, Falzen und Flanschen) einzusetzen. Derzeit werden bereits vorbeschichtete Coils bei Lkw-Aufbauten und Wohnmobilen/Wohnwagen eingesetzt (vgl. Kapitel 3). [CHEM 2000]

Tabelle 6-3: Mengen und Entwicklung der Inlandsnachfrage in Deutschland für den Sektor der Bandbeschichtung [CHEM 2000]

| Jahr  | Lackmengen [t] | Jährlicher Zuwachs [%] |
|-------|----------------|------------------------|
| 1998  | 19 000         | +3,6                   |
| 1999  | 20 500         | +7,9                   |
| 2000* | 21 800         | +6,3                   |

\* Prognose

Eine typische bzw. repräsentative Anlagenkapazität kann aufgrund der Unterschiede bei Aluminium und Stahl und des Verfahrensmixes innerhalb einer Anlage nicht angegeben werden.

## 6.1.2 Anforderungen an bandbeschichtete Erzeugnisse

Bei der Beschichtung von Stahl- oder Aluminiumbändern und -blechen sind der Korrosionsschutz und die optische Oberflächenqualität von vorrangiger Bedeutung. Nach [DIN EN 10169-1] werden folgende Eigenschaften gefordert:

- ästhetische Merkmale wie Farbe und Glanz;
- Härte der Beschichtung;
- Haftfestigkeit;
- Dehnbarkeit und Biegefähigkeit;
- Haltbarkeit, d.h. Beständigkeit gegen chemische Einflüsse oder Außenbewitterung.

## 6.1.3 Rechtliche Anforderungen an die VOC-Minderung

Tabelle 6-4: Emissionsbegrenzungen bei der Bandbeschichtung nach der 31. BImSchV

| Emissionsgrenzwert für gefasstes und behandeltes Abgas [mg C/m <sup>3</sup> ] | Grenzwert für diffuse Emissionen  | Emissionsfaktor zur Bestimmung der maximal zulässigen Gesamtemission* pro eingesetztem Feststoff |
|---|---|--|
| 20 (nach einer TNV)   |   |  |
| 75 nach Lösemittelrückgewinnungsanlagen                                       | Neuanlagen: 3 % der eingesetzten Lösemittel<br>Altanlagen: 6 % der eingesetzten Lösemittel bis 2013 | 0,2  |

\*Gesamtemission = Summe eingesetzter Festkörper multipliziert mit Emissionsfaktor Die in Deutschland betriebenen Anlagen, die alle mit nachgeschalteten thermischen Abgasreinigungsanlagen ausgestattet sind, halten Abgasgrenzwerte von 20 mg C ein.

## 6.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Die Bandbeschichtung ist ein Verfahren, bei dem gewalzte Flacherzeugnisse kontinuierlich (organisch) beschichtet werden. Dieses Verfahren schließt die Reinigung (falls erforderlich) und chemische Oberflächenbehandlung der Metallocberfläche und das ein- oder zweiseitige, ein- oder mehrmalige Auftragen flüssiger oder pulverförmiger Beschichtungsstoffe mit anschließender Filmbildung in der Wärme ein. [DIN EN 10169-1, DIN EN 1396] Das Laminieren mit Kunststoff-Folien als Alternative wird in diesem Zusammenhang nicht berücksichtigt.

Derzeit können Coils bis Breiten von 2700 mm bei Aluminium und 1850 mm bei Stahl beschichtet werden. Jedoch stellen auch Erzeugnisse aus Schmalbandanlagen einen wichtigen Geschäftsbereich dar: Anwendungen wie beispielsweise für Rollladen, Backgeräte oder Werkstoffe für den Gummi-Metall-Verbund sind zu nennen. Die Mehrzahl der Anlagen ist für Flacherzeugnisse mit Dicken bis ca. 1,5 mm ausgelegt, jedoch ist eine Erweiterung auf Dicken bis 3 mm zu beobachten. Die Bandgeschwindigkeit liegt zwischen 15 – 200 m/min, mit Durchschnittswerten von 60 – 95 m/min. Zu den langsamsten Anlagen gehören die Pulveranlagen<sup>2</sup>; die schnellsten werden vorwiegend in der Aluminiumindustrie betrieben. [MEUTHEN 1998].

### 6.2.1 Prozessablauf

Die Bandbeschichtung ist ein linearer Prozess (vgl. Abbildung 6-2), bei dem schützende oder dekorative organische Beschichtungsstoffe auf flache Metallbänder aufgetragen und anschließend zu Rollen oder Coils aufgewickelt wird. Die technische Struktur von Bandbeschichtungsprozessen unterscheidet sich zwar von einer Anlage zur anderen, jedoch folgen die Verfahren einem allgemeinen gemeinsamen Ablauf, der nachfolgend beschrieben wird. [RENTZ 1999, BROCK 1998]

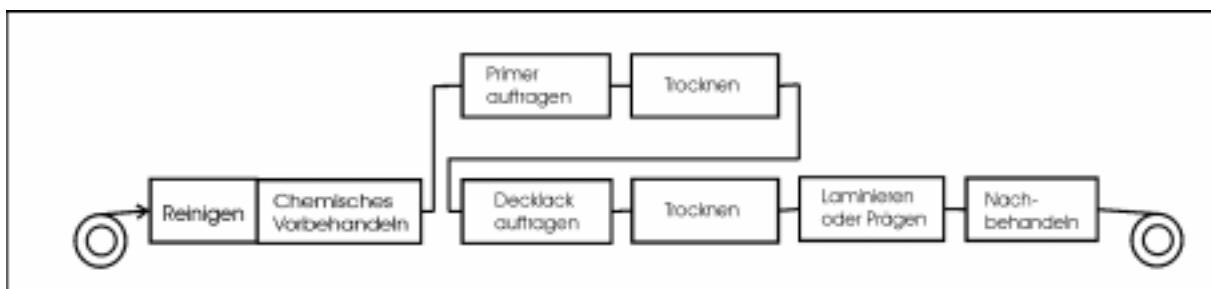


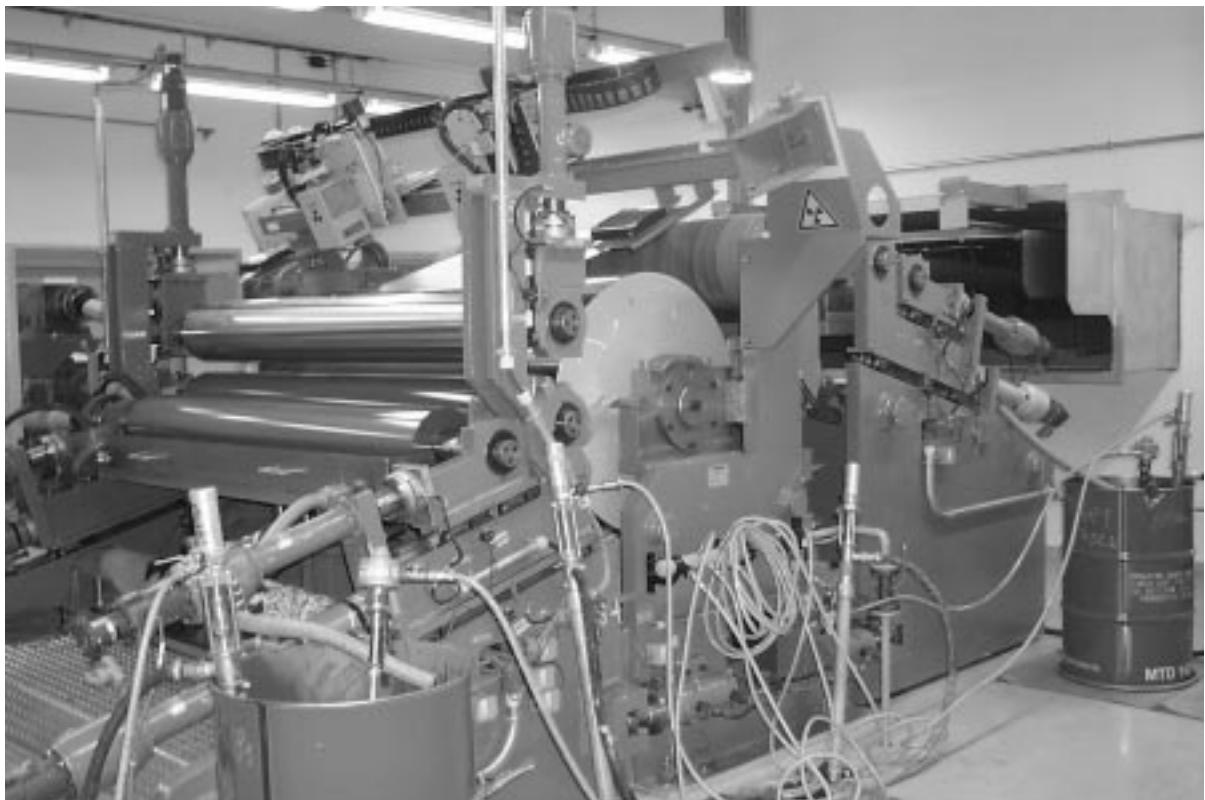
Abbildung 6-2: Vereinfachtes Fließschema der Bandbeschichtung [ECCA 2000]

Die während des Beschichtungsprozesses freigesetzten Lösemittel werden in allen neueren Anlagen mit denen der Trocknerabluft einer thermischen Abluftreinigung (TNV-Anlagen) zugeführt. Die Nutzung der Wärmeenergie (z.B. zur Erwärmung der Trocknerzuluft oder zur Wassererwärmung für Vorbehandlung) ist heute Stand der Technik. Die Applikationseinrichtungen für Lacke sind zur Verminderung der diffusen Emissionen gekapselt. [MEUTHEN 2001]

<sup>2</sup> Pulverlacke können nicht im Walzverfahren appliziert werden.

---

In Abbildung 6-3 ist eine Coil-Coating-Lackierstation mit den Lackfässern, aus denen der Lack hochgepumpt wird, und dem Ausgang des lackierten Bandes (rechts) in den Ofenspalt,



abgebildet.

Abbildung 6-3: *Abbildung einer Bandbeschichtungsanlage* [Quelle Salzgitter]

#### 6.2.1.1 Reinigung und chemische Vorbehandlung der Metalloberfläche

Das Band wird am Eingang der Beschichtungslinie abgewickelt und durch eine nasse Zone geleitet, in der das Metall zunächst gereinigt wird. Anschließend erfolgt die chemische Vorbehandlung, abhängig vom Trägermaterial, **überwiegend durch alkalisches Passivieren und Chromatieren (selten durch Phosphatieren)**. Es werden zunehmend chromfreie Vorbehandlungsverfahren, auch im sog. no-rinse-Verfahren (Auftrag im Walzverfahren), eingesetzt. Die Vorbehandlung durch Spritzen, Sprühen, Tauchen und Walzen, dient dem Schutz gegen Korrosion und bereitet die Oberfläche für die nachfolgende Lackierung vor. Vor der Lackierung wird das Metallband getrocknet. [MEUTHEN 2000A] Für bestimmte Produkte kann das gereinigte Band nach Beizung mit Schwefelsäure und anschließender Spülung als

---

Vorveredelung elektrolytisch verzinkt werden (s.h. Anhang VII). Das verzinkte Band kann weiter mit Lacken (zu sog. Duplex-Systemen) beschichtet werden.

Die Verknüpfung zweier unterschiedlicher Oberflächenveredelungsprozesse bei Stahl, wie Verzinkung und Beschichtung in einer Bandanlage ist eine interessante Variante.

### **6.2.1.2 Konventionelle Beschichtung der Metalloberfläche**

Der Lackauftrag in der Bandbeschichtung erfolgt fast ausschließlich mit Walzen (“Walzlackierung“). Es werden überwiegend lösemittelhaltige Lacke eingesetzt. Die Substrate werden ein- und zweiseitig, meist zweischichtig, gelegentlich sogar bis vierseitig (bei zweimaligem Anlagendurchlauf) beschichtet. Die Trockenfilmdicken liegen zwischen ca. 3 µm (sog. Dünnfilmbeschichtung) und 200 µm, meist aber um 25 µm pro Oberseite. Anschließend gelangt das beschichtete Metallband in einen Umlufttrockner, in dem die Lackschichten getrocknet und vernetzt werden. Typische Objekttemperaturen betragen 200 bis 260 °C. [MEUTHEN 2000A] Sobald das Band den Ofen verlässt, wird es durch einen Wasserstrahl abgekühlt und erneut getrocknet.

In Zweischichten-Anlagen, wird zunächst eine Grundierung, anschließend ein Decklack aufgetragen. Der Decklack wird ebenfalls in einem Ofen getrocknet und ausgehärtet. Vor der Verarbeitung zur Rolle („Coil“) und Verpackung zum Versand bzw. Weiterverarbeitung wird das Band erneut abgekühlt und getrocknet.

### **6.2.1.3 Pulverbeschichtung**

In Westeuropa werden sechs Band-Pulverbeschichtungsanlagen, darunter eine in Deutschland, betrieben [MEUTHEN 2000C]. Die Pulverbeschichtungsanlagen sind mit elektrostatischen Sprühpistolen und Infrarot-Trocknern ausgerüstet, eine Applikation mittels Walzverfahren ist nicht realisierbar. Die Durchlaufgeschwindigkeiten sind auf ca. 15 m/min beschränkt. Es werden hauptsächlich Pulverlacke auf Polyesterbasis eingesetzt. Aufgrund der derzeit noch begrenzten Auswahl an Lackmaterialien lässt sich bisher nur ein kleines Spektrum an Oberflächen erzeugen. Mit der Pulverlacktechnik können nur Schichtdicken von mehr als 30 µm erzeugt werden. Für technische Anwendungen werden mit konventionellen Beschichtungen Schichtdicken bis herunter zu 1 µm erzeugt [MEUTHEN 2000A]. Thermische Nachverbrennungsanlagen sind nicht erforderlich, da keine oder nur geringe Emissionen an organischen Stoffen entstehen.

### **6.2.1.4 Weitere Prozesse und Oberflächennachbehandlung**

Folgenden Weiterbehandlungen der Metalloberflächen können durchgeführt werden [FILTHAUT 2000]:

- 
- Laminieren mit Kunststofffolien;
  - Dekoratives Prägen von PVC-Plastisolschichten;
  - Aufbringen abziehbarer Schutzfolien, wenn besondere Beanspruchungen bei Transport, Lagerung oder Verarbeitung zu erwarten sind, überwiegend klebstofffrei mittels Heißkaschieren.

In manchen Fällen können die bandbeschichteten Erzeugnisse auch gewachst oder geölt werden. Das aufgebrachte Öl oder Wachs muss anschließend, vor einer Weiterverarbeitung beim Kunden, mit Reinigungsmitteln entfernt werden. [DIN EN 10169-1]

#### **6.2.1.5 Eingesetzte Beschichtungsmaterialien**

Im Bandbeschichtungssektor werden fast ausschließlich lösemittelhaltige Lacksysteme eingesetzt (vgl. Tabelle 6-5) Das sind vor allem Lacksysteme auf der Basis von Polyester und Polyurethan (und Kombinationen), Epoxidharz und Polyvinylidenfluorid (PVDF). Zur Erzeugung spezieller Oberflächen wird auch mit thermoplastischen Folien auf der Basis von PVC, Polyvinylfluorid (PVF) und Polyolefinen unter Verwendung von wärmeaktivierten lösemittelhaltigen Klebstoffen beschichtet. Auch schweißfähige, metallpigmentierte Grundierungen und anderen Ausführungen sind realisierbar. Da die Bandbeschichtungsindustrie in Europa sehr homogen ist, sind die genannten Zahlen ebenfalls für Deutschland gültig. Zu verzeichnen ist ein zunehmender Einsatz von Dünnbeschichtungen, besonders in der Automobilindustrie, sowie ein Rückgang von PVC-Plastisol [MEUTHEN 2000B].

Tabelle 6-5: Zusammensetzung der eingesetzten Decklacksysteme für die Bandbeschichtung von Metallen in Westeuropa für das Jahr 1999 [MEUTHEN 2000B]

| Lacksystem(e)                    | Anteil an den Gesamtlieferungen [%] |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| Polyester, Polyester/Polyurethan | 62                                  |
| PVC-Plastisol                    | 30,5                                |
| Wasserlack                       | 0,2                                 |
| Sonstige                         | 7,5                                 |

Die Lackstatistiken zeigen für den Bereich der Bandbeschichtung, dass in den letzten Jahren in Westeuropa nur ca. 0,2 % der eingesetzten Decklacksysteme wasserverdünnbare Lacke waren.

Der Anteil an folienbeschichtetem Metall an den gesamten Lieferungen liegt bei etwa 6 %; in den letzten Jahren hat, insbesondere in der Weiße-Ware-Industrie, die Kombination von Flüssiglackierung mit transparenter Folienbeschichtung an Bedeutung gewonnen .

---

Die derzeit eingesetzten lösemittelhaltigen Lacke haben Festkörperanteile von 30 - 70 Gew.-% [MEUTHEN 2001]. Für Lacksysteme auf Acrylat-, Epoxid-, Polyurethan- oder Polyesterbasis betragen die Schichtdicken bis zu 60 µm; bei Plastisolen sind Schichtdicken von bis zu 200 µm typisch. Bei Pulverlacksystemen sind Schichtdicken von 30 bis 100 µm üblich. [DIN EN 10169-1]

## 6.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

### 6.3.1 Verbrauch von Eingangsstoffen

Eine **Beispielanlage** ist in Anhang VI beschrieben.

In Deutschland wurden schätzungsweise 2000 etwa 22. 000 t lösemittelhaltige Flüssiglacke eingesetzt [MEUTHEN 2000A]. In Großanlagen werden mehrere 100 kg Lösemittel pro Stunde appliziert. Die in der IVU-Richtlinie angegebenen Mengenschwellen werden damit in Großanlagen weit überschritten.

Der Lackauftragsgrad im Walzverfahren hat einen Wirkungsgrad bis zu 100 %; da die Lackreste in der Lackierwanne vollständig wiederverwendet werden. [FILTHAUT 2000] Spezifische Lackverbräuche in Abhängigkeit der Menge an beschichtetem Band sind in Tabelle 6-6 zusammengestellt. Dabei wird von einer durchschnittlichen Blechdicke von 0,5-0,6 mm ausgegangen. Aufgrund der verschiedenen Lacksysteme und Schichtaufbauten stellen die Angaben nur eine sehr grobe Näherung dar.

Tabelle 6-6: *Lackverbräuche nach Lacksystemen*

| Lacksystem  | Lackverbrauchsfaktor<br>[g / m <sup>2</sup> Band] |
|---|---|
| Lacksystem auf Basis organischer Lösemittel<br>( <b>50</b> Gew.-% Lösemittelanteil) | 32-53   |
| Pulverlacke (lösemittelfrei)  | 11-32   |

### 6.3.2 Emissionen in die Luft

Insbesondere während der Beschichtung (ca. 8% der eingesetzten Lösemittel), der Trocknung (ca. 90 %) und Abschreckung (ca. 2%) mit Wasser werden die eingesetzten Lösemittel als VOC-Emissionen wieder freigesetzt. [RENTZ 1999]

In Tab. 6-7 sind spezifische VOC-Emissionswerte für unterschiedliche Verfahrensvarianten bei einer durchschnittlichen Banddicke von 0,55 mm angegeben. Aufgrund der verschiedenen Lacksysteme und Schichtaufbauten stellen die Angaben nur eine sehr grobe Näherung dar. Beim Trocknungsvorgang treten keine Staub-Emissionen auf. Sämtliche Anlagen in Deutschland, verfügen über eine thermische Nachverbrennung; die lösemittelbeladene Abluft der Beschichtungsstrecke und des Trockners wird der integrierten thermischen Nachverbrennung zugeführt, was zu geringen VOC-Emissionen führt. [FILTHAUT 2000, MEUTHEN 2000A]. Pro kg eingesetzten Festkörper eines Lackes mit einem Gehalt an Lösemitteln von 75% werden 0,12kg Lösemittel emittiert, wenn, wie in modernen Anlagen anzutreffen, nur 3 % der eingesetzten Lösemittel diffus emittieren und 97 % der VOC Emissionen einer TNV mit einem Wirkungsgrad von 99% zugeführt werden.

Tabelle 6-7: *Emissionsfaktoren für VOC-Emissionen*

| Beschreibung der Verfahrensvariante   | Spezifische VOC-Emissionen<br>[g/m <sup>2</sup> lackiertes Band] |
|---|--|
| Lacksystem auf Basis organischer Lösemittel (50 Gew.-% Lösemittelanteil) ohne Abluftbehandlung                    | 28 – 29  |
| Lacksystem auf Basis organischer Lösemittel und Nachverbrennung an den Einbrennofen gekoppelt (Stand der Technik) | 0,73 – 0,84  |
| Pulverlacke (lösemittelfrei)  | 0  |

### 6.3.3 Abwasser

In der Bandbeschichtung fällt Abwasser in der Vorbehandlung durch Entfettung, Passivieren und Chromatieren an. [BROCK 1998]. In den Anlagen werden zunehmend chromfreie Vorbehandlungsverfahren, auch im sog. no-rinse-Verfahren (Auftrag im Walzverfahren), eingesetzt. Beim letzteren Verfahren entstehen keine Abwässer.

### 6.3.4 Abfälle

Bei der Reinigung der Beschichtungsanlage kommen lösemittelhaltige Reinigungsmittel zum Einsatz, die in einer Auffangwanne gesammelt und extern zur Wiederverwendung aufbereitet werden können. Des Weiteren fallen Lackreste in geringen Mengen an, die entweder extern wiederaufbereitet oder zur Beschichtung der Bandrückseite verwendet wird.

---

### **6.3.5 Energiebedarf**

Beim Einsatz von thermischen Nachverbrennungsanlagen ist die Wärmerückgewinnung heute Stand der Technik [MEUTHEN 2001].

## **6.4 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

### **6.4.1 Einsatz von lösemittelhaltigen Lacken und Abluftreinigung**

Sämtliche deutschen Bandbeschichtungsanlagen, in denen Lacksysteme mit organischen Lösemitteln eingesetzt werden, sind mit TNV ausgerüstet [RENTZ 1994]. Die Rückgewonnene Energie, wird zur Erhitzung der Vorbehandlungsbäder und der Lackieranlagen genutzt. Für eine Beschreibung des TNV-Verfahrens sei auf Anhang V verwiesen. Katalytische Nachverbrennungsanlagen werden nicht eingesetzt. Zur Vermeidung von Staubeinschlüssen und zur Verminderung von diffusen Emissionen sind die Applikationskabinen sowie die Zonen zur Abkühlung des Bandes gekapselt. Darüber hinaus werden die an die Applikationsanlagen angeschlossenen Trockner mit Unterdruck betrieben, so dass ein Austritt von VOC-Emissionen aus der Anlage zusätzlich unterbunden wird und diese fast vollständig der nachgeschalteten Nachverbrennungsanlage zugeleitet werden. Der Wirkungsgrad der Abluftreinigung liegt bei über 99 %, es werden Reingaswerte mit einer Beladung von < 20 mg C/m<sup>3</sup> erreicht [MEUTHEN 2001]. Diffuse Emissionen in Höhe von 3 % der eingesetzten Lösemittel können bei Neuanlagen eingehalten werden.

Bezogen auf den Festkörper der eingesetzten Lacke können VOC-Emissionswerte von weit unter 0,2 kg/kg eingehalten werden.

### **6.4.2 Einsatz lösemittelarmer bzw. freier Lacksysteme**

Die einzige Substitutionsalternative stellt derzeit die Pulverlacktechnologie dar. Bei Lacksystemen auf Wasserbasis ist der Einsatz erschwert. Derzeit steht fest, dass High-Solids-Lacksysteme wenig Aussicht auf Einsatz haben.

#### ***Einsatz von Pulverlacken***

Pulverlackanlagen ermöglichen die Beschichtung von Aluminium- und Stahloberflächen bis zu großen Breiten. Die bisherigen Anlagen sind von konventioneller Bauart, jedoch ist die Durchlaufgeschwindigkeit auf 15 m/min begrenzt. Dieser niedrige Durchsatz ist, neben dem begrenzten Spektrum an herstellbaren Oberflächen und hohen Schichtdicken ein Grund dafür,

---

dass eine Erweiterung oder Umstellung auf Pulverlacke in einer herkömmlichen Anlage derzeit nicht möglich ist. Die entsprechenden Produktionskosten sind daher höher. [MAGGIORE 2000]. Die Vorbehandlung der Bleche ist analog zum Auftrag von Lösemittellack.

Die Trocknung bzw. Härtung erfolgt durch eine Kombination von Infrarot- und Umlufttrocknung, wobei die Objekttemperaturen bei etwa 180 bis 250 °C liegen und der Härtungsvorgang innerhalb 1,5 min abgeschlossen ist. Als Beschichtungssysteme werden überwiegend Pulverlacke auf Polyester-Basis eingesetzt. Der Auftrag erfolgt einseitig und einschichtig mit typischen Schichtdicken zwischen 50 und 60 µm; zweiseitige Pulverbeschichtung stellen Ausnahmen [Meuthen 2000C].

Einsatz findet dieses Verfahren besonders im Baubereich, beispielsweise für Flachpaneele, Fensterrahmen, Sanitärbuden, und in der blechverarbeitenden Industrie (Computergehäuse, etc.).

#### ***Einsatz von Lacksystemen auf Wasserbasis***

Die Verwendung von Lacksystemen auf Wasserbasis stellt prinzipiell eine Möglichkeit zur Minderung von VOC-Emissionen dar. Jedoch sind wasserverdünnbare Lacksysteme noch nicht für einen verbreiteten Gebrauch einsetzbar. Wenn wasserverdünnbare Lacke eingesetzt werden, beschränkt sich ihre Anwendung meist die Grundierung. Eine Anlage, die mehr als 0,2 % Wasserlacke von der Gesamteinsatzmenge an Lacken verarbeitet, existiert in Deutschland nicht [ECCA 2001]

## **6.5 Vorschlag für beste verfügbare Techniken**

- Wir empfehlen die nachfolgende Kombination als beste verfügbare Technik: Verwendung des abwasserfreien *no-rinse* Verfahrens in der Vorbehandlung
- Die Verwendung von lösemittelhaltigen Lacksystemen in Kombination mit einer nachgeschalteten thermischen Nachverbrennung. Damit können Abgaswerte von 20 mg C/m<sup>3</sup> unterschritten und die diffusen Emissionen auf 3 % des lösemittelleinsatzes begrenzt werden. Der VOC-Emissionswert pro eingesetzten Lackfestkörper liegt unter 0,2 kg/kg Festkörper.

---

## **6.6 Neue fortschrittliche Verfahren**

### **6.6.1 Pulverlacke**

Für die Zukunft sind alternative Applikationstechniken bei der Pulverlackierung denkbar. So könnten deutlich größere Bandgeschwindigkeiten zu erreichen sein. [ALFORT 1999] Jedoch ist der entscheidende Schritt bei der Pulverlackierung von Coil, nämlich die Schmelzphase, besonders zu beachten, damit ein gutes Ergebnis der Lackierung erzielt werden kann.

### **6.6.2 Lacksysteme auf Wasserbasis**

Die Entwicklung bei den Lackherstellern im Hinblick auf den Einsatz von wasserverdünnbaren Lacksystemen beschränkt sich derzeit auf die Entwicklung von Lacksystemen auf die Anwendung von Dünnschichtsystemen im Automobilbereich.

---

## Quellenverzeichnis

**[ALFORT 1999]**

ALFORT, H.-J.; BLATTER, K.; ZIMMERMANN, F.: *Pulverlacke vor neuen Herausforderungen*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Mai 1999

**[BMU 1997]**

BUNDESUMWELTMINISTERIUM, UMWELTBUNDESAMT, VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE E. V. ET AL.: *Gemeinsamer Abschlußbericht zum Dialog des BMU und des VCI zu Umweltziele am Beispiel VOC*, Dezember 1997

**[BROCK 1998]**

BROCK, T.; GROTEKLAES, M.; MISCHKE, P.: *Lehrbuch der Lacktechnologie*, Vincentz-Verlag, Hannover, 1998

**[CHEM 2000]**

CHEM RESEARCH GMBH.: *Der Deutsche Markt für Farben und Lache 1999*, Ausarbeitung der Jahresstatistik im Auftrag des Verbandes der Lackindustrie, Frankfurt/Main, August 2000

**[DIN EN 10169-1]**

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Kontinuierlich organisch beschichtete (bandbeschichtete) Flacherzeugnisse aus Stahl - Teil 1: Allgemeines*, Deutsche Fassung EN **10169-1: 1996**

**[DIN EN 1396]**

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Aluminium und Aluminiumlegierungen - Bandbeschichtete Bleche und Bänder für allgemeine Anwendungen*, Deutsche Fassung EN **1396: 1996**

**[ECCA 2000]**

EUROPEAN COIL COATING ASSOCIATION (ECCA): Internet-Seiten: [www.eccacoil.com](http://www.eccacoil.com), 2000

**[FILTHAUT 2000]**

FILTHAUT, C: *Bandbeschichten*, in: Jahrbuch für Lackierbetriebe 2000, Vincentz-Verlag, Hannover, 1999, S. 183-191

**[GIDDINGS 1991]**

GIDDINGS, T. J.; MARLOWE, I. T.; RICHARDSON, S. J.; MACDONALD, E. K.; OKEKE, O.: *Reduction of Volatile Organic Compound Emissions from Industrial Coating of Metallic Surfaces Using Carbon Based Materials*, Final Report to the Commission of the European Communities, DG XI, Contract No.: B6611/90/005746.00, 1991

**[MAGGIORE 2000]**

MAGGIORE, G: *Coils mit wärmehärtenden Pulverlacken beschichten*, in: Besser Lackieren, Nr. 14, September 2000

---

**[MEUTHEN 1998]**

MEUTHEN, B. (ECCA-GRUPPE DEUTSCHLAND E.V., FACHVERBAND BANDBESCHICHTUNG):  
*Übersicht der Beschichtungsanlagen in Europa*, in: I-Lack, Juni 1998, S. 314-320

**[MEUTHEN 2000A]**

MEUTHEN, B. (ECCA-GRUPPE DEUTSCHLAND E.V., FACHVERBAND BANDBESCHICHTUNG):  
*Persönliche Mitteilung*, August 2000

**[MEUTHEN 2000B]**

MEUTHEN, B.: *Coil-Coating-Industrie: vielseitig und erfolgreich ins neue Jahrtausend*, in: JOT  
Journal für Oberflächentechnik 7/2000, S. 16-17

**[MEUTHEN 2000C]**

MEUTHEN, B.: *Pulverbeschichten von Band und Blech*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik  
2/2000, S. 16-23

**[MEUTHEN 2001]**

MEUTHEN, B.: *Persönliche Mitteilung*, Februar 2001 und September 2001

**[RENTZ 1994]**

RENTZ, O.; HEIN, J.; KIPPELEN, C.; SCHULTMANN, F.: *Assessment of the Cost Involved with the Commission Draft Proposal for a Directive on the Limitation of the Organic Solvent Emissions from the Industrial Sectors*, Karlsruhe, 1994

**[RENTZ 1999]**

RENTZ, O.; NUNGE, S.; LAFORSCH, M.; HOLTMANN, T.: *Technical Background Document for the Actualisation and Assessment of UN/ECE Protocols related to the Abatement of the transboundary Transport of Volatile Organic Compounds from Stationary Sources*, Report of the Task Force on the Assessment of Abatement Options/Techniques for Volatile Organic Compounds from Stationary Sources, on behalf of the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety and the Federal Environmental Agency, Karlsruhe, September 1999

**[SHAPIRO 1997]**

SHAPIRO & ASSOCIATES: *Commentary on Selected UN/ECE Task Force Papers on the Assessment of Abatement Options/Techniques for VOCs*, Contract n° K2218-7-0011, Report to Environment Canada, August 1997

---

## 7 Emballagenlackierung

### 7.1 Allgemeine Informationen

Bei der Lackierung von Emballagen wird auf Grund unterschiedlicher Prozesse zwischen der Fass- und der Getränkedosenlackierung unterschieden. Die Lackierung von Fässern ist mit der Lackierung von Getränkedosen nicht vergleichbar, da die Fasslackierung je nach Gebindegröße und speziellen Füllgutanforderungen (Chemikalienbeständigkeit, Lebensmittelkontakt) in der Prozessführung sehr viel stärker variiert, als die Getränkedosenlackierung. Daten für die Lackierung von Fässern konnten nicht erhoben werden. Im Folgenden werden daher die Prozesse am Beispiel der Getränkedosenlackierung, dargestellt. An die Lackierung von Getränkedosen werden neben hohen optischen Anforderungen lebensmittelrechtliche Ansprüche gestellt. Sowohl bei der Außenlackierung, Bedruckung als auch bei der Innenlackierung von Getränkedosen sind wasserverdünnbare Lacke verfügbar, die aber für die Verarbeitbarkeit der Lacke, organischen Lösemittel enthalten.

Bei der Herstellung von Getränkedosen wird zwischen den eingesetzten Materialien *Aluminium* und *Weißblech* unterschieden. Anlagen für die Herstellung von Getränkedosen haben eine Kapazität von ca. 2 Mio. Getränkedosen pro Tag und Linie [VMV 2001].

Das zu applizierende Lack- und Drucksystem wird den Herstellern von Getränkedosen im allgemeinen in Bezug auf Materialbasis, Druckaufbau und Schichtdicke von den Kunden (Getränkeherstellern) vorgegeben.

Tabelle 7-1: Emissionsbegrenzungen nach der 31. BImSchV für Neuanlagen

| Emissionsgrenzwert für gefasstes und behandeltes Abgas [mg C/m <sup>3</sup> ] | Grenzwert für diffuse Emissionen  | Emissionsfaktor zur Bestimmung der maximal zulässigen Gesamtemission* pro eingesetzten Feststoff |
|---|-----------------------------------|--|
| 20 mg Cges/Nm <sup>3</sup>  | 20 % der *eingesetzten Lösemittel | 0,375  |

\*Gesamtemission = Summe eingesetzter Festkörper multipliziert mit Emissionsfaktor.

## 7.2 Herstellung von Getränkedosen aus Weißblech

Die Herstellung von Getränkedosen Weißblech wurde bei zwei Mitgliedsunternehmen des Verbands der Metallverpackung e.V. untersucht. Die Daten der Fallstudie sind dem Anhang IV ( Werk A, B) beigefügt.

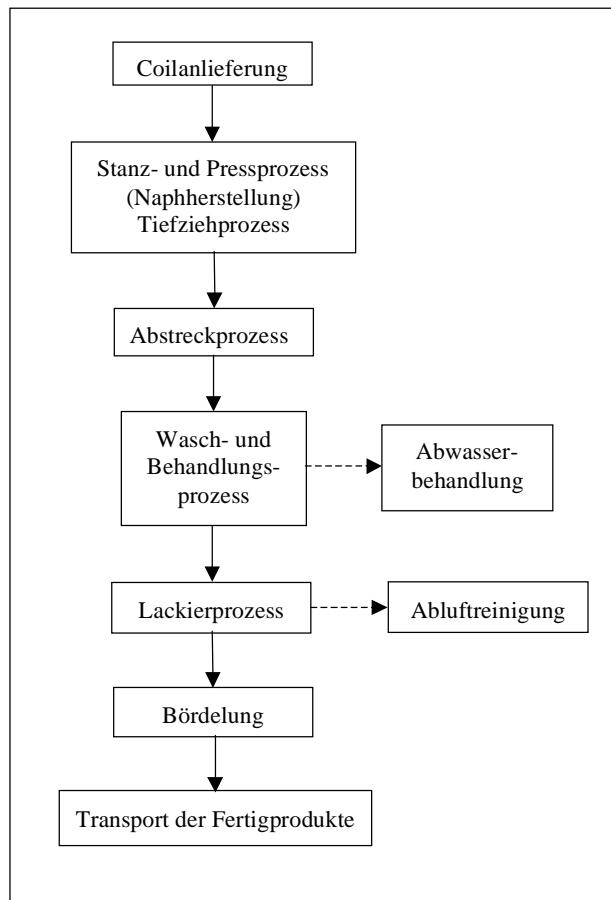


Abbildung 7-1: Herstellungsprozess für Getränkedosen [VMV 2001]

---

### 7.2.1 Verwendete Prozesse und Verfahren

Bei der Herstellung von Dosen aus Weißblech, findet z. T. die Fertigung der Deckel und des Dosenkörpers, aus logistischen Gründen räumlich getrennt statt. Der Deckel wird dabei aus fertig beschichtetem Aluminium-Bandblech gefertigt, so dass eine Beschichtung des Dosendeckels beim Dosenhersteller nicht mehr erforderlich ist. Der Dosenkörper wird aus elektrolytisch verzинnten Bandblech (Weißblech) durch Tiefziehen und abschließendem Abstrecken hergestellt. Durch das Abstrecken werden die Wandstärken der Dosen in mehreren Schritten im Hinblick auf die Stabilität und die Verformbarkeit (Bördeland) verringert. Vor dem Lackierprozess werden die Dosen von anhaftender Tiefzieh-/Abstreckemulsion mit wässriger, alkalischen oder wässrigen Reinigungsmitteln gereinigt und nachfolgend getrocknet. Die entstehenden Abwässer aus dem Waschprozess werden i.d.R. behandelt und in den Schmutzwasserkanal eingeleitet. Das Öl aus der Tiefziehemulsion wird über unterschiedliche Filtersysteme von Partikeln gereinigt und dem Prozess wieder zugeführt [VMV 2001].

Die Lackierung der Getränkedose besteht aus dem Auftrag von Außen- und nachfolgend von Innenlack. Zwischen dem Auftrag des Außenlackes und des Innenlackes erfolgt zusätzlich ein Bedrucken des Dosenkörpers nach dem Offsetverfahren<sup>1</sup>. Durch wechselnde Kundenaufträge kommt es im allgemeinen zu mehreren hundert Dekorwechseln pro Jahr. Die Lackierprozesse laufen, wie der komplette Fertigungsvorgang, automatisch ab. Der Innenlack wird durch Druckluftspritzen der Außenlack über Rollwalzen aufgetragen. Die Overspraypartikel des Spritzverfahrens werden in Feststofffiltern abgeschieden. Die Lackmaterialien sind wasserverdünnt, enthalten aber zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften 15 - 45 % organische Lösemittel, der Innenlack enthält ca. 10-15% organische Lösemittel. Die Schichtdicke der Lacke beträgt ca. 2-3 µm.

Bei bestimmten Designs wird die Dose zur Einsparung von Außenlack direkt im Offsetverfahren bedruckt und zum Schutz der Druckfarbe mit einer sehr dünnen Schicht Overvarnish (Klarlack) beschichtet. Die Druckfarbe hat einen Lösemittelgehalt von ca. 18 - 38 % [VMV 2001]. In neueren Anlagen werden zur Applikation der Druckfarben Gravurwalzen verwendet. Die Lösemittelmenge aus Druckfarben ist bei der Berücksichtigung der IVU-Mengenschwellen mit einzubeziehen.

Das Trocknen der Lackbeschichtungen erfolgt bei 180 – 200 °C in Konvektionstrocknern. Die lösemittelhaltigen Abluftströme aus Trocknern und Spritzanlagen werden im allgemeinen

---

<sup>1</sup> Nähere Angaben zum Bedrucken finden sich im Teilband „Integrierter Umweltschutz bei bestimmten industriellen Tätigkeiten- Anlagen zum Imprägnieren, Appretieren, Bedrucken, Beschichten, Tränken

---

einer thermisch, regenerativen Nachverbrennung zugeführt (s.h. Anhang V). Die Prozesswärme kann über Wärmetauscher z. B. im Waschprozess genutzt werden [VMV 2001].

## 7.2.2 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

### ***Verbrauch von Eingangsstoffen***

Der Lösemittelverbrauch der beiden untersuchten Werke (A, B, Anhang) beträgt in Abhängigkeit des Füllgutes und Lackaufbau sowie des Designs ca. 0,0072 kg pro m<sup>2</sup> Weißblech. Die Kapazitäten im Bezugsjahr 2000 betrug ca. 100.000.000 m<sup>2</sup> bzw. 120.000.000 m<sup>2</sup>. Damit werden max. 670 t bzw. 864 t Lösemittel aus Lacken und Druckfarben in Abhängigkeit der jeweils unterschiedlichen Genehmigungen, der Jahresbetriebsstunden und der unterschiedlichen Größen und Anzahl der produzierten Dosen verbraucht.

### ***Emissionen in die Luft***

Durch die Erfassung und Behandlung der Abluftströme aus Druckmaschinen, Lackapplikation- und Trockneranlagen über eine thermisch regenerative Abluftreinigung, ist die in die Umwelt emittierte Menge VOC aus der Lösemittelanwendung sehr gering. Der Wirkungsgrad (C-Abgas zu C-Reingas) der thermisch regenerative Abluftreinigung liegt bei über 99 % [VMV 2001, Mehlis 2001]. Der Massenstrom an Gesamt-C im Reingas nach der thermischen regenerativen Abluftreinigung beträgt 0,6 - 1,2 kg/h. Reingaskonzentrationen von  $\leq$  20 mg Cges/Nm<sup>3</sup> werden eingehalten.

VOC-Emissionen werden v.a. diffus freigesetzt, wie z.B. bei Transportvorgängen, aus Fördereinrichtungen oder beim Austritt der Dosen aus den Trockneranlagen. In den untersuchten Anlagen beträgt die VOC-Menge aus diffusen Emissionen 31 – 47 t pro Jahr.

### ***Abwasser***

Abwasser entsteht im Vorbehandlungsprozess der Dosen. Zinnkonzentrationen im Abwasser stammen aus dem Waschprozess der aus verzinnten Weißblech tiefgezogenen und abgestreckten Dosen. Die Zinnkonzentration der betrachteten Anlagen beträgt nach Fällung und Flockung < 2 bis max. 4 mg / l, (MKW's  $\leq$  20 mg/l abhängig von der Ortssatzung).

---

## **Abfälle**

Wesentliche Abfälle aus dem Herstellungsprozess umfassen:

- Schlämme aus der Farb- und Lackreinigung der Anlagen
- Reinigungslösemittel
- Filtermaterialien aus der Oversprayabscheidung und Reinigung der Tiefziehemulsion.

Durch Verwendung von Mehrwegverpackungen (für Lacke, Farben und Öle) kann die Abfallmenge an Gebinden wirksam reduziert werden. Geringere Schichtdicken (Lacke) und Materialwandstärken (Weißblech) führen zu einem geringeren Abfallaufkommen.

### **7.2.3 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Bei der Herstellung von Getränkedosen aus Weißblech werden heute überwiegend wasserverdünnbare Lacksysteme appliziert. Diese Lacke enthalten zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften organische Lösemittel. Lösemittelfreie Lacksysteme sind derzeit nicht verfügbar [VMV 2001]. In Anlagen sind in Bezug auf VOC-Emissionen, wirksame Abluftreinigungssysteme installiert. Eine weitere Reduktion der VOC-Emissionen kann daher nur im Bereich der diffusen Emissionen und durch Einsparungen an Lacken und Druckfarben erreicht werden.

Eine Reduktion der diffusen Emissionen kann nur über eine verbesserte Kapselung von Anlagenteilen und durch eine Absaugung und Behandlung von Abluftströmen aus Abdunstzonen, wie vor allem aus dem Eintritts- und Austrittsbereich der Innenlacktrockner, erfolgen. Für eine wirtschaftliche Behandlung dieser gering beladenen Abluftströme werden zur Aufkonzentrierung (mit Aktivkohle gefüllte) Adsorptionsräder mit nachgeschalteter thermischer Verbrennung, verwendet.

Durch den Einsatz des Overvarnish kann der Lösemittelleinsatz ca. 10% verringert werden. Das Auffangen und Recycling von Reinigungslösemitteln ist heute Stand der Technik. Lackrecycling des Oversprays kann bei der Spritzapplikation von Innen- und Bodenlack durchgeführt werden.

---

#### **7.2.4 Vorschlag für beste verfügbare Techniken**

- Verwendung von wasserverdünnbaren Lacken und Einsatz von thermisch regenerativer Nachverbrennung der Abgase aus Trocknern und Anlagen der Lack- und Druckfarbenapplikation. Zur Konzentrierung gering VOC beladener Abluftströme kann ein Adsorptionsverfahren eingesetzt werden (vgl. Abschnitt 7.3.1). Emissionswerte im Reingas von  $\leq 20 \text{ mg Cges / Nm}^3$  werden erreicht. Nach der 31. BImschV beträgt die maximal zulässige VOC-Emission pro eingesetztem Kilogramm Lackfeststoff 0,375 kg.
- Einsatz von Gravurwalzen zur Einsparung von Druckfarbe
- Einsatz von Overvarnish zur Einsparung von Außenlack
- Installation von Absaughauben am Trocknereintritt der Innenlacköfen
- Lackrecycling von Overspray aus Spritzverfahren des Innenlackes

### **7.3 Lackierung von Getränkedosen aus Aluminium**

Die Herstellung von Getränkedosen aus Aluminium wird in Deutschland in nur einer Anlage betrieben. Daten zum Produktionsprozess wurden vom Verband Metallverpackungen e.V. zur Verfügung bereitgestellt und sind im Anhang VI. (Werk C), dokumentiert.

#### **7.3.1. Verwendete Prozesse und Verfahren**

Analog zur Fertigung von Getränkedosen aus Weißblech, schließt sich bei der Produktion von Aluminiumdosen an den Reinigungsvorgang der Lackierprozess an.

Dazu wird auf den äußeren Dosenkörper ein Grundlack mittels Lackierwalze aufgebracht. Mittels Rolllackmaschinen wird die Dosenstandfläche am Auslauf aus der Grundlackmaschine beschichtet. Anschließend durchlaufen die Dosen einen temperaturgeregelten Trockenofen.

Im nachfolgenden Printer wird im Trockenoffsetverfahren das Dekor mit bis zu 6 verschiedenen Farben auf den Dosenkörper aufgebracht. Zusätzlich kann ein Überlack (Overvarnish) aufgetragen werden. Nach dem Bedrucken durchlaufen die Dosen einen temperaturgeregelten Konvektionsofen.

Im Nachfolgenden Produktionsschritt wird der Innenlack durch Druckluftspritzen appliziert und in einem Konvektionsofen getrocknet.

---

Es werden wasserverdünnbare Lacke mit durchschnittlichen gehalten an Lösemitteln von 12 - 16 % verarbeitet. Als Bodenlack kommt ein Material mit ca. 33 % Lösemitteln zum Einsatz. Beim Fertigungsprozess wird die VOC-haltige Abluft bei der Lack- und Druckfarbenapplikation abgesaugt und einem Adsorptionsrad zur Aufkonzentrierung zugeführt. Die Desorptionsphase wird durch eine TNV behandelt. Lösemittelbeladenen Abgase aus den Trocknern werden direkt der TNV zugeführt. Es werden Reingaskonzentrationen von  $\leq 20\text{mgCges/Nm}^3$  eingehalten.

Zur Emissionsminderung können die gleichen Techniken wie bei der Herstellung von Weißblechdosen, verwendet werden.

---

## *Quellenverzeichnis*

### **[MAY 2000]**

MAY, T. (DUPOINT PERFORMANCE COATINGS, WUPPERTAL): *Persönliche Mitteilung*, März 2000

### **[VMV 2001]**

Verband Metallverpackungen e.V., Weber C.: Persönliche Mitteilungen Mai 2001 bis März 2002

### **[MEHLIS 2001]**

MEHLIS, H., Eisenmann Maschinenbau KG, persönliche Mitteilungen, persönliche Mitteilungen

August 2001

---

# **8 Holz- und Möbellackierung**

## **8.1 Allgemeine Informationen**

Holz ist ein natürlicher Rohstoff, den Inhomogenität und Anisotropie kennzeichnen. Des weiteren besitzt Holz unregelmäßige Eigenschaften bezüglich der Oberflächenstruktur (Wuchsunregelmäßigkeiten), der Inhaltsstoffe (Harze, Wachse, Wasser) und des elektrischen Oberflächenwiderstands. Bei der Holzlackierung sind Farbe, Struktur und Porenbild Eigenschaften, die ggf. durch den Lackiervorgang erhalten bzw. in ihrer Wirkung verstärkt werden sollen; zudem ist von besonderer Bedeutung, ob eine offenporige oder geschlossenporige Oberfläche erzeugt werden soll. Dabei spielen Modetrends eine bedeutende Rolle. Derzeit wird die Holz- und Möbelindustrie mit neuen Anforderungen konfrontiert, indem komplizierte Produktgeometrien und höhere Qualitäten (z.B. Farbvielfalt, neue Oberflächeneffekte) gefordert werden. Hierdurch geht der Trend zunehmend in Richtung Spritzlackierverfahren. Weiterhin ist das Quellen und Aufrichten der Faser unter Einfluss von Flüssigkeiten (insbesondere Wasser) eine wesentliche Eigenschaft von Holz. Aufgrund der Besonderheiten der Holzlackierung sind die Erfahrungen aus anderen Branchen nur bedingt übertragbar. Daher besteht für diesen Sektor die Notwendigkeit, spezifische, umweltschonende Lackierverfahren darzustellen.

### **8.1.1 Struktur des Holzverarbeitungssektors**

Ein wesentliches Merkmal dieser Branche ist die starke Prägung durch mittelständische Firmen: 75 % der Betriebe beschäftigen weniger als 100 Mitarbeiter. In Deutschland existieren:

- 45.000 Schreinereien (im Durchschnitt 4,5 Mitarbeiter)
- 1.500 Holz- und Möbellackierbetriebe (im Durchschnitt 75 Mitarbeiter).
- Etwa 8 sehr große Betriebe mit mehr als Tausend Beschäftigten.

[BAUMS & HANSEMANN 2001]

Die deutsche Holz- und Möbellackierung verarbeitete mehr als 80.000 t Lack im Jahr 1999 in Deutschland. Davon geht ein Anteil von ca. 60 % in industrielle Verwendungen, die übrigen 40 % in den handwerklichen Sektor. Bei den verarbeiteten Lackmengen ist ein geringfügiger Rückgang zu verzeichnen, und es wird erwartet, dass dieser Trend in den nächsten Jahren anhalten wird. Hauptursachen sind dabei: Die Verlagerung der Möbelherstellung nach Osteuropa, der zunehmende Einsatz von Folien zur Oberflächengestaltung, die anhaltende

---

Reduktion der Lackschichtdicken sowie der zunehmende Einsatz von festkörperreichen Lacksystemen. [CHEM 2000, VDI 3462]

Allgemein ist festzustellen, dass in den letzten Jahren der Automatisierungsgrad bei der Lackverarbeitung in der Möbelindustrie stark zugenommen hat. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass die Qualitäts-, Effizienz- und Umweltansprüche zunehmend steigen. [HALLACK 2000]

In der Holz- und Möbelindustrie wird eine Vielfalt von Holzwerkstoffen verarbeitet und lackiert. Folgende Anwendungen lassen sich unterteilen:

Diesen Kriterien nach könnte eine Einteilung wie folgt aussehen:

- Außenanwendungen, z.B. Außentüren, Fenster, Garten- und Freizeitmöbel, Stadionbestückung; Gebäude, Brücken, Türme
- Innenräume, z.B. Innentüren, Treppen, Wand- und Deckenverkleidungen, Fußböden, Wohn-, Esszimmer- und Schlafzimmerschrankmöbel, Büromöbel, Küchenmöbel, Badezimmermöbel; Objekt-, Schul- und Jugendmöbel
- Nassräume, z.B. Saunen, Schwimmbäder.

### **8.1.2 Emissionsgrenzwerte nach der 31. BImSchV**

Die nach der 31. BImSchV festgelegten Emissionsgrenzwerte für die Holzbeschichtung sind in Tabelle 8-1 angegeben.

---

Tabelle 8-1: *Emissionsbegrenzungen bei der Holzbeschichtung gemäß 31. BImSchV*

DFIU-Karlsruhe, Umsetzung der IVU-Richtlinie: Lack- und Klebstoffanwendung

| Schwellenwert für den jährlichen Lösemittelverbrauch [t/a] | Emissionsgrenzwert [mg C/m <sup>3</sup> ] | Grenzwerte für diffuse Emissionen [% der eingesetzten Lösemittel] | Emissionsfaktor zur Bestimmung der maximal zulässigen Gesamtemission* pro eingesetztem Feststoff |
|--|---|---|--|
| >25  | 50 <sup>1)</sup><br>20 <sup>2)</sup>      | 20  | 0,75   |

\*Gesamtemission = Summe eingesetzter Festkörper multipliziert mit Emissionsfaktor

<sup>1)</sup> für Beschichten und Trocknen

<sup>2)</sup> bei Anwendung einer thermischen Nachverbrennung.

## 8.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Je nach Verwendungszweck der zu lackierenden Teile sind unterschiedliche Anforderungen an das Gebrauchsverhalten zu stellen, wie z.B. Beständigkeit gegen

- chemische Einwirkung,
- mechanische Einwirkung,
- klimatische Einwirkung,
- Verschmutzung,
- Emissionsverhalten / Geruch.

Prüfnormen definieren eine Bewertung der Gebrauchstauglichkeit in Abhängigkeit der Verwendung des betreffenden Möbels. Besonders wichtig ist eine ganzheitliche Betrachtung, beginnend bei den zu lackierenden Rohhölzern, den Beiz- und Lacksystemen, bis hin zu den Applikationsmaschinen bzw. -geräten. So beeinflusst z.B. die Teilegeometrie das Applikations- sowie das Trocknungs- und Härtungsverfahren.

### 8.2.1 Eingesetzte Beschichtungsmaterialien für Holz und Holzwerkstoffe

Nach der Vorbehandlung des Holzuntergrundes, wird in der Regel eine Grundierung und eine Decklackschicht aufgetragen. Je nach gewünschter Oberflächenstruktur (offen- bzw. geschlossenporig) kommen unterschiedliche Lacksysteme zum Einsatz. Wenn die Holzmaserung sichtbar sein soll, wie beispielsweise bei Massivholz oder Furnieren, werden farblose Lacke (Klarlacke), Öle und Wachse eingesetzt. MDF<sup>1)</sup>-Platten werden z.B. mit pigmentierten Lacken im gewünschten Farbton beschichtet. Beim Einsatz von pigmentierten

<sup>1)</sup> MDF (Medium Density Fiberboard) ist ein Holzderivat, das aus stark gepresstem Material auf Basis von kurzen Holzfasern und Leimen erhalten wird. Dieser Untergrund ist preiswert und relativ wärmebeständig. In der Möbelindustrie werden diese Platten zunehmend eingesetzt.

---

Lacksystemen wird zur Erzielung einer gleichmäßigen Lackschicht vor der Grundierung eine sog. Sperrsicht appliziert, die die Aufnahme des Lackes durch den Holzuntergrund einschränkt. [OBST 1993]

### **8.2.1.1 Vorbehandlung**

Da bei Holz mit Wuchsunregelmäßigkeiten, verschiedenartigen Oberflächenstrukturen und Inhaltsstoffen zu rechnen ist, erfordert die zu lackierende Holzoberfläche eine geeignete Vorbehandlung. Damit kann die Ebenheit der Oberfläche, die Beseitigung von Bearbeitungsspuren, die Behandlung von Farbunterschieden, Kratern, Faseraufrichtungen, Rissen, Ästen, etc. sowie das Maß der Holzfeuchtigkeit berücksichtigt werden. Zu den Vorbehandlungsverfahren zählen sowohl mechanische Arbeitsvorgänge (wie z.B. Schleifen) als auch Färbeverfahren, wie beispielsweise Beizen, Lasieren oder Bleichen(vgl. [HOFFMANN 2001]). Für bestimmte Holzarten sind neben dem Schleifverfahren auch chemische Reinigungsvorgänge, z.B. mit Seifenlösungen, Ammoniak, Lösemitteln, zur Entfernung von lackunverträglichen Holzinhaltstoffen (Harze, Wachse) notwendig [OBST 1993, HOFFMANN 2001].

#### ***Mechanische Vorbehandlung: Zwischenschliff***

Zur Erzielung optimaler Lackierergebnisse ist es bei Holz und Holzwerkstoffen erforderlich, dass nach dem Auftrag der Grundierung oder einem Beiz- bzw. Lackiervorgang ein Zwischenschliff erfolgt, da sich die Holzfasern bei Einwirkung von Flüssigkeiten aufrichten. Dieses Aufrauen der Holzoberfläche ist bei Einsatz von wasserbasierten Lacksystemen besonders ausgeprägt (vgl. [OBST 1993]).

#### ***Beizen***

Durch das Beizen wird der Holzfarbton verändert; er wird in jedem Fall dunkler. Die Holzstruktur bzw. das Porenbild bleibt erhalten. Je nach verarbeiteter Beize variiert die Trockenzeit stark.

Beizen sind Farbstofflösungen in Wasser oder in organischen Lösemitteln. Bei chemischen Beizen, z.B. Ein-Komponenten-Positivbeizen, muss die Einwirkzeit beachtet werden. Bei Verwendung von reinen Wasserbeizen sind die Quellerscheinungen (das sog. Aufrauen) zu beachten. Zum Teil werden auch Kombinationen von wassermischbaren organischen Lösemitteln und Wasser angewendet (sog. Kombibeizen). Die klassische Beize ist die Wasserbeize, wobei aber im industriellen Bereich auf Lösemittelbeizen umgestellt wurde (Trockenzeitzverkürzung). Dadurch wird auch das sog. Aufrauen durch das enthaltene Wasser eingeschränkt. Die Zusammensetzung von verschiedenen Beizenarten ist in Tabelle 8-2 gegeben.

Tabelle 8-2: Zusammensetzungen von verschiedenen Beizen

|                 | <b>Wassergehalt [%]</b> | <b>Lösemittelgehalt [%]</b> | <b>Farbstoffanteil [%]</b> |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Wasserbeize     | 95                      | 0                           | 5                          |
| Lösemittelbeize | 0                       | 95                          | 5                          |
| Kombibeize      | 70-65                   | 25-30                       | 5                          |

Die Applikation kann entweder manuell (Schwamm, Pinsel, Rolle, Spritzen) oder automatisiert (automatisiertes Spritzen, Walzen glatt, Walzen Moosgummi und Vertreibungsaggregat) durchgeführt werden. Anschließend erfolgt eine Trocknung bei Raumtemperatur oder durch Umlufttrockner, Flachetrockner oder Düsentrockner.

### ***Lasieren***

Ursprünglich ist die Lasur ein transparenter Lack oder Grund, der schwach angefärbt wird, um nach dem Auftragen ein größtmögliches Durchscheinen des Holzes bei geringer Farbtonänderung zu ermöglichen. Moderne Lasuren sind dünnflüssige Holzüberzüge auf der Basis von Lackharzen, die tief in das Holz eindringen und zur Verbesserung meist noch wasserabweisende und Anti-Fungizid Zusätze enthalten. Sie können farblos oder in verschiedenen Farbtönen pigmentiert sein. Man unterscheidet Lasuren für den Außen- und Innenbereich. Holzlasuren ohne Anti-Fungizide und farblose Holzlasuren sind nur für den Innenbereich einsetzbar.

### ***Bleichen***

Durch Bleichen wird der Holzfarbton heller (z.T. muss mehrmals gebleicht werden, z.B. Ahorn). Zum Bleichen verwendet man Wasserstoffperoxid in einer Konzentration ca. 30-35 % mit entsprechenden Zusatzmitteln. Die Einwirkzeit ist je nach gewünschtem Effekt unterschiedlich. Da beim Bleichprozess Sauerstoff abgespalten wird, muss für ausreichende Nachtrocknung gesorgt werden; sonst kommt es bei der Lackierung zur Bläschenbildung. Der Bleichprozess wird auch bei Hölzern angewendet, deren Holzfarbton nicht lichtbeständig ist, z.B. Kirschbaum oder Palisander. Nach dem Bleichen wird durch Beizen, deren Farbstoffe hohe Lichtbeständigkeitswerte haben, der ursprüngliche Holzfarbton wieder hergestellt. Bei der Lackierung mit PUR-Lacken ist der Härter in peroxidfester Einstellung zu verwenden.

#### **8.2.1.2 Grundierung**

---

Die Grundierung erfolgt mit einem schleiffähigen Lackmaterial. Die Auftragsaggregate umfassen:

- Spritzen (manuell; Automat; Airless, Airmix; elektrostatisch)
- Gießen
- Walzen (z.B. UV-Walzlack)
- Tauchen (nur bei bestimmten Teilen).

Nach der Trocknung wird mit entsprechender Körnung geschliffen und farbloser Grundlack aufgetragen; anschließend wird erneut geschliffen und danach mit den verschiedenen Lacksystemen im entsprechenden Mattgrad decklackiert. In einzelnen Fällen kann auch direkt auf die Grundierung ein Holzmuster gedruckt werden. Bei den Untergründen handelt es sich dann meist um schlichte Furniere oder entsprechend eingefärbte Grundierung / Spachtel.

### **8.2.1.3 Decklackierung**

Zur Beschichtung von Holz und Holzwerkstoffen werden Lacke, Folien und plattenförmige<sup>2</sup> Beschichtungsstoffe sowie Textilien und Leder eingesetzt.

Nachfolgend werden die eingesetzten Lackarten kurz beschrieben.

#### ***Nitrocelluloselack, NC (auch: Cellulosenitrat, CN)***

Der Nitrocelluloselack stellt einen klassischen Möbellack auf Lösemittelbasis dar, dessen Bestandteile Cellulosenitrat, Harze, Weichmacher, organische Lösemittel und Additive umfassen. Der Lösemittelanteil liegt bei farblosem Lack bei ca. 70 - 75 %. Die Trocknung erfolgt physikalisch. Die Trockenzeiten sind sehr kurz. Die Lichtbeständigkeit und auch die Beständigkeit gegen verschiedene Agenzien ist eingeschränkt.

#### ***Säurehärtender Lack (SH)***

Bei säurehärtenden Lacken wird zwischen Ein- und Zwei-Komponenten-Lack unterschieden. Die entsprechenden Bestandteile umfassen: Filmbildner, reaktive Harnstoffharze, Melaminharz, Kunsthärze (z.T. Alkydharze), Weichmacher, Additive, und organische Lösemittel. Die Trocknung erfolgt physikalisch/chemisch. Neben der Verdunstung organischer Lösemittel reagiert das Harnstoffharz mit der Säurekomponente durch chemische Umsetzung. Bei der Kondensationsreaktion wird in geringen Mengen Formaldehyd<sup>3</sup> abgespalten. Die

---

<sup>2</sup> Schicht-Pressstoff-Platten (High Pressure Laminate, HPL)

<sup>3</sup> In Europa gibt es SH-Lacke, die zwar formaldehydfrei sind, aber organische Lösemittel enthalten.

---

Beständigkeit gegen die verschiedenen Agenzien ist hoch. In Deutschland wird dieser Lacktyp nur noch in geringen Mengen verarbeitet.

### ***Polyurethan-Lack (PUR)***

Dieser Lacktyp besteht aus einem Zwei-Komponenten-System, dessen Bestandteile Reaktivharze, Filmbildemittel, organische Lösemittel und Additive umfassen. Die Trocknung erfolgt physikalisch/chemisch. Durch den Zusatz des Härters (Polyisocyanate) wird die Reaktionskomponente durch eine Additionsreaktion mit dem Härter umgesetzt. Spaltprodukte treten nicht auf. Die Beständigkeiten (Lichtbeständigkeit, Klimabeständigkeit) gegen die verschiedenen Agenzien sind sehr gut. Holzinhaltsstoffe (z.B. harzähnliche Verbindungen), die Trocknung und Härtung verhindern könnten, werden sehr gut gegen chemisches Austreten isoliert. Der Lösemittelgehalt liegt je nach System zwischen 30 und 70 %.

### ***Ungesättigter Polyesterlack (UP/UPE)***

Grundsätzlich werden zwei Typen unterschieden:

- Offenporige UP, die einen Lösemittelgehalt von ca. 60 - 70 % aufweisen. Härterzugabe (organischer Peroxid) und sog. Beschleuniger (metallorganische Verbindungen) für die Härtung sind nötig. Die Trocknung erfolgt physikalisch/chemisch.
- Dickschichtsysteme: Das reaktive Polyesterharz wird in reaktivem Lösemittel (Styrol) gelöst. Durch die chemische Reaktion (Polymerisation) wird ein großer Teil des Styrols mit einpolymerisiert. Die Härterkomponenten bestehen aus organischem Peroxid, die Beschleunigerkomponente aus einer metallorganischen Verbindung; die Trocknung bzw. Härtung erfolgt chemisch.

Der emittierte Lösemittelanteil beträgt je nach Verarbeitungsbedingung ca. 12 - 15 % bezogen auf die Lackmenge. Die chemische Reaktion kann auch durch energiereiche Strahlung (Infrarot (verschiedene Wellenlängen oder Ultraviolette Strahlung) ausgelöst, so dass keine Härterkomponente notwendig ist. UV-härtende Lacktypen sind seit Jahren im Einsatz; sie benötigen für die Reaktion einen Fotoinitiator.

### ***Wasserlack / Hydrolack (WL)***

---

Es handelt sich in der Regel um Dispersionen auf der Basis von Acrylaten, Polyurethanen oder Polyester in Wasser. Co-Löser (organische Lösemittel) sind in einer Menge von ca. 7 % enthalten. Dispersionen, Filmbildner, Additive, Wasser und organische Lösemittel (Co-Löser) bilden die Bestandteile. Die Trocknung kann physikalisch, z.B. bei konventionell trocknenden Wasserlacken, oder physikalisch/chemisch erfolgen: Bei Zwei-Komponenten-PUR-Lacken findet eine Additionsreaktion statt, bei UV-härtenden Polyesterlacken eine Polymerisation. Bei der Verarbeitung muss die mittlere Filmbildnertemperatur eingehalten werden.

### **Pulverlack (PL)**

Pulverlacke sind Beschichtungspulver, die nach dem Auftragen und Aufschmelzen auf den Untergrund eine Lackierung ergeben. Die filmbildende Phase der Pulverlacke besteht genau wie bei den lösemittelhaltigen Lacken aus Bindemittel, Härter, Füllstoffen, Pigmenten und Additiven. Den Hauptbestandteil bilden die thermoreaktiven Kunststoffe, die beim Einbrennen einen duromeren Lackfilm ergeben. Die Applikation des Pulverlackes erfolgt durch das elektrostatische Pulversprühen (EPS). Beim anschließenden Einbrennprozess schmilzt die Pulverschicht und vernetzt in einer chemischen Reaktion zu einem Film. Zum Aufschmelzen der elektrostatisch applizierten Pulverschicht und der chemischen Aushärtung des Lackfilms muss das Substrat auf eine Temperatur oberhalb der Mindestvernetzungstemperatur des eingesetzten Pulvers, die über dessen Schmelztemperatur liegt, erwärmt werden. Der Filmbildungsprozess umfasst Sintern, Schmelzen, Benetzen, Entlüften, Verlaufen und Vernetzen. Bisher lassen sich nur Holzwerkstoffe, insbesondere mitteldichte Faserplatten (MDF), mit Pulverlacken in guter Qualität beschichten. Es sind allerdings nur geschlossenporige Oberflächenlackierungen möglich. Derzeit laufen im europäischen Ausland (Schweden, England) vereinzelt Produktionsanlagen, in denen Niedrigtemperaturpulver UV-härtend eingesetzt werden. In Deutschland wird gegenwärtig eine Anlage zur Pulverbeschichtung von MDF-Platten (zur Herstellung von Tischplatten, Büro- und Badezimmermöbeln und Küchenmöbel) errichtet.

### **Alkydsysteme / Lasuren**

Alkydsysteme werden als Lasuren vorwiegend im Außenbereich eingesetzt. Lasuren sind transparente Anstrichsysteme, die das Erscheinungsbild der Holzoberfläche hervorheben sollen. Lasuren können sowohl lösemittelhaltige (ca. 70 Gew. %), als auch wasserverdünnbare Lacksysteme sein. Wasserverdünnbare Systeme dominieren. Der Marktanteil der Alkydsysteme ist stark rückläufig, zu Gunsten der Acrylatsysteme.

---

### **Kombi-/Misch-Lackaufbauten**

Ein bedeutender Trend in der Holzlackierung ist die Verwendung von Materialkombinationen aus wasserverdünnbaren, UV-härtenden und lösemittelhaltigen High-Solid Lacksystemen, anstatt eines Lackaufbaus mit Lacksystemen auf gleicher Rohstoffbasis. Die häufigste Verfahrensweise ist eine wasserverdünnbare Grundierung, die gleichzeitig Füller- und fargebende Eigenschaften in sich vereint. Zudem weisen diese Systeme gute Trocknungs- und Schleifeigenschaften auf. Die Decklackschicht ist oftmals ein UV-härtender Klarlack, der die geforderten Eigenschaften bezüglich Optik und Beständigkeit gewährleistet [BERGOLIN 2000].

#### **8.2.1.4 Zusammenfassung**

Die wesentlichen Eigenschaften der heute in der Holz- und Möbellackierung eingesetzten Beizen und Lacke sind in Tabelle 8-3 aufgeführt.

Tabelle 8-3: Übersicht über Beiz- und Lacktypen und entsprechende Eigenschaften

| Beiz- bzw. Lacktyp  | Lösemittel-Anteil<br>[Gew. %] | Wasser-Anteil<br>[Gew. %] | Bausteine | Reaktionsart | Katalysator | Bemerkungen   |
|---|-------------------------------|---------------------------|-----------|--------------|-------------|---|
| <b>Beize</b><br>• lösemittelhaltig<br>- Typ a) 95 0<br>- Typ b) 70 25 – 30<br>- Typ c) 25 – 30 70 – 80<br>• wässrig - 90 – 95   |                               |                           |           |              |             | Organische Lösemittel<br>Wasserverdünnbare Lösemittel<br>Kombi-Beize; wasserverdünnbare Lösemittel<br>Aufrauhung Holz |
| <b>NC-Lack (CN-Lack)</b><br>• farblos Ca. 75 0 Collodiumwolle (Cellulosenitrat) Physikalische Trocknung -<br>• pigmentiert Ca. 60 0   |                               |                           |           |              |             | Oberflächenbeständigkeit eingeschränkt gebrauchstauglich  |
| <b>SH- Lack</b><br>• 2-Komp.; farblos 30 – 60 0 Alkyd-/Melamin Harnstoffharze Kondensation (physikalisch/chemisch) Säure Ältere Typen gaben vermehrt Formaldehyd ab; hohe Beständigkeit<br>• 1-Komp.; farblos 65 – 75 0 Polyole |                               |                           |           |              |             |   |
| <b>PUR- Lack</b><br>• farblos 65 – 70 0 Isocyanate; Acrylate; Polyester Addition (physikalisch/chemisch) -<br>• pigmentiert 35 – 60 0<br>• medium solid, farblos 40 – 50 0  |                               |                           |           |              |             | i.d.R. 2-Komponenten-Systeme; hohe Beständigkeit  |

| Beiz- bzw. Lacktyp        | Lösemittel-Anteil<br>[Gew. %] | Wasser-Anteil<br>[Gew. %] | Bausteine  | Reaktionsart                             | Katalysator            | Bemerkungen  |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|--|--|------------------------|--|
| <b>UP- Lack</b>           |                               |                           |  |  |                        |  |
| - Konventionell           | ca. 35 (15)*                  | 0                         | Polyester,<br>ungesättigt<br>(metall-<br>organische<br>Stoffe) | Polymerisation<br>• Wärme<br>• Strahlung | Organische<br>Peroxide | Mehrkomponentensysteme; bei<br>Infrarot- härtenden UP- Lacken<br>Vortrocknungs- und Härtezeiten<br>beachten  |
| - Paraffinhaltig          | ca. 35 (15)*                  | 0                         |  |  |                        |  |
| - Paraffinfrei            | ca. 35 (15)*                  | 0                         |  |  |                        |  |
| • UV- härtend             | ca. 35 (15)*                  | 0                         |  |  |                        |  |
| - Walzlack                | ca. 20 (20)*                  | 0                         |  |  |                        |  |
| - Spachtel                | ca. 20 (10)*                  | 0                         |  |  |                        |  |
| • UP- Spritzlack          |                               |                           |  |  |                        |  |
| - Farblos                 | 65 – 70                       | 0                         |  |  |                        |  |
| - UV- härtend             | 65 – 70                       | 0                         |  |  |                        |  |
| <b>Acrylat- Lack</b>      |                               |                           |  |  |                        |  |
| • UV- härtend             | 2 – 40                        |                           | Polyacrylate,<br>ungesättigt                                   |  |                        |  |
| - Walzlack                | 2 – 10                        |                           |  |  |                        |  |
| - Spritzlack, offenporig  | 65 – 70                       |                           |  |  |                        |  |
| • ESH- härtend            | 2 – 5                         |                           |  | Elektronenstrahlung                      | Photoinitiator         |  |
| <b>Wasserlack</b>         |                               |                           |  |  |                        |  |
| • konventionell trocknend | 5 – 7                         | 60 – 65                   |  | Physikalisch trocknend                   |                        | Aufrauhung des Holzes; längere<br>Trockenzeiten; ggf. zunächst UV-<br>Grundlack, dann Wasserlack<br>applizieren, UV- härtende<br>Wasserlacke spielen zunehmend<br>eine größere Rolle |
| • UV- härtend             | ca. 2                         | 58 – 60                   |  | Polymerisation                           | UV- Strahlung          |  |
| • PUR, 2-Komp.            | ca. 9                         | 60 – 65                   |  | Addition                                 |                        |  |

| Beiz- bzw. Lacktyp  | Lösemittel-Anteil<br>[Gew. %] | Wasser-Anteil<br>[Gew. %] | Bausteine                                  | Reaktionsart  | Katalysator              | 8.2.2 Bemerkungen  |
|---|-------------------------------|---------------------------|--|---|--------------------------|--|
| <b>Pulverlack</b><br>• konventionell trocknend<br>• UV- härtend | 0                             | 0                         | Epoxidharze;<br>Polyester-<br>Acrylatharze | Addition<br>Plus Kondensation                                     | UV- Strahlung            | Mit konventioneller konvektiver Behandlung sind derzeit verfügbare Pulverlacke für Holz bisher ungeeignet; für MDF sind vertretbare Lösungen vorhanden |
| <b>Alkydharzlacke</b>   | 10 – 80                       | 0                         | Alkydharze                                 | Oxidation an der Luft g<br>(physikalisch/chemisch)<br>. Trocknend | Metallorg.<br>Verbindung | Organische Lösemittel  |

\* Die Zahl zwischen Klammern entspricht der tatsächlich emittierten Lösemittelmenge

---

### **8.2.1.5 Auftragsverfahren**

Folgende Auftragsverfahren werden für die Beschichtung von Holz und Holzwerkstoffen angewandt:

- Streichen, Rollen,
- manuelles Spritzen (z.T. auch elektrostatische Verfahren),
- Roboterspritzen (z.T. auch elektrostatische Verfahren),
- Spritzautomat mit /ohne Lackrückgewinnung (z.T. auch elektrostatische Verfahren),
- Walzen,
- Vacumat-Technik,
- Spachteln,
- Gießen,
- Tauchen/Fluten,
- Drucken.

Eine Beschreibung der aufgeführten Lackapplikationsverfahren kann Anhang III entnommen werden. Tabelle 8 - 4 zeigt erreichbare Auftragswirkungsgrade einiger dieser Auftragsverfahren.

In der Möbelindustrie kommen neben dem manuellen Lackauftrag auch Spritzanlagen bzw. -automaten zum Einsatz, die mit Zweikomponenten-Dosieranlagen ausgerüstet sind.

Tabelle 8 - 4: Erreichbare Auftragswirkungsgrade für unterschiedliche Auftragsverfahren

| Auftragsverfahren                 | Auftrags-wirkungsgrad* | Anmerkungen  |
|-----------------------------------|------------------------|--|
| Streichen, rollen                 | 95 – 100               | Eingeschränkte Gleichmäßigkeit der Oberfläche  |
| Spritzen, konventionell           | 30 - 60                | hoher Overspray  |
| Spritzen, HVLP                    | 40 - 75                | Einsatz für Beizen mit geringer Viskosität, zunehmend auch für anderer Lacksysteme   |
| Spritzen, heiß                    | 40 - 60                | Einsatz festkörperreicher Lacke; auch für Heißwachsspritzen einsetzbar   |
| Spritzen, Airless                 | 40 bis 75              | Bündelung des Spritznebels   |
| Spritzen, Airmix                  | 35 bis 50              | Bündelung des Spritznebels   |
| Spritzen, elektrostatisch, Nass   | 50 bis 70              | Die Leitfähigkeit muss beachtet werden   |
| Spritzen, elektrostatisch, Pulver | 80 bis 95              | Die Leitfähigkeit muss beachtet werden; derzeit nur auf MDF möglich (nur wenige Anwendungen)                                 |
| Gießen                            | 95                     | Einschränkung durch Teilegeometrie   |
| Walzen                            | 95                     | Einschränkung durch Teilegeometrie   |
| Vacumat-Technik                   | 95                     | nur Schmalteile und Kanten; nur für Wasserlack und festkörperreiche UV-Lacke einsetzbar; Teilegeometrie muss beachtet werden |

\*je nach Belegungsdichte, Teilegeometrie, etc.

### 8.2.1.6 Abdunstung und Trocknungs- / Härtungsverfahren

Der Trocknungs- bzw. Härtungsprozess setzt ein intensives Abdunsten voraus. Das Abdunsten erfolgt in geeigneten Aggregaten, die den Trocknern vorgeschaltet sind. Bei lösemittelhaltigen Systemen muss die Luftmenge für die Trocknung so bemessen sein, dass die untere halbe Explosionsgrenze sicher unterschritten wird. Bei wasserverdünnbaren Lacksystemen muss die Beladung der Abdunstluft mit Wasser beachtet werden, da sonst keine Trocknung erfolgt.

Die nachfolgenden Trocknungs- bzw. Härtungsverfahren werden in der Holzlackierung angewendet. Die Trocknungsverfahren sind ausführlich im Anhang IV beschrieben.

---

## **Konventionstrockner**

Nach dem Abdunsten beginnt die Trocknungs- bzw. Härtungsphase. Eingesetzt werden Konvektionstrockner oder Umlufttrockner. Die Ausführungen umfassen Flachstraße, Düsentrockner, Hordenwagenanlage und Turmtrockner. Hydrextröckner (Konvektionstrockner mit Luftentfeuchtung) können zur Verkürzung der Trocknungszeiten bei wasserverdünnbaren Lacken eingesetzt werden.

## **Infrarot-Systeme**

Verwendet werden Infrarotstrahler unterschiedlicher Wellenlängen:

### Thermoreaktoren

Ein Thermoreaktor ist ein Infrarotstrahler, der sowohl Infrarotstrahlung (2 – 8  $\mu\text{m}$ ), als auch Konvektionswärme abgibt. Die IR-Strahlung wird durch Verbrennung von Erdgas oder Propangas erzeugt. Der Thermoreaktor ist auch für wasserverdünnbare Systeme geeignet. Die Gesamtrockenzeiten beträgt 6-10 Minuten, je nach Produktionsart und Lackformulierung.

### NIR-Trocknung (NIR = Nahe Infra Rot)

Der Infrarotstrahler verfügt über speziell angepasste Wellenlängen. Der Vorteil ist, dass das Substrat sich nur minimal erwärmt. Das NIR-Verfahren ist hervorragend für wasserverdünnbare Systeme geeignet. Mit der NIR-Technik werden kürzeste Trocken- und Durchlaufzeiten erreicht. Derzeit wird die Einsatzfähigkeit unter Praxisbedingungen getestet.

## **UV-Strahlungstrocknung**

Die UV-Strahlungstrocknung ist in der Möbelindustrie stark verbreitet, vor allem bei der Trocknung von Flachteilen. Mit geeigneten Konstruktionen lassen sich aber auch 3D-Teile trocknen ( z.B. Stühle). Bei pigmentierten / lasierenden Lacksystemen müssen dotierte Strahler (Gallium oder andere Metalle) verwendet werden. Eine Ozonabsaugung ist Stand der Technik

### Mikrowellen- und Hochfrequenztrockner

Bei der Mikrowellen- und der Hochfrequenztrocknung werden elektromagnetische Wellen mit unterschiedlichen Wellenlängen und unterschiedlichen Frequenzbereichen verwendet. Beide Trocknersysteme sind nur für wasserverdünnbare Lacksysteme geeignet. Das freigesetzte Wasser muss abgeführt werden. Mikrowellen-Trockner sind stets Kombinationen aus Strahlungsquelle mit den entsprechenden Absauganlagen. In vielen Fällen werden auch Vorschaltzonen (Abdunstzonen) zusätzlich verwendet.

---

---

**HF-Trockner** bestehen aus einem Hochfrequenzgenerator, der Übertragungseinheit, aus den entsprechenden Elektroden und der entsprechenden Abdunstzone zur Abführung des verdunsteten Wassers. Die Abdunstung / Trocknung erfolgt von Innen nach Außen; die Erwärmung ist homogen. Der Gesamtwirkungsgrad beträgt ca. 65-70 %. Die Anlage ist nach kurzer Anfahrzeit betriebsbereit. Durch die schnelle Verdunstung des Wassers ist die Aufrauung der Holzfasern reduziert; auch der Staubanteil wird reduziert.

## 8.2.2 Beispiele von Lackierprozessen

### **Beschichtung von Stühlen**

Bei Stühlen aus Buchenholz wird zunächst eine Lasur oder farbgebende Beize aufgebracht. Nach dem Vorschliff erfolgt die Applikation einer Schicht Lack auf Wasserbasis ( $120 \text{ g/m}^2$ ), die entweder bei Raumtemperatur oder durch forcierte Trocknung gehärtet wird. Nach einem erneuten Schliff wird eine zweite Schicht Hydrolack ( $120 \text{ g/m}^2$ ) aufgetragen und getrocknet. [HESSE 2000] Aufgrund der Werkstückgeometrie von Stühlen, ist die elektrostatische Spritzapplikation von Wasserlack auf Stühlen geeignet. Dadurch wird der Overspray und damit der Lacheinsatz und die VOC-Emissionen verringert.

### **Beschichtung von Treppen**

Treppen werden meist aus Massivholz oder Holzwerkstoffen hergestellt. Nach einem Schleifvorgang werden wasserverdünnbare Grundierung und Decklack im Airless-Spritzverfahren, in Kombination mit einer Lackrückgewinnung, aufgetragen. Die Lackauftragsmenge für jede Schicht beträgt etwa  $120 \text{ g/m}^2$ , der Overspray-Anteil 50 %. Die Trocknung findet in zwei Schritten durch Konvektionstrocknung und nachfolgender Strahlungshärtung, statt. [HESSE 2000]

### **Beschichtung von Fenstern**

Der Marktanteil von Holzfenstern ist in Deutschland stark rückläufig und betrug im Jahr 2000 ca. 25 % [FRIEBEL 2001].

Im Vergleich zu anderen Branchen der Holzbe- und -verarbeitung erfolgt die Beschichtung von Holzfenstern häufig noch manuell. Da die Holzoberflächen von Fenstern im Außenbereich angewendet werden, bedarf es z.T. eines vierfachen Schichtaufbaus, um eine Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse und Bläuebefall zu erreichen. Sowohl die Trocknungs- als auch die Schleifvorgänge sind sehr zeit- und arbeitsintensiv. Es sind mehrere Lackapplikationen erforderlich, um eine bestimmte Schichtdicke und daher einen gewissen Schutz zu erreichen. [PIETSCHMANN 2000]

---

---

Der Einsatz von wasserverdünnbaren Lacksystemen (z.B. Acrylatlacke) im Bereich der Fensterbeschichtung ist in Deutschland Stand der Technik. Daneben kommen noch lösemittelhaltige Lacke (z.B. Alkydsysteme) zum Einsatz. Die wasserverdünnbaren Systeme weisen gegenüber den konventionellen, lösemittelhaltigen Lacken, eine geringere Nasshaftung auf. Das Fluten hat sich als Auftragsverfahren der fertig gepressten Rahmen für die Holzimprägnierung und die Grundierung durchgesetzt. Für die Decklackierung, die je nach Bedarf ein- oder zweischichtig erfolgt, wird ebenfalls ein Lacksystem auf Wasserbasis angewendet und im Spritzverfahren appliziert. Bedingt durch die Werkstückgeometrie ist selbst bei elektrostatischem Spritzen ein erhöhter Overspray unvermeidbar. Zur Kostensenkung und Minimierung der Umweltbelastungen werden Lackrückgewinnungsanlagen eingesetzt. Des Weiteren wird z.T. die Spritzkabine zum Decklackauftrag mit einer Trockenabscheidung ausgerüstet, damit auf Koagulierung und Lackschlammensorgung verzichtet werden kann. (vgl. [ACKER 1999, EISENMANN 2000])

Derzeit wird die Anwendung UV-härtender Flüssig- und Pulverlacke in einer Pilotanlage, untersucht. Die verwendeten Systeme sind vorwiegend lasierende Lacke, aber auch deckende Systeme (Farbton: weiß). Erste Ergebnisse haben gezeigt, dass die Grundierung und die Decklackierung mit UV-härtendem Hydrolack auf Holz möglich ist. Der Lackauftrag kann mit allen gängigen Spritzverfahren erfolgen, wobei die besten Ergebnisse mit der elektrostatischen Spritztechnik erzielt wurden. Ein Zwischenschliff zwischen der Grund- und Decklackierung ist nicht erforderlich. Zudem wird eine glatte, gleichmäßige Oberflächenbeschichtung mit einer guten Qualität und visuellem Erscheinungsbild, Haftung, Elastizität und Witterungsbeständigkeit erreicht. Des Weiteren sind eine deutliche Reduzierung des Lackoverspays und der Durchlaufzeiten zu verzeichnen, was eine deutliche Kostensenkung zur Folge hat. Andererseits fallen zusätzliche Energiekosten durch den Betrieb der UV-Anlage an, die nicht durch die kurzen Durchlaufzeiten im UV-Trockner kompensiert werden.

Weiterhin wurde ebenfalls die Beschichtung von Holzfenstern mit UV-härtenden Pulverlacksystemen untersucht. Durch die Wahl optimaler Aufschmelz- und Härtungsbedingungen sind blasenfreie Oberflächen auf Massivholzern ohne Zwischenschliff möglich. Jedoch ist es erforderlich, vorab eine Art Sperrgrund, eine Grundierung mit einem flüssigen UV-Lack, auf die Holzoberfläche aufzutragen. Die Pulver-Klarlacke erreichen sehr gute Ergebnisse: Gute Haftung, Elastizität und Wetterbeständigkeit. Bei deckenden Systemen hingegen sind Probleme in Bezug auf die Haftung des Pulverlacks und auf die Grundierung aufgetreten. Weitergehende Versuche sind notwendig, um die nachfolgenden Probleme zu lösen:

- Gleichmäßiges Aufschmelzen des Pulvers bei dreidimensionalen Werkstücken,
  - Flüchtigkeit von Holzinhaltsstoffen und Restfeuchte im Substrat, die beim Aufschmelzen des Pulvers im IR-Trockner zu Blasen führen können,
-

- 
- Beeinträchtigung des Verlaufs von Pulverklarlackssystemen bei kurzen Expositionszeiten für die IR-Strahlung [PIETSCHMANN 2000]

### ***Lackierung von hochwertigen Wohnmöbeln***

Der Arbeitsablauf bei der Lackverarbeitung im Bereich der Lackierung hochwertiger Wohnmöbeln ist wie folgt [NÜßER 1998]:

1. Zunächst werden die Kanten im Stapel mit lösemittelbasiertem Nitro-Klarlack grundiert, getrocknet und geschliffen.
2. Die Vorderseiten werden anschließend im Walzverfahren mit UV-Lack beschichtet (bis zu 20 % Lösemittelgehalt).
3. Grundierung und Decklackierung werden im Walzverfahren mit UV-Lack aufgetragen.
4. Schließlich werden die Vorderseiten und die Kanten mit farbigem, wasserverdünnbarem UV-Lack (Festkörperanteil: 25 bis 45 Gew.-%, Lösemittelanteil: < 2 Gew.-%) im Spritzverfahren beschichtet.

Bei Möbeln aus Massivholz, (deren Oberflächen geölt bzw. gewachst werden) bestimmt für Küchen, Schlaf- und Wohnzimmer sowie Kinderzimmer, sieht der Ablauf der Lackierung in der Regel folgendermaßen aus [NÜßER 1998]:

1. Die vorgeschliffenen Möbelteile werden mit Glättbürsten gebürstet.
2. Nach dem Entstaubungsvorgang wird Öl mit einem Spritzautomaten auf die Holzoberfläche aufgebracht.
3. Anschließend werden die geölten Teile gebürstet.
4. Es folgt ein Heißwachsauflag im Spritzverfahren.
5. Die gewachsene Oberfläche wird gebürstet.
6. Die Holzteile werden gewendet und der gleiche Ablauf 1. bis 5. wird für die andere Seite angewendet.

---

### **Beschichtung von Küchen- und Badezimmermöbeln aus Holz**

Küchen und Badezimmermöbel werden aus Massivholzern (u.a. Eiche, Buche, Ahorn, Pinie, Kirsche) und Holzwerkstoffen (u.a. MDF) gefertigt und beschichtet. Zum Einsatz kommen ausschließlich Nasslacksysteme, vorwiegend wasserverdünnbare UV-Lacke sowie wasser- und lösemittelhaltige Beizen. Lösemittelhaltige Polyester und PUR-Lacke werden heute nur noch in kleinen Mengen, teilweise für die Lackierung von Ersatzteilen verwendet. Beizen werden über automatische Walzenauftragswerke aufgebracht.

Eine Umstellung der Lacksysteme auf wasserverdünnbare UV-Lacke für Grundierung und Decklack erfolgte aus Umweltschutz- und Gesundheitsaspekten, technologischen Gründen und um das Brandrisiko zu verringern [FINK 2001]. Die Lösemittelgehalte der verwendeten Lacke betragen 1 – 2,5 Gew. %. Die Beschichtung der Teile erfolgt überwiegend in vollautomatisierten Lackierstrassen. Der Lackauftrag erfolgt durch Druckluftspritzen (Fa. Miele & Cie, Warendorf, Münsterland, Fa. ALNO AG, Pfullendorf). Der Lackoverspray wird dabei abgerakelt und wiederverwendet [FINK, 2001]. Lackstaub aus den Abluftströmen der Applikationseinrichtungen wird trocken abgeschieden. Die Lackierung wird im allgemeinen durch einen 2-Schicht Aufbau realisiert. Vor dem Auftrag des Decklackes kann durch Schleifen die Oberfläche der Grundierung angeraut werden.

Durch die Verwendung von wasserverdünnbaren UV-Lacken sind die emittierten Lösemittelmengen sehr gering und liegen auch in Großanlagen unterhalb von 10 kg/h [FINK 2001]. Anlagen zur Abluftreinigung werden daher nicht betrieben, sondern die Abluft wird direkt über Dach abgeführt. Reinigungslösemittel werden durch Destillation wiederverwendet (Fa. ALNO AG).

Auf Grund der sehr geringen verarbeiteten Lösemittelmengen besteht für die Herstellung von Küchen- und Badezimmermöbeln in Deutschland auch in Großanlagen keine IVU-Relevanz.

### **Beschichtung von Spanplatten für Wohn- und Schlafzimmermöbel**

Für die Beschichtung von Spanplatten für Wohn- und Schlafzimmermöbel sind, je nach gewünschtem Enddekor, verschiedene Lackaufbauten zu nennen. Die entsprechenden Lackierprozesse befinden sich im industriellen Einsatz und haben sich bewährt.

Zunächst wird die Holzoberfläche mit einem Spachtel auf Wasserbasis ( $60 \text{ g/m}^2$ ) in einer Spachtelmaschine auf die nachfolgenden Schritte vorbereitet. Nach der Trocknung im NIR-Verfahren wird die Oberfläche geschliffen. Es folgt der Auftrag einer wasserverdünnbaren Grundierung ( $30 \text{ g/m}^2$ ) im Walzverfahren und eine anschließende NIR-Trocknung. Dann wird eine weitere Grundierungsschicht ( $25 \text{ g/m}^2$ ) appliziert und NIR-getrocknet. Die farblose

---

Decklackschicht ist ein UV-härtender Lack, der im Walz-Verfahren aufgetragen wird ( $8\text{-}10 \text{ g/m}^2$ ). Die erhaltene Oberfläche ist unifarbig.

Soll eine Spanplattenoberfläche im „Holz-Dekor“ hergestellt werden, muss zusätzlich ein Druckverfahren eingesetzt werden. Nachdem die Holzoberfläche mittels eines wasserverdünnbaren Spachtels ( $60 \text{ g/m}^2$ ) in einer Spachtelmaschine grundiert wurde, wird eine wasserverdünnbare Grundierung in zwei Schritten appliziert und getrocknet. Mittels wasserverdünnbarer Druckfarben werden zwei Druckschichten ( $2 \times 5 \text{ g/m}^2$ ) aufgebracht und jeweils getrocknet. Nachfolgend wird die farblose, lösemittelbasierte Klarlackschicht aufgetragen. Eine Alternative zu diesem Verfahren besteht darin, dass der Spachtel auf Wasserbasis durch eine UV-härtende Grundierung (ebenfalls  $30 \text{ g/m}^2$ ), die im Walzverfahren appliziert, ersetzt wird. [BERGOLIN 2000]

### ***Beschichtung von Kastenmöbeln***

Die Beschreibung der Prozesse bei der Beschichtung von Kastenmöbel erfolgt anhand der Produktionanlage der Schieder Möbel Wortmann GmbH am Standort Schieder.

Zur Farbgebung der Oberflächen von Möbelbauteilen werden wasserlösliche Beizen automatisch über Walzenauftragswerke aufgebracht. Die gebeizte Oberfläche wird mit einem wasserverdünnbaren und UV-härtenden Acrylat-Lack automatisch in mehreren Auftragsgängen mit zwischengeschalteter Trocknung beschichtet. Die Auftragsmenge der Lacke liegt zwischen  $5\text{-}8 \text{ g/m}^2$  (Nachstrich, Hauptstrich) bei einem Lösemittelgehalt von < 3 %. Die Auftragaggregate werden mit Wasser gereinigt.

Als Finish erfolgt der Auftrag von lösemittelbasiertem NC-Klarlack auf Teileflächen (z.B. Kanten, Griffleisten und Frontfläche) des montierten Möbels. Der Lack verbessert die optischen Eigenschaften der Oberfläche und dient als Schutz vor Verschmutzung. Die Applikation erfolgt manuell, im Druckluftverfahren. Dabei beträgt der Oversprayanteil ca. 40 %, die Abscheidung erfolgt über Nassabscheider. Pro Stunde werden maximal 10 kg Lack appliziert. Die Lackschicht wird nachfolgend in einem Durchlauftrockner ausgehärtet, dessen Abluft über Dach abgeführt wird [Krain, Schouwenaars 2001].

Auf Grund der geringen verarbeiteten Lösemittelmengen besteht für die Herstellung von Kastenmöbeln auch in Großanlagen keine IVU-Relevanz.

### ***Pulverbeschichtung von MDF-Platten***

Die Pulverapplikation erfolgt ohne Grundierung von MDF-Platten für die Herstellung von Büro- und TV-Möbeln. Die gesamte Anlagenlänge für Vorwärm-, Beschichten, Härteten und Abkühlen ist deutlich geringer als bei einer konventionellen Anlage: Beschichtet wird in

---

---

einem einzelnen Arbeitsgang. Die Schleifvorgänge nach den jeweiligen Trocknungsschritten entfallen vollständig. Durch Recycling und Wiederverwendung des Pulvermaterials sind erhebliche Kosteneinsparungen möglich. Allerdings ist das Auftragsverfahren nur begrenzt für bestimmte Farbtöne und Oberflächenstrukturen einsetzbar. (Fa. Stilexo)

Wegen ihrer sehr geringen elektrischen Leitfähigkeit werden die MDF-Platten auf 60 bis 70 °C erwärmt, bevor der Pulverlack mittels Corona-Spritzpistolen aufgetragen wird. Bei diesen Temperaturen haften die Lackpartikel an der MDF-Oberfläche und bilden eine kompakte Lackschicht, die anschließend UV-getrocknet wird. [JOT 2000]

## 8.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Bei der Beschichtung von Holz- und Holzwerkstoffen kommt dem Gebiet der Luftreinhaltung den Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen die größte Bedeutung zu. Außerdem ist das Abfall- und Abwasseraufkommen sowie der Energieverbrauch zu beachten. In Deutschland sind derzeit keine Anlagen bekannt, die die Mengenschwellen der IVU-Richtlinie erreichen [HANSEMANN 2001].

### 8.3.1 Verbrauch von Eingangsstoffen

In Tabelle 8-5 sind für verschiedene Lackauftragsverfahren die entsprechenden Auftragsmengen zusammengestellt.

*Tabelle 8 - 5: Auftragsmengen für unterschiedliche Auftragsverfahren [VDI 3462]*

| Auftragsverfahren   | Auftragsmenge [g/m <sup>2</sup> ] | Anmerkungen                                   |
|---------------------|-----------------------------------|---|
| Walzen              | 25 – 60                           |   |
| Gießen              | 60 – 250                          | In Ausnahmefällen bis zu 500 g/m <sup>2</sup> |
| Tauchen             | 60 – 200                          |   |
| Fluten              | 60 – 200                          |   |
| Spritzen, allgemein | bis zu 250                        | Lackverluste durch geringen Wirkungsgrad      |
| Bedrucken           | 1 – 2                             |   |

In Tabelle 8 - 6 sind für die verschiedenen Produktionsbereiche Angaben über die durchschnittlich eingesetzten Lack- und Lösemittelmengen angegeben.

---

**Tabelle 8 - 6: Eingesetzte Lack- und Lösemittelmengen für verschiedene Produktionsbereiche der Holz- und Möbelindustrie [BRINKMANN 2001]**

| Produktionsbereich | Lackierprozess   | Lackmenge [g/m <sup>2</sup> ] | Lösemittelmenge [g/m <sup>2</sup> ] |
|--------------------|--|-------------------------------|-------------------------------------|
| MDF-Platten        | 1) Grundierung, Wasserbasis, Walzen<br>2) Hydrolack, Walzen<br>3) Druckfarbe, Wasserbasis<br>4) AC-Lack, Walzen, UV-härtend<br>Trocknung: Düsen- bzw. UV-Trockner  | 80                            | 3                                   |
| Treppen            | 1) Parkettsiegel, Wasserbasis (hängend lackiert)<br>2) Schleifen<br>3) Parkettsiegel, Wasserbasis, Spritzverfahren (hängend lackiert), ein- oder zwei-schichtig<br>Heißspritzen<br>Trocknung: bei Raumtemperatur, Umluft oder IR | 180                           | 12                                  |
| Schlafraum-Möbel   | 1) Zwei Schichten farbgebender Wasserlack, Spritzverfahren, mit Zwischenschliff<br>2) Kalkpaste, Spritzverfahren<br>3) Schleifen<br>4) farbloser Wasserlack, Spritzverfahren<br>Trocknung: Hordenwagen, Raumtemperatur           | 150                           | 9                                   |
| Türen              | 1) Grundierung, Wasserbasis, Walzen<br>2) Lackbeize, Walzen<br>3) AC-Grundierung, Walzen, UV-härtend<br>4) Schleifen<br>5) Zwei Schichten AC-Lack, Walzen, UV-härtend<br>Trocknung: Düsen- bzw. UV-Trockner                      | 60                            | 10                                  |
| Tische             | 1) Kombibeize, Spritzverfahren<br>2) AC-Grundierung, Walzen, UV-härtend (3 Schichten)<br>3) Schleifen<br>4) AC-Lack, Walzen, UV-härtend<br>Trocknung: bei Raumtemperatur   | 100                           | 30                                  |
| Wohnraum-Möbel     | 1) Naturöl, heiß spritzen<br>Trocknung: bei Raumtemperatur   | 23                            | 0                                   |

| Produktionsbereich | Lackierprozess  | Lackmenge [g/m <sup>2</sup> ] | Lösemittelmenge [g/m <sup>2</sup> ] |
|--------------------|---|-------------------------------|-------------------------------------|
|                    | 2) Schleifen<br>3) Naturwachs, heiß spritzen<br>Trocknung: IR-Strahler<br>4) Polieren | 55                            | 9                                   |

### 8.3.1.1 Emissionen in die Luft

In Tabelle 8 - 7 sind die spezifischen VOC-Emissionen für einige primäre Emissionsminderungsmaßnahmen zusammengestellt. Dabei ist anzumerken, dass das angegebene Beschichtungssystem eine Zusammensetzung von Vorbehandlungsmitteln (z.B. Bleichmittel), Grundierung sowie Decklackierung umfasst. Der zwischen den Klammern angegebene Lösemittelgehalt bezieht sich auf das gesamte Beschichtungssystem.

**Tabelle 8 - 7: Spezifische VOC-Emissionen für verschiedene Minderungsmaßnahmen**  
[RENTZ 1999]

| Auftragsverfahren   | VOC-Emissionen [g/m <sup>2</sup> ] |
|---|------------------------------------|
| Beschichtungssystem mit einem hohen Lösemittelgehalt (65 Gew.-%), konventionelle Applikation (Spritzenverfahren)  | 80 - 120                           |
| Beschichtungssystem mit einem hohen Lösemittelgehalt (65 Gew.-%), Applikationsverfahren mit einem erhöhten Auftragswirkungsgrad (Walzen, Fluten, Tauchen, airless-, elektrostatisch-Spritzen) und good housekeeping     | 40 - 60                            |
| Beschichtungssystem mit einem mittleren Lösemittelgehalt (20 Gew.-%), Applikationsverfahren mit einem erhöhten Auftragswirkungsgrad (Walzen, Fluten, Tauchen, airless-, elektrostatisch-Spritzen) und good housekeeping | 10 - 20                            |
| Lösemittelarmes Beschichtungssystem (5 Gew.-%), Applikationsverfahren mit einem erhöhten Auftragswirkungsgrad (Walzen, Fluten, Tauchen, airless-, elektrostatisch-Spritzen) und good housekeeping                       | 2 - 5                              |

### 8.3.1.2 Abwasser

Bei der Lackierung von Holz ist die Abwassermenge gering, da das Prozesswasser der Spritzanlagen im Kreislauf geführt wird (vgl. [VDI 3462, OBST 1993]).

---

### **8.3.1.3 Abfälle**

Insbesondere bei der Lackierung von profilierten Holzteilen werden Grundierung und Decklack im Spritzverfahren aufgetragen. Dabei entstehen Overspray-Verluste in den Spritzkabinen. Je nach Abscheideverfahren fällt der Overspray in unterschiedlicher Form an:

- Bei der *Nassabscheidung* fällt der Overspray als Lackschlamm an, der sich aus Lackpartikeln, geringen Lösemittelmengen, Koagulierchemikalien und Wasser zusammensetzt. Lackschlämme gelten als besonders überwachungsbedürftige Abfälle und werden in der Regel in Sonderabfallverbrennungsanlagen energetisch genutzt.
- Bei der *Trockenabscheidung* besteht der Abfall aus beladenen Glasfaserfiltermatten. Sobald die Luftgeschwindigkeit unter einen bestimmten Grenzwert sinkt, findet ein Austausch der Filtermatten statt. In der Regel sind die Filtermatten mit ausgehärteten Lackpartikeln als nicht überwachungsbedürftig einzustufen und werden daher in Hausmüllverbrennungsanlagen energetisch genutzt.

Weiterhin fallen durch die Reinigung von Applikationsgeräten, Lade- und Fördereinrichtungen, Leitungen zur Herleitung des Lacks, Spritzkabinen, etc. verunreinigte Lösemittel an. In der Regel werden die verschiedenen Reinigungslösemittel, die in der Holzindustrie eingesetzt sind, durch Destillation zu wiederverwendbaren Reinigungslösemitteln aufbereitet. Bei der Destillation fallen Lackrückstände an, die Lackkörper in fester, flüssiger oder pastöser Form enthalten. Verunreinigte Lösemittelrückstände, die nicht stofflich verwertet werden können, werden als besonders überwachungsbedürftig eingestuft und müssen in Sonderabfallverbrennungsanlagen energetisch entsorgt werden.

Insbesondere bei Zwei-Komponenten-Lacksystemen fallen getrocknete Lackreste an, die mit den Altlacken an den Lacklieferanten zurückgesandt werden. Dort werden sie zum Teil wiederaufbereitet und dienen entweder als Zuschlagstoffe für neue Lacke oder werden zu Neulack für minderwertige Anwendungen wiedergewonnen. Nicht ausgehärtete Lacke müssen in Sonderabfallverbrennungsanlagen energetisch verwertet werden (besonders überwachungsbedürftiger Abfall). [OBST 1993, VDL 1994]

### **8.3.1.4 Energieverbrauch**

Derzeit sind keine Informationen bezüglich des Energieverbrauchs in der Holz- und Möbel-lackierung verfügbar. Allgemeine Information sind in Anhang I zu finden.

---

### 8.3.1.5 Kosten

In Tabelle 8 – 8 die Herstellerpreise für verschiedene Auftrags- und Trocknungsaggregate und -geräte für die Holz- und Möbellackierung aufgelistet.

**Tabelle 8 - 8: Preise für verschiedene Geräte und Aggregate in der Holz- und Möbellackierung [HANSEMANN 2000]**

| Bezeichnung   | Preis [EUR]      | Dimensionen, Besonderheiten, Kommentare  |
|---|------------------|--|
| <b>Auftragsaggregate, Grundausstattung ohne elektrostatische Unterstützung</b>                                    |                  |  |
| Walze, einfach glatt oder Moosgummi   | 26 000           | Arbeitsbreite: 1,3m; elektrischer Anschlusswert: 3 kW  |
| 2x einfache Walze, Doppelsystem glatt   | 52 000           | Arbeitsbreite: 1,3 m; elektrischer Anschlusswert: 6 kW   |
| Spachtelmaschine, leichte Ausführung  | 55 000           | Arbeitsbreite: 1,3 m; elektrischer Anschlusswert: 5,5 kW   |
| Gießmaschine  | 35 000           | Arbeitsbreite: 1,3 m; elektrischer Anschlusswert: 3 kW   |
| <b>Auftragsaggregate, Härtungsaggregate, Trockenaggregate</b>   |                  |  |
| <b>UV Aggregate einschließlich Schalterschrank, Grundausstattung, Lampenlänge 1400 mm, Arbeitsbreite: 1,3m</b>    |                  |  |
| Angelierzone, 1 Modul   | 15 000           | Elektrischer Anschlusswert: 11,2 kW  |
| Härtungszone, 2 Module farblos, 1 Modul dotiert   | 27 000<br>15 000 | Elektrischer Anschlusswert: 22,4 kW<br>Elektrischer Anschlusswert: 16,8 kW                       |
| Kompaktanlage (Einmannanlage)   | 36 500           | Elektrischer Anschlusswert: 38,0 kW  |
| <b>Neue, schnelle Trocknertechnologien, Grundausstattung ohne elektrische Ansteuerung, ohne Fördereinrichtung</b> |                  |  |
| Thermoreaktor (6 min)   | 95 000           | Elektrischer Anschlusswert: 10 kW<br>Luftleistung: 2 000 m <sup>3</sup> /h<br>Heizmedium: Gas    |
| Dry-Air-Trockner (10 min)   | 60 000           | Elektrischer Anschlusswert: 30 kW<br>Luftleistung: 1 500 m <sup>3</sup> /h<br>Heizmedium: Strom  |
| HF-Trockner (2 min)   | 150 000          | Elektrischer Anschlusswert: 120 kW<br>Luftleistung: 1 500 m <sup>3</sup> /h<br>Heizmedium: Strom |

| <b>Bezeichnung</b>   | <b>Preis [EUR]</b> | <b>Dimensionen, Besonderheiten, Kommentare</b>   |
|--|--------------------|--|
| Mikrowellentrockner (2 min)  | 75 000             | Elektrischer Anschlusswert: 60 kW<br>Luftleistung: 1 500 m <sup>3</sup> /h<br>Heizmedium: Strom  |
| <b><i>Spritzapplikation, Grundausstattung ohne Spritztechnik und ohne elektrische Ansteuerung</i></b>    |                    |  |
| Spritzkabine, wasserberieselte,<br>Edelstahl   | 16 000             | Elektrischer Anschlusswert: 5 kW<br>Luftleistung: 7 200 m <sup>3</sup> /h  |
| Spritzkabine, Trockensystem  | 4 000              | Elektrischer Anschlusswert: 2,5 kW<br>Luftleistung: 7 200 m <sup>3</sup> /h  |
| Spritzkabine, Typ Lack in Lack   | 80 000             | Elektrischer Anschlusswert: 15 kW<br>Luftleistung: 7 200 m <sup>3</sup> /h   |
| Spritzkabine, Coolack System   | 37 000             | Elektrischer Anschlusswert: 20 kW<br>Luftleistung: 7 200 m <sup>3</sup> /h   |
| Spritzautomat, Nassabscheidung<br>mit Lackrückgewinnung  | 150 000            | Elektrischer Anschlusswert: 13 kW<br>Luftleistung: 7 000 m <sup>3</sup> /h   |
| Spritzautomat, Trockenabscheidung<br>Mit Lackrückgewinnung   | 130 000            | Elektrischer Anschlusswert: 13 kW<br>Luftleistung: 7 000 m <sup>3</sup> /h   |
| <b><i>Trockenaggregate, Grundausstattung ohne elektrische Ansteuerung, Arbeitsbreite : 1,3 m</i></b>     |                    |  |
| Abdunstwand, halboffen 2,0 m   | 2 000              | Elektrischer Anschlusswert: 0,6 kW<br>Luftleistung: 4 300 m <sup>3</sup> /h  |
| Abdunstzone mit Bandförderer<br>Flachkanal 10 m Länge  | 20 000             | Elektrischer Anschlusswert: 4 kW<br>Luftleistung: 4 000 m <sup>3</sup> /h  |
| Trockenkanal mit Bandförderer<br>Flachkanal 20 m Länge   | 35 500             | Elektrischer Anschlusswert: 7,5 kW<br>Luftleistung: 2 000 m <sup>3</sup> /h  |
| Düsentröckner mit Bandförderer<br>Flachkanal 10 m Länge<br>Luftgeschw. an der Düse 25 m/sec              | 30 000             | elektrischer Anschlusswert: 7,5 kW<br>Luftleistung: 1 500 m <sup>3</sup> /h  |
| Hordenwagenkanal mit<br>Fördersystem<br><br>Grundausstattung<br>Abdunstzone 10 m<br><br>Trockenzone 10 m | 27 500<br>30 000   | elektrischer Anschlusswert: 4 kW<br>Luftleistung: 4 000 m <sup>3</sup> /h<br><br>elektrischer Anschlusswert: 4 kW<br>Luftleistung: 1 000 m <sup>3</sup> /h |

---

## **8.4 Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Bei der Holzlackierung nehmen die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen eine wichtige Rolle unter den Luftverunreinigungen ein. Außerdem sind Abwasser- und Abfallaufkommen bei der Ermittlung der BVT-Kandidaten zu beachten.

### **8.4.1 Emissionsarme bzw. -freie Lacksysteme**

Die Lacksysteme, die zu einer Reduktion an VOC-Emissionen führen können, umfassen [HALLACK 2000]:

- 1K-/2K-Wasserlacksysteme
- UV-Wasserlacksysteme
- UV-Lacksysteme (mit 100 % Festkörperanteil)
- UV-Pulverlacksysteme
- Pulverlacke
- High Solids
- Öle und Wachse

Um technisch und optisch hochwertige Beschichtungen zu erzielen, muss bei der Auswahl des Lacksystems und des entsprechenden Anlagenkonzeptes die Geometrie des zu lackierenden Holzwerkstückes besondere Berücksichtigung finden.

Im Bereich der Walz- und Gießauftragsverfahren werden derzeit bereits weitgehend Lacksysteme mit einem Festkörperanteil von nahezu 100 % eingesetzt. Auch bei UV-härtenden Lacksystemen ist eine zunehmende Nachfrage zu verzeichnen. Diese Lacksysteme sind zwar weiterhin lösemittelhaltig, aber durch die guten chemischen und physikalischen Eigenschaften der fertigen Lackoberfläche, können sie dünner aufgetragen werden und somit ist die Lackmaterialnutzung erhöht und die Lösemittelemissionen können gesenkt werden. [VDI 3462]

Gewachste und geölte Oberflächen weisen bisher noch eine geringere Beständigkeit gegenüber mechanischen und chemischen Einwirkungen auf, als lackierte Flächen [Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg 2001].

---

### **Lacksysteme auf Wasserbasis**

Lacksysteme auf Wasserbasis (v. a. 2K-Wasserlack und Wasser-UV-Lack) werden bereits in Anwendungsgebieten eingesetzt, die bisher von konventionellen lösemittelhaltigen Lacksystemen dominiert wurden. [HESSE 2000]

**2K-Wasserlacksysteme** enthalten eine spezielle Bindemittelzusammensetzung, die Härtung erfolgt mit Härtern auf Isocyanat-Basis. Es finden Vernetzungsreaktionen zwischen Stammlack und Härter sowie zwischen Härter und Wasser statt. Mit 2K-Wasserlacken wird eine verbesserte (insbesondere mechanische) Beständigkeit und eine sehr gute Isolierwirkung auf inhaltsstoffreichen Hölzern erzielt, besonders für belastbare Oberflächen, wie z.B. Küchenfronten und Fußböden.

**Wasser-UV-Lacksysteme** setzen sich aus einer nicht physikalisch antrocknenden Hydro-UV-Lack-Emulsion und speziellen, strahlenhärtenden Bindemitteln in Wasser zusammen. Zusätzlich werden physikalisch antrocknende Hydro-UV-Lacksysteme als Dispersionen mit strahlenhärtenden Verbindungen eingesetzt. Die nachfolgenden Vorteile sind dabei zu verzeichnen:

- Verarbeitung in automatisierten Anlagen ist möglich,
- Spritzverfahren in Kombination mit einer Lackrückgewinnungsanlage sind einsetzbar,
- die Trocknung erfolgt in zwei Schritten: physikalische Vortrocknung, Härtung durch UV-Strahler, und
- die lackierten Objekte sind direkt nach der Aushärtung stapelbar.

Die Einsatzgebiete von UV-Wasserlacken sind Sitz- und Kastenmöbel, Büro- und Küchenmöbel, Zimmertüren, Paneele usw.

Bei der Verarbeitung von Wasserlacksystemen sind folgende Anforderungen allgemein zu berücksichtigen [HESSE 2000]:

- die Umgebungstemperatur muss in einem Temperaturfenster von 18 bis 22 °C liegen,
- die Temperatur der zu beschichtenden Werkstücke darf nicht unter 15 °C liegen,
- eine optimale Verarbeitung ist bei einer relativen Luftfeuchte von 55 bis 65 % gewährleistet,
- korrosionsfreie Applikationswerkzeuge und Lackversorgungsgeräte und -leitungen sind erforderlich,
- Wasserlacksysteme dürfen nicht unter 0 °C gelagert werden (Frostempfindlichkeit).

---

### **Pulverlacksysteme**

Pulverlacke werden bei der Serien-Holzlackierung nur in einer beschränkten Anzahl von Anlagen appliziert [HOFFMANN 2000].

MDF-Untergründe weisen für eine Pulverbeschichtung beste Eigenschaften auf. werden MDF-Substrate konventionell beschichtet, müssen mehrere Schichten aufgetragen werden, die zudem nach jedem Trocknungsvorgang geschliffen werden müssen. Im Gegensatz dazu genügt mit UV-Pulverlack ein Arbeitsvorgang. Des weiteren sind geringe Schichtdicken (60 bis 80 µm) erreichbar. Die Betrachtung von Kostenaspekten führt ebenfalls zum Schluss, dass bei einer Umstellung auf UV-Pulverlack sowohl Bearbeitungs- als auch Energiekosten deutlich reduziert werden können. Neben der Wirtschaftlichkeit dieser Technologie ist auch die gute Kratz- und Chemikalienbeständigkeit eine Eigenschaft, die UV-härtende Pulverlacke besonders attraktiv macht. Derzeit werden bereits drei-dimensionale MDF-Teile für die Herstellung von Schränken für Hifi-Geräte und Fernseher mit UV-härtendem Pulverlack beschichtet. Die Applikation erfolgt im Spritzverfahren und der Schmelz- und Härtungsvorgang mittels einer Kombination von Infrarot und Konvektion. [FOITZIK 2001, BUYSENS 2001]

### **8.4.2 Lackauftragsverfahren mit verbessertem Wirkungsgrad**

Die Auswahl eines jeweiligen Lackauftragsverfahrens hängt stark von der Teilegeometrie ab. Für die Lackierung von Kastenmöbeln oder planen Teilen, können Walz- und Gießverfahren eingesetzt werden. Bei profilierten Werkstücken, Flachteilen mit abgerundeten Kanten oder teilmontierten Sitzmöbeln, bietet sich ein Flächenspritzautomat an. Die konventionelle Spritzapplikation wird dann eingesetzt, wenn beispielsweise endmontierte Sitzmöbel beschichtet werden müssen. [HALLACK 2000]

Emissionsarme Lackauftragsverfahren umfassen Walz- und Gießverfahren sowie Tauch-/Flutlackiersysteme und elektrostatische Spritzverfahren. [VDI 3462]

#### **Walzverfahren**

Das Walzenauftragverfahren ist für die Beschichtung von ebenen Werkstücken möglich. Hohe Auftragswirkungsgrade (ca. 95 %) sind erreichbar, was zugleich geringes Abfallaufkommen bedeutet. Der Lackauftrag mittels Walzen erfolgt in der Regel bei Wasser- und UV-härtenden Lacksystemen.

Derzeit ist eine steigende Kundennachfrage nach geschlossenporigen Lackaufbauten bei Buche, Ahorn, Birnbaum, Birke und Kirschbaum zu verzeichnen. Dies war jedoch mit

---

üblichen Walz- oder Spritzapplikationen lediglich bei optimalen Furnierqualitäten realisierbar. Die Verwendung von beheizten Glättwalzen für die Applikation der Grundierung bringt bedeutende Vorteile mit sich. Dieses Verfahren ermöglicht es, porige Oberflächen zu füllen und zu glätten, ohne überflüssige Lackmengen aufzutragen. Außerdem können Furnierrisse und -stöße sowie Rohspanplatten, MDF-Platten und andere Holzwerkstoffplatten gefüllt werden. Es wird eine wesentlich glattere Flächen erzielt und dem Holz ein Füll- und Glätteeffekt verliehen. Zudem sind Lackeinsparungen bis zu 40 % möglich. Diese Vorteile sind darauf zurückzuführen, dass der von einer vorstehenden Lackauftragswalze aufgewalzte UV-Grundlack mittels einer gegenlaufenden beheizten Glättwalze in die Werkstückoberfläche eingearbeitet wird. Poren, Fugen und Furnierrisse werden dabei geschlossen. Die Beheizung der Glättwalze vermindert die Kohäsionskraft innerhalb der Lackschicht, so dass die mit Lack gefüllte Pore nicht wieder geleert wird. Darüber hinaus erhält der am Werkstück verbleibende Lack ein wesentlich besseres Verlaufsverhalten und bildet eine ruhige Oberfläche. [HYMMEN 2000]

### **Gießverfahren**

Im Vergleich zum Walzverfahren, müssen beim Gießverfahren die Holzwerkstücke nicht absolut eben sein. In einer Gießmaschine wird das verwendete Lacksystem in den Gießkopf gepumpt; der Lack tritt an der Gießkopfunterseite als feiner geschlossener Gießfilm aus, und die zu beschichtenden Werkstücke werden durch diesen Gießfilm hindurchgeführt. Überschüssiger Lack, wird in einem darunter liegenden Behälter aufgefangen und dem Gießkopf wieder zugeführt. Bei diesem Verfahren wird eine Lackmaterialnutzung von ca. 95 % zu verzeichnen. Mittels Gießverfahren können alle Lackarten aufgetragen werden.

### **Tauch-/Flutverfahren**

Das Tauchverfahren bietet den höchsten Auftragswirkungsgrad (nahezu 100 % Lackmaterialnutzung). Allerdings können die Tauchlackiersysteme in der Holzlackierung nur bedingt Einsatz finden, beispielsweise bei der Lackierung von Massenteilen (z.B. Fenster). Die zu lackierenden Teile werden entweder manuell in das Tauchbecken oder mittels eines Fördersystems durch eine Tauchanlage geführt. Dabei sind nur Ein-Komponenten-Lacksysteme einsetzbar. Bei offenporigen Lackierungen sowie bei unterschiedlich behandelten Teilen eines Möbels (z.B. Front, Korpus, Einlegeboden, Rückwand) und wegen des ungünstigen Überspannens von Profilen, Ecken und Kehlen (keine Porenbildung möglich) scheidet dieses Verfahren weitgehend aus. Das Fluten stellt eine Alternative zum Tauchen dar, insbesondere bei Holzwerkstücken, die zum Aufschwimmen neigen. Bei Flutlackiersystemen werden die Werkstücke mittels Hängeförderer durch einen in Förderrichtung umschlossenen Kanal transportiert und an Düsenstöcken vorbeigeführt. An dieser Stelle

---

---

werden die Werkstücke mit dem Lack überflutet, und der überschüssige Lack läuft am Boden des Kanals zusammen. Anschließend wird das aufgefangene Lackmaterial aufbereitet und den Düsenstöcken wieder zugeführt.

### ***Elektrostatisches Spritzverfahren***

Ein elektrostatisches Spritzverfahren kann dann eingesetzt werden, wenn leitfähige Trägermaterialien, wie beispielsweise Massivholz im Fenster-, Stuhl- und Polstergestellbereich, verarbeitet werden. (vgl. [OBST 1993, VDI 3462, HOFFMANN 2001])

### ***Lack-Rückgewinnung***

Bei wasserverdünnbaren Lackiersystemen im Spritzverfahren kann der Lackoverspray, je nach Lacksystem, wieder aufgefangen und wiederverwendet werden. Dabei liegt der Lackrückgewinnungsgrad - in Abhängigkeit des Lacktyps - zwischen 50 und 90 %.

Eine Möglichkeit besteht darin, dass der Overspray an den Rieselröhren vom Umlauflack aufgenommen und wieder direkt zugeführt wird (sog. "Lack-in-Lack-Spritzen"). Dieses Verfahren kann bei 1K-Lacksystemen ohne Härterkomponenten und wasserverdünnbaren Lacken eingesetzt werden. Des Weiteren werden auch Ringrakelsysteme oder Planetensysteme zum Abrakeln von Wasserlacken vom Transportband verwendet. Das abgerakelte Lackmaterial kann nach Filterung wiederverwendet werden.

Ein weiteres Verfahren stellt die Ultrafiltration dar. Das mit Overspray angereicherte Spritzkabinenwasser wird der Ultrafiltrationsanlage zugeführt. Dabei wird der Lack vom Wasser getrennt. Das Wasser wird dem Spritzkabinenwasser zugeführt, während das zurückgewonnene Lackmaterial aufbereitet wird, z.B. durch Vermischen mit dem Originallack. [VDI 3462]

### ***8.4.3 Verbrauchsarme Lackversorgung***

Ein beobachteter Trend in der Möbelindustrie ist die zunehmende Nachfrage nach in Individual- und Sonderfarben lackierten Möbeln. Die erfordert einen wirtschaftlichen Farbwechsel, der durch Molchtechnik ermöglicht werden kann. (vgl. Kapitel 2) [ESSLINGER 2000, SCHOLZ 2000])

### ***Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verminderung von Abfällen***

Maßnahmen zur Vermeidung overspraybedingter Abfälle sind [OBST 1993]:

- 
- Einsatz reststoffarmer Lackierverfahren, wie beispielsweise Walzen, Gießen, Fluten (s. Abschnitt 9.4.3);
  - Steigerung des Lackmaterialnutzungsgrades durch Verbesserung bzw. Optimierung der Parameter für die Spritzverfahren;

Die Vermeidung bzw. Verminderung von verunreinigten Lösemitteln kann erfolgen durch [OBST 1993]:

- Einführung von Reinigungsgeräten, mit einem geringen Reinigungslösemittelverbrauch durch Wiederverwendung der verschmutzten Reinigungslösemittel (Kreislaufführung);
- Einsatz von Destillierapparaten zur Rückgewinnung von Lösemitteln aus Lösemittelabfällen oder verunreinigter Reinigungslösemittel;
- externe Redestillation (üblicherweise bei den Lieferanten).

#### **8.4.4 Abgasreinigungsverfahren**

Eine Reihe von verschiedenen Abgasreinigungsverfahren (s. Anhang IV) sind theoretisch einsetzbar. In Deutschland ist lediglich eine Anlage mit nachgeschaltetem Abgasreinigungsverfahren zu verzeichnen. Dabei handelt es sich um eine Biofiltration, die bei der Fa. Schimmel in Braunschweig, zur Minderung von Geruchsemissionen eingesetzt ist.

### **8.5 Vorschlag der besten verfügbaren Techniken**

Für den Bereich der **Stuhl- und Gestellteilefertigung** befinden sich zwei Lackierkonzepte im Einsatz, die nachfolgend verglichen werden. Das konventionelle Konzept umfasst die manuelle Applikation im elektrostatisch unterstützten Airmix-Spritzverfahren einer farblosen, lösemittelhaltigen 2K-PUR Beize und dem anschließenden manuellen Auftrag von zwei Schichten farblosem, lösemittelhaltigem PUR-Lack. Im fortschrittlichen Konzept werden die Stühle bzw. die Gestellteile zunächst mit einer Kombi-Beize im HVLP-Verfahren und anschließend mit einem farblosen, wasserverdünnbaren und UV-härtenden Lack im Airmix-Verfahren in einer Lack-in-Lack-Kabine beschichtet. Eine Abgasreinigung findet nicht statt (vgl. 8.4.5 )[HANSEMANN 1998].

---

**Tabelle 8 - 9:** Vergleich zwischen einem konventionellen und einem fortschrittlichen Lackierkonzept [HANSEMANN 1998]

| Parameter                           | Konventionelles Lackierkonzept | Fortschrittliches Lackierkonzept |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Lösemittelgehalt [Gew.-%]           |                                |                                  |
| Beize                               | 95                             | 40                               |
| Decklack                            | 70                             | 5                                |
| Lackmenge [g/Teil]                  |                                |                                  |
| Beize                               | 180                            | 180                              |
| Decklack                            | 300                            | 200                              |
| Lacknutzungsgrad [%]                | 60                             | 95                               |
| Lösemittelemissionen [g/Teil]       | 150                            | 5                                |
| Abwassermenge <sup>4</sup> [l/Teil] | 0,038                          | 0,038                            |
| Lackschlamm [g/Teil]                | 180                            | Vernachlässigbar                 |

Die Vorteile des fortgeschrittenen Lackierkonzeptes bestehen in den deutlich geringeren Lackverbräuchen, Lösemittelemissionen und den geringen Lackabfallmengen. Investitionen sind für die zusätzlichen Aggregate der Lack-in-Lack-Kabine und der UV-Zone für die Trocknung zu berücksichtigen.

Im Bereich der Lackierung von **Türen und Bauelementen** werden ebenfalls ein konventionelles und ein fortschrittliches Lackierverfahren gegenübergestellt. Beim konventionellen Verfahren wird durch manuelle Applikation lösemittelhaltige Beize und anschließend lösemittelhaltiger 2K-PUR-Lack (zwei Schichten) im Gießverfahren aufgetragen. Beim fortschrittlichen Lackierverfahren wird eine lösemittelhaltige Beize, anschließend ein lösemittelfreier UV-Grundlack und eine lösemittelhaltige Zwischenbeize und schließlich ein lösemittelarmer UV-Decklack aufgebracht. Die Applikation sämtlicher Lackschichten erfolgt im Walzverfahren. [HANSEMANN 1998] Ein entsprechender Vergleich dieser beiden Lackierkonzepte ist in Tabelle 8 - 10 dargestellt.

<sup>4</sup> Aus der Spritzkabine

**Tabelle 8 - 10:** Vergleich zwischen einem konventionellen und einem fortschrittlichen Lackierkonzept [HANSEMANN 1998]

| Parameter  | Konventionelles Lackierkonzept | Fortschrittliches Lackierkonzept |
|--|--------------------------------|----------------------------------|
| Lösemittelgehalt [Gew.-%]                            |                                |                                  |
| Beize  | 95                             | 95                               |
| UV-Grundierung                                       | -                              | 0                                |
| Zwischenbeize  | -                              | 95                               |
| Decklack   | 70                             | 5                                |
| Lackmenge [g/m <sup>2</sup> beschichtete Oberfläche] |                                |                                  |
| Beize  | 150                            | 20                               |
| UV-Grundierung                                       | -                              | 30                               |
| Zwischenbeize  | -                              | 8                                |
| Decklack   | 180                            | 10                               |
| Lösemittelemissionen [%]                             | 100                            | 10                               |
| Abwassermenge <sup>5</sup> [l/m <sup>2</sup> ]       | 0,025                          | 0                                |
| Lackschlamm/-abfall [g/m <sup>2</sup> ]              | 40                             | 3                                |
| Verschmutzte Verdünnung [g/m <sup>2</sup> ]          | 30                             | 13                               |

Das Lackierkonzept mit dem Lackaufbau Beize/UV-Grundierung/Zwischenbeize/Decklack ist durch wesentlich geringere VOC-Emissionen vorteilhaft.

In Tabelle 8 - 11 wird die Auswirkung der manuellen bzw. automatisierten Applikationsverfahren auf den Lackverbrauch und das Abfallaufkommen dargestellt. Die Rückgewinnung beim automatischen Spritzen wird dabei durch die Verwendung eines Ringrakelsystems realisiert.

---

<sup>5</sup> Aus der Spritzkabine

**Tabelle 8 - 11: Einfluss der Anlagentechnik auf den Lackbedarf, Lösemittelverbrauch und das Abfallaufkommen [HANSEMANN 1998]**

| Parameter                    | Manuelles<br>Spritzen<br>(Nasskabine) | Automatisches<br>Spritzen (ohne<br>Rückgewinnung) | Automatisches<br>Spritzen (mit<br>Rückgewinnung) | Walzen |
|------------------------------|---------------------------------------|---|--|--------|
| Lackbedarf [g/Teil]          | 450                                   | 300   | 280  | 50     |
| Lösemittelverbrauch [g/Teil] | 60                                    | 158   | 55   | 21     |
| Abfallmenge [g/Teil]         | 205                                   | 133   | 16   | 3      |

In Tabelle 8 – 12 ist ein Vorschlag für die Auswahl an besten verfügbaren Techniken, aufgegliedert nach Produktionsbereichen der Holz- und Möbelindustrie, aufgeführt.

**Tabelle 8 - 12: Beste verfügbare Techniken für den Sektor der Holz- und Möbellackierung**

| Produktionsbereich                           | Beste verfügbare Technik(en)   |
|--|--|
| Spanplatten für Wohn- und Schlafzimmersmöbel | Wasserverdünnbare Lacksysteme mit NIR-Trocknung und UV-härtende Lacksysteme für sämtliche Lackschichten  |
| Stühle und Tische                            | Wasserverdünnbare Lacksysteme für die Grundierung und die Decklackierung mit elektrostatischer Spritzapplikation und Trocknung bei Raumtemperatur oder forcierte Trocknung |
| MDF-Platten                                  | Pulverbeschichtung, elektrostatisches Spritzverfahren  |
|  | Wasserverdünnbare- und UV-härtenden Lacksysteme, Walzverfahren, Düsen- bzw. UV-Trocknung   |
|  | UV-härtender Pulverlack, Spritzverfahren   |
| Fenster                                      | Lacksysteme auf Wasserbasis, Fluten für die Holzimprägnierung und die Grundierung, elektrostatisches Spritzverfahren für die Decklackierung                                |
| Treppen<br>(Massivholz,<br>Holzwerkstoffe)   | Lack auf Wasserbasis für die Grundierung und die Decklackierung  |
| Küchenmöbel                                  | Flüssiglacksysteme auf PUR- und Polyester-Basis, (wasserverdünntbar: 7 – 9 % org. Lösemittel, 40 – 60 % Wasser)  |

| Produktionsbereich  | Beste verfügbare Technik(en)   |
|---|--|
| Ebene Flächen, Büromöbel, Parkett, Türen, Schlafzimmermöbel | <p>Wasserverdünnbare Beize (5% Feststoff, 95 % Wasser), Kombi-Beize (5 % Feststoff, 65 % Wasser, 30 % org. Lösemittel)</p> <p>PUR-Lacksysteme im Walzverfahren, physikalische Trocknung (wasserverdünnbar: 7 – 9% org. Lösemittel, 40 – 60 % Wasser).</p> <p>UPE-Lacksysteme, als offenporige Mattienen (wasserverdünnbar: Ca. 5 – 7 % org. Lösemittel, 40 – 50 % Wasser),</p> <p>UPE-Dickschicht-Lacksysteme, parafinhaltig: Ca. 47 % org. Lösemittel, davon 10 – 15 % emissionsrelevant, da der Rest einpolymerisiert wird</p> <p>UPE-Walzlacke , UV-härtend (Grundierung: 2 – 4 % org. Lösemittel, Decklack ca. 10 % org. Lösemittel)</p> |
| Spritzverfahren   | Nach Möglichkeit: Lackrückgewinnung  |

## 8.6 Neue fortschrittliche Verfahren

Derzeit ist der Einsatz von Pulverlacksystemen in der Holz- und Möbelindustrie noch sehr begrenzt, was darauf zurückzuführen ist, dass Holz eine geringere Wärmebelastbarkeit aufweist, als die Einbrenntemperaturen herkömmlicher Pulverlacksysteme es fordern. Die Einführung von Pulverlacken in die holzverarbeitenden Branche ist daher sehr stark an die Entwicklung neuer Generationen von Pulverlackmaterialien gebunden, denen geeignetere Schmelz- und Reaktionsmechanismen entsprechen. Pulverlacksysteme, deren Vernetzung mit UV erfolgt, stehen noch ganz am Anfang ihrer Entwicklung. [FIOTZIK 2001].

Da elektrostatische Lackierverfahren bei der Holzverarbeitung bislang nur in wenigen Einzelfällen eingesetzt werden können, sind weitergehende Forschungsvorhaben notwendig. So wurde die Abführung der Ladungen über den gerade erzeugten Nasslackfilm untersucht. Dieses Lackierprinzip wurde für Möbelfronten angewendet. Dabei sind folgende Ergebnisse zu verzeichnen: Im Vergleich zum Niederdruckverfahren (HVLP) ermöglicht die elektrostatische Hochrotationszerstäubung eine Erhöhung des Lackauftragswirkungsgrades um rund 35 %, eine entsprechende Erhöhung der Lackmaterialnutzung um etwa 30 % sowie eine Reduzierung des Abfallaufkommens (Lackkoagulat) um ca. 80 %. Untersuchungen im Bereich der elektrostatischen Applikation von Pulverlacksystemen auf dem nicht-leitenden Holzuntergründen, erfolgen ebenfalls. [ONDRTSCHEK 2000]

---

## **8.7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen**

In Deutschland sind keine IVU-relevanten Anlagen der Holz- und Möbelindustrie bekannt. Die Großbetriebe haben im Bereich der Lacksysteme in vielen Bereichen auf wasserverdünnbare UV-Lacke umgestellt. Bei den Applikationsverfahren wurde vielfach von Spritzverfahren auf die Walzenapplikation zur Erhöhung des Auftragswirkungsgrades und zur Verminderung der Einsatzmengen an Lacken und Lösemitteln übergegangen. Pulverlacke finden bereits bei der Beschichtung von MDF-Platten Anwendung. Das Anwendungsspektrum der Pulverlacke ist bisher noch eingeschränkt. Mit weiter fortschreitender Entwicklung dieser Technologien kann mit einem breiteren Einsatzspektrum gerechnet werden.

Durch immer kürzere Lieferzeiten der Möbel, findet die Abluftphase häufig beim Endverbraucher statt und führt daher verstärkt zu Reklamationen. Untersuchungen belegen, dass die verwendeten Lacklösemittel in den ersten Wochen nach der Fertigstellung des Möbels, maßgeblich an den Restemissionen beteiligt sind [FINK 2001]. Durch die Verwendung von lösemittelarmen- und -freien Lacksystemen kann dieses Problem verringert werden. Aus Arbeitssicherheitsaspekten, wird sich der Anteil an lösemittelhaltigen Lacksystemen weiter verringern.

---

## **Quellenverzeichnis**

### **[ACKER 1999]**

ACKER, G.: *Holzfensterlackierung in Möbelqualität*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Mai 1999

### **[BAUMS & HANSEMANN 2001]**

BAUMS, A.; HANSEMANN, W.: *Persönliche Mitteilung*, Treffen am Deutsch-Französischen Institut für Umweltforschung am 10.01.2001

### **[BERGOLIN 2000]**

BERGOLIN GMBH & Co. (RITTERHUIDE): *Möbel umweltfreundlich mit Kombiaufbauten lackieren*, in: Besser Lackieren, Nr.5, März 2000

### **[BRINKMANN 2001]**

BRINKMANN, H.-G. (KNEHO GMBH, HORN-BAD MEINBERG): *Möbeloberflächen VOC-arm lackieren*, in: Besser Lackieren, Nr.3, Februar 2001

### **[BROCKMANN 2000]**

BROCKMANN, A. (AB ANLAGENPLANUNG GMBH, ACHIM): *Sind Lösemittelanlagen zum Trocknen von Wasserlack auf Holzoberflächen geeignet?*, in: Besser Lackieren, Nr. 2, Februar 2000

### **[BUYSSENS 2001]**

BUYSSENS, K.; KEIL, E.; CREMER, J.: *UV-härtbare Pulverlacke - Stand der Technik*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 2, Februar 2001

### **[CHEM 2000]**

CHEM RESEARCH GMBH.: *Der Deutsche Markt für Farben und Lache 1999*, Ausarbeitung der Jahresstatistik im Auftrag des Verbandes der Lackindustrie, Frankfurt/Main, August 2000

### **[EISENMANN 2000]**

EISENMANN MASCHINENBAU KG: *Fenster wirtschaftlich in kleinen Serien lackieren*, in: Besser Lackieren, Nr.5, März 2000

### **[FINK 2001]**

FINK, A. (Firma ALNO AG, Pfullendorf): Persönliche Mitteilungen, Oktober 2001

### **[ESSLINGER 2000]**

ESSLINGER, S. (DÜRR INLAC GMBH): *Molch spart Kosten und Zeit beim Farbwechsel*, in: Besser Lackieren, Nr. 16, Oktober 2000

### **[FRIEBEL 2001]**

FRIEBEL, S. (WKI FRAUENHOFERINSTITUT FÜR HOLZFORSCHUNG): Helfen UV-Lacke der Fensterbranche aus der Krise? in: Holz-Zentralblatt Nr. 18, Januar 2001 und: New uv-curing wood coatings for xterior applications ECJ 1-2/01 : [www.coatings.de/](http://www.coatings.de/)

### **[FOITZIK 2001]**

FOITZICK, B.: *Pulver auf Holzwerkstoffen - Wer wagt den nächsten Schritt?*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr.2, Februar 2001

---

**[HAGEMEIER 2000]**

HAGEMEIER, W. (WENDT MASCHINENBAU, GEORGSMARIENHÜTTE): *MDF-Platten thermoreibglätten*, in: Besser Lackieren, Nr. 3, Februar 2000

**[HALLACK 2000]**

HALLACK, M.: *Wirtschaftlich und mit hoher Oberflächengüte Möbel lackieren - bei geringen Lösemittelemissionen*, in: Besser Lackieren, Nr.21, Dezember 2000

**[HANSEMANN 1998]**

HANSEMANN, W.: *Lösungsmöglichkeiten und Planungsansätze für die Möbelindustrie*, in: Lösemittel-Reduzierung bei der Möbelfertigung, Dokumente zu Lacken und Farben, Nr. 5, Deutsches Lackinstitut, 1998

**[HANSEMANN 2000]**

HANSEMANN, W. (VERBAND DER LACKINDUSTRIE, FACHGRUPPE HOLZLACKIERUNG): *Persönliche Mitteilung*, 2000

**[HESSE 2000]**

HESSE GMBH & CO.: *Möbel und Holz mit wässrigen Lacksystemen lackieren*, in: Besser Lackieren, Nr.21, Dezember 2000

**[HOFFMANN 2000]**

HOFFMANN, U.: *Lackieren von Holz*, in: Besser lackieren - Jahrbuch 2001, Vincentz-Verlag, Hannover, 2001, S. 407-423

**[HOFFMANN 2001]**

HOFFMANN, U.: *Lackieren von Holz*, in: Jahrbuch für Lackierbetriebe 2000, Vincentz-Verlag, Hannover, 1999, S. 423-442

**[HYMMEN 2000]**

HYMMEN GMBH (BIELEFELD): *Sicheres Füllen und Glätten*, in: Besser Lackieren, Nr. 3, Februar 2000

**[JOT 2000]**

N.N.: *Pulverbeschichtung von MDF-Platten – Ohne Zwischenschritt zur fertigen Oberfläche*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 6, Juni 2000

**[KIERTSCHER 2000]**

KIERTSCHER, A. (MIELE KÜCHE, WARENDRORF): *Holzküchenmöbel hochwertig beschichten*, in: Besser Lackieren, Nr.5, März 2000

**[KRAIN, SCHOUWENAARS]**

SCHIEDER-WOHNMOBEL GMBH, SCHIEDER: *Persönliche Mitteilungen von Herrn Krain und Herrn Schouwenaars*, Mai 2001

**[MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN WÜRTTEMBERG 2001]**

[www.uvm.baden-wuerttemberg.de/uvm/home/ind\\_pub.html](http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/uvm/home/ind_pub.html), Juli 2001

**[NÜBER 1998]**

NÜBER, O.: *Die Lösemittel-Problematik*, in: Lösemittel-Reduzierung bei der Möbelfertigung,

---

---

Dokumente zu Lacken und Farben, Nr. 5, Deutsches Lackinstitut, 1998

**[OBST 1993]**

OBST, M., SIEGFRIED, F.: *Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren - Holzlackierung*, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt Baden-Württemberg, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart, 1993

**[ONDRATSCHEK 2000]**

ONDRATSCHEK, D.: *Holz effektiv elektrostatisch lackieren*, in: Besser Lackieren, Nr.21, Dezember 2000

**[PIETSCHMANN 2000]**

PIETSCHMANN, J. (FEM FORSCHUNGSIINSTITUT FÜR EDELMETALLE UND METALLCHEMIE, SCHWÄBISCH GMÜND): *Holzfenster umweltfreundlich beschichten*, in: Besser Lackieren, Nr.11, Juni 2000

**[RENTZ 1999]**

RENTZ, O.; NUNGE, S.; LAFORSCH, M.; HOLTMANN, T.: *Erarbeitung der technisch wissenschaftlichen Grundlagen zur Fortschreibung und Bewertung der UN/ECE Protokolle zur Verminderung des grenzüberschreitenden Transportes von Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden aus stationären Quellen*, Bericht der Task Forces on the Assessment of Abatement Options/ Techniques for Volatile Organic Compounds and Nitrogen Oxides from Stationary Sources, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes Berlin, Karlsruhe, September 1999

**[SCHOLZ 2000]**

SCHOLZ, T. (LACTEC): *Kleine Stückzahlen mit molchbaren Farbschlauch-Systemen lackieren*, in: Besser Lackieren, Nr. 1, Januar 2000

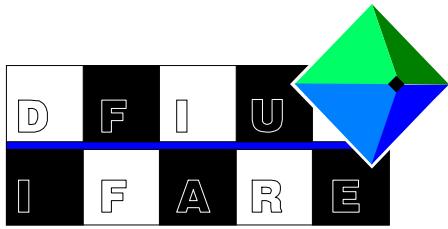
**[VDI 3462]**

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *Emissionsminderung - Holzbearbeitung und -verarbeitung – Bearbeitung und Veredelung des Holzes und der Holzwerkstoffe (VDI 3462)*, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, in: VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3, Düsseldorf, Oktober 1996

**[VDL 1994]**

VERBAND DER LACKINDUSTRIE: *Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Lackschlämmen*, Dokumente zu Lacken und Farben, Nr. 2, Deutsches Lackinstitut, 1994

---



Karlsruhe – Strasbourg  
o. Prof. Dr. O. Rentz  
Prof. Dr. L. Zilliox

**Deutsch-Französisches Institut für  
Umweltforschung (DFIU)**

**Institut Franco-Allemand de Recherche sur  
l'Environnement (IFARE)**

**Bericht über  
Beste Verfügbare Techniken (BVT) im Bereich  
der Lack- und Klebstoffverarbeitung in Deutschland**

**-Teilband I: Anhänge zum Endbericht**

Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU)

Universität Karlsruhe (TH)

o. Prof. Dr. O. Rentz

N. Peters, S. Nunge, J. Geldermann, O. Rentz

Karlsruhe, August 2002

**Band I: Lackverarbeitung  
Band II: Klebstoffverarbeitung**

---

# Inhaltsverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| Anhang I: Möglichkeiten zur Energieeinsparung bei Lackieranlagen                      | 238 |
| I.1    Energieeinsatz in Lackieranlagen   | 239 |
| I.2    Einsetzbare Maßnahmen zur Minderung des Energieeinsatzes                       | 240 |
| I.2.1    Minderung des Energieeinsatzes bei Neuanlagen                                | 240 |
| I.2.2    Minderung des Energieeinsatzes bei bestehenden Lackieranlagen                | 241 |
| I.3    Entwicklungen und Blick in die Zukunft   | 242 |
| Anhang II: Vorbehandlungsverfahren  | 245 |
| II.1    Vorbehandlung von Metalluntergründen  | 247 |
| II.1.1    Mechanische Verfahren   | 247 |
| II.1.2    Entfettungsverfahren  | 248 |
| II.1.3    Chemische Verfahren   | 248 |
| II.2    Vorbehandlung von Kunststoffuntergründen                                      | 252 |
| II.3    Vorbehandlung von Holzuntergründen  | 254 |
| Anhang III: Lackauftragsverfahren   | 256 |
| III.1    Auftragsverfahren mit hohem Wirkungsgrad                                     | 257 |
| III.2    Spritzverfahren  | 260 |
| III.2.1    Spritzlackieren ohne elektrostatische Lackaufladung                        | 260 |
| III.2.2    Airlesszerstäubung   | 262 |
| III.2.3    Elektrostatisches Spritzen   | 262 |
| III.2.4    Elektrostatisch zerstäubende Verfahren                                     | 263 |
| III.2.5    Hochrotationsverfahren   | 264 |
| III.2.6    Elektrostatische Druckluft-, Airless- und Airmix-Spritzverfahren           | 265 |
| III.2.7    Elektrostatische Verarbeitung von Wasserlacken                             | 265 |
| III.2.8    Verarbeitung von Pulverlacken  | 265 |
| III.3    Abscheidung bzw. Rückgewinnung von Lackoverspray aus<br>Spritzlackieranlagen | 266 |
| III.3.1    Nassabscheidung  | 266 |
| III.3.2    Trockenabscheidung   | 267 |
| III.3.3    Rückgewinnungsverfahren  | 267 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Anhang IV: Trocknungsverfahren   | 270 |
| IV.1    Trocknen mittels Wärmeträger Luft (Umluft)   | 271 |
| IV.2    Infrarot-Strahlungstrocknung   | 273 |
| IV.3    UV-Trocknung   | 275 |
| IV.4    Trocknung durch Elektronenstrahlen   | 278 |
| IV.5    Trocknung durch Induktion  | 278 |
| IV.6    Trocknung durch Mikrowellen  | 278 |
| IV.7    Zusammenfassung  | 279 |
| Anhang V: Prozessnachgeschaltete Maßnahmen zur Minderung von flüchtigen organischen Verbindungen | 283 |
| 1.    Abgasreinigung durch thermische Oxidation  | 286 |
| 1.1    Thermische Nachverbrennung mit rekuperativer und regenerativer Abgasvorwärmung            | 287 |
| 1.1.1    Thermisch rekuperative Nachverbrennung  | 287 |
| 1.1.1.1    Apparativer Aufbau  | 288 |
| 1.1.1.2    Anwendung   | 289 |
| 1.1.2    Thermische regenerative Nachverbrennung (RNV)   | 290 |
| 1.1.2.1    Apparativer Aufbau  | 290 |
| 1.1.2.2    Anwendung   | 292 |
| 1.1.3    Eigenschaften der rekuperativen und regenerativen thermischen Nachverbrennung           | 293 |
| 1.1.4    Einflussgrößen  | 294 |
| 1.1.5    Investitionen und Betriebskosten  | 295 |
| 1.1.6    Behandelbare Stoffe   | 295 |
| 1.2    Katalytische Nachverbrennung  | 295 |
| 1.2.1    Apparativer Aufbau  | 296 |
| 1.2.2    Behandelbare Stoffe   | 298 |
| 1.2.3    Einflussgrößen  | 298 |
| 1.2.4    Anwendung   | 298 |
| 1.2.5    Investitionen und Betriebskosten  | 300 |
| 2    Adsorption  | 301 |
| 2.1    Verfahrensprinzip   | 301 |
| 2.1.1    Apparativer Aufbau  | 302 |
| 2.1.2    Desorptionsverfahren  | 303 |
| 2.1.3    Adsorptionsmittel   | 306 |
| 2.2    Behandelbare Stoffe   | 307 |

---

---

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 2.3     | Haupteinflussgrößen                                 | 307 |
| 2.4     | Anwendung   | 307 |
| 2.5     | Investitionen und Betriebskosten                    | 308 |
| 2.6     | Nebeneffekte  | 309 |
| 3       | Absorption  | 310 |
| 3.1     | Verfahrensbeschreibung                              | 310 |
| 3.1.1   | Absorptionsschritt                                  | 310 |
| 3.1.2   | Regeneration  | 311 |
| 3.2     | Behandelbare Stoffe                                 | 311 |
| 3.3     | Absorbens   | 312 |
| 3.4     | Haupteinflussgrößen                                 | 312 |
| 3.5     | Anwendung   | 313 |
| 3.6     | Investitionen und Betriebskosten                    | 313 |
| 4       | Biologische Verfahren                               | 315 |
| 4.1     | Biofilter   | 315 |
| 4.1.1   | Verfahrensbeschreibung                              | 315 |
| 4.1.1.1 | Apparativer Aufbau                                  | 315 |
| 4.1.2   | Behandelbare Stoffe                                 | 319 |
| 4.1.3   | Anwendung   | 321 |
| 4.1.4   | Investitionen und Betriebskosten                    | 321 |
| 4.2     | Biowäscher  | 321 |
| 4.2.1   | Apparativer Aufbau                                  | 322 |
| 4.2.2   | Waschflüssigkeiten                                  | 323 |
| 4.2.3   | Behandelbare Stoffe                                 | 324 |
| 4.2.4   | Einflussgrößen auf die Anwendbarkeit der Biowäscher | 324 |
| 4.2.5   | Anwendungen   | 324 |
| 4.2.6   | Investitionen und Betriebskosten                    | 325 |
| 5       | Kondensation  | 325 |
| 5.1     | Verfahrensprinzip                                   | 325 |
| 5.1.1   | Kondensationsmittel                                 | 326 |
| 5.1.2   | Behandelbare Stoffe                                 | 327 |
| 5.1.3   | Anwendung   | 327 |
| 5.1.4   | Investitionen und Betriebskosten                    | 328 |

---

---

|  |  |     |
|--|--|-----|
| 6  | Kriterien zur Auswahl der Emissionsminderungsmaßnahmen | 329 |
| Anhang VI: Fallstudien   |  | 337 |
| VI.1 Fallstudie zur Serienlackierung von Pkws bei der Volkswagen AG                    |  | 338 |
| VI.2 Fallstudie bei der BMW AG, Werk Dingolfing  |  | 366 |
| VI.3 Fallstudie zur Serienlackierung von Pkws bei der DaimlerChrysler AG, Werk Rastatt |  | 370 |
| VI.4 Fallstudie bei der Dynamit Nobel Kunststoff GmbH, Werk Sterbfritz                 |  | 379 |
| VI.5 Fallstudie zur Lackierung von Getränkedosen                                       |  | 389 |
| Anhang VI.I: Daten zur Lackierung von Metallwerkstücken                                |  | 412 |
| Anhang VII: Fragebögen zur Datenabfrage  |  | 419 |
| VII.1 Audi AG, Werk Ingolstadt   |  | 420 |
| VII.2 Opel Eisenach GmbH   |  | 435 |
| VIII.3 HFP-Bandstahl   |  | 449 |
| VII.4 Plastic Omnium Automotive Components GmbH  |  | 461 |



---

## **Anhang I:**

### ***Möglichkeiten zur Energie-Einsparung bei der Lackverarbeitung***

## I.1 Energieeinsatz in Lackieranlagen

Die Energieflüsse einer Lackieranlage umfassen elektrischen Strom und Wärme. Dabei wird der elektrische Strom hauptsächlich zum Antrieb von Motoren, für elektrophoretische Abscheidungen und für Beleuchtungszwecke benötigt. Nur in Ausnahmefällen wird elektrisch beheizt. Zum Aufheizen von festen, flüssigen und gasförmigen Medien wird Wärme aus Öl und Gas erzeugt. In Abbildung I-1 sind die Energieströme nach Prozessschritten, schematisch aufgezeigt.

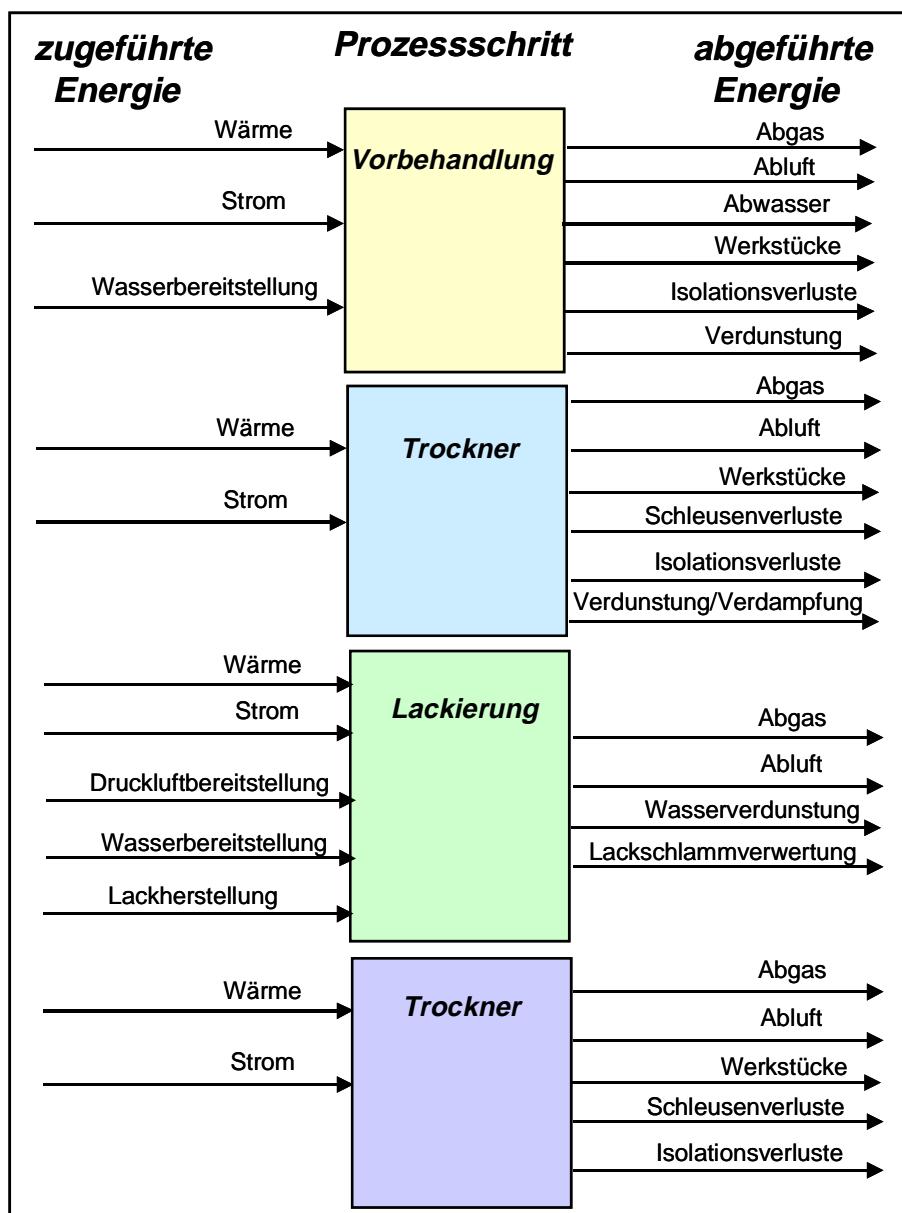


Abbildung I-1: *Energieflüsse in wesentlichen Anlagenteilen einer Lackieranlagen* [KLEIN 1999]

---

Die in Abbildung I-1 aufgezeigten Energieflüsse lassen sich nicht auf alle untersuchten Anlagen übertragen. So wird z.B. bei der Schiffslackierung eine Vorbehandlung durch Strahlen durchgeführt, anschließend wird spritzlackiert. Das Lackmaterial trocknet bei Umgebungstemperatur. Energiebedarf ergibt sich daher aus der Bereitstellung der Druckluft und durch die Lackförderung.

Bei Vorbehandlungsanlagen im Spritzverfahren strömt ein wesentlicher Teil der zugeführten Energie von den beheizten zu den kälteren Zonen der Spülen. In einer Abwasseraufbereitung, z.B. in der Form einer Verdampfungsanlage, wird zusätzlich Wärme für die Verdampfung benötigt. Bei der Werkstücktrocknung nach der Vorbehandlung wird ebenfalls Energie verbraucht. In der Lackierkabine wird für lösemittelhaltige Lacksysteme elektrische Energie zum Betrieb der Ventilatoren, Kompressoren etc. verwendet. Werden wasserverdünnbare Lacksysteme eingesetzt, wird in der Regel zusätzlich eine temperierte Abdunstzone erforderlich; zum Teil wird dafür die Abwärme aus dem nachfolgenden Trockner verwendet. Wenn der Trockner mit einer thermischen Nachverbrennung ausgerüstet ist, muss noch zusätzliche Energie zugeführt werden, da in der Regel die anfallenden Lösemittel als Brennstoff nicht ausreichen.

Nicht selten betragen die Energiekosten bei Lackieranlagen bis zu 20 % der Betriebskosten. In der Regel wird über 60 % des gesamten Energieeinsatzes mit der Abluft oder den Rauchgasen abgeführt und dadurch ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben. Der Energieverbrauch durch unzureichende Isolation oder abgeführte, flüssige Medien beträgt ca. 10 %. 30 % des Energiebedarfs dienen u.a. dem Betrieb der Elektromotoren. [KLEIN 1999]

## I.2 Einsetzbare Maßnahmen zur Minderung des Energieeinsatzes

### I.2.1 Minderung des Energieeinsatzes bei Neuanlagen

Beim Bau einer neuen Lackieranlage stellt der Energieverbrauch ein wichtiges Kriterium hinsichtlich der Auswahl eines geeigneten Lackierverfahrens dar. Durch die Einführung von oversprayarmen Applikationsverfahren mit reduziertem Luftdurchsatz in Spritzkabinen oder durch die Verwendung von automatisierten Lackauftragstechniken können Motoren mit geringerem Energiebedarf zum Antrieb der Kompressoren verwendet werden. Weiterhin ermöglicht eine adäquate Auslegung der Brenner deutliche Energieeinsparungen. Bei einer Neuplanung sind Ansatzpunkte zur Optimierung des Energieeinsatzes in allen Anlagenteilen vorhanden, insbesondere in Spritzkabinen und Umlufttrocknern. Einige Maßnahmen zur

Minderung des Energiebedarfes bei Neuplanungen von Lackieranlagen sind in Tabelle I-1 aufgeführt.

Tabelle I-1: *Maßnahmen zur Energieeinsparung für neue Lackieranlagen* [KLEIN 1999]

| Anlagenteil       | Maßnahme  | Anmerkungen                              |
|-------------------|---|--|
| Vorbehandlung     | Verwendung einer Tauchvorbehandlung   | geringere Verluste durch Verdunstung     |
|                   | Niedrige Prozesstemperaturen  | abhängig von den Chemikalien             |
|                   | Tunnelquerschnitt möglichst klein   |  |
|                   | optimierter Wasserablauf an Werkstücken   | Anpassung der Warenträger                |
| Lackierkabine     | Wärmerückgewinnung aus der Abluft, z.B. mittels Wärmerädern                             |  |
|                   | niedrige Luftgeschwindigkeit bei automatischen und oversprayarmen Lackauftragsverfahren | z.B. HVLP, elektrostatisch               |
|                   | automatische Abschaltung bei Arbeitspausen  |  |
|                   | Lackmaterial mit niedrigem Energiebedarf  | z.B. Wasserlack ohne Befeuchtung, Pulver |
| Abdunstzone       | Umluftbetrieb   | z.B. Aufkonzentrierung der Lösemittel    |
| Trockner          | direkte Beheizung   | z.B. Gas                                 |
|                   | beheizte Anlagenteile nebeneinander anordnen  | Blocktrockner                            |
| TNV               | Wärmerückgewinnung durch Wärmetauscher  | z.B. Beheizung von Trocknern             |
| Fördereinrichtung | optimierte Einrichtungen zum Transport der Produkte                                     | Anlangenlaufzeit                         |

## I.2.2 Minderung des Energieeinsatzes bei bestehenden Lackieranlagen

Zur Aufdeckung von Energieeinsparpotentialen in bestehenden Lackieranlagen empfiehlt sich eine Aufnahme des Ist-Zustandes, um alle energierelevanten Parameter zu erfassen und sie gemäß dem Stand der Technik zu optimieren (vgl. [KLEIN 1999]). Nach einer Erfassung der Energieströme kann zur Optimierung ein Maßnahmenkatalog erstellt werden. In der nachfolgenden Tabelle sind ausgewählte Maßnahmen zur Energiesenkung nach Anlagenteilen aufgelistet. Für jede individuelle Anlage muss die Einsetzbarkeit einer gegebenen Maßnahme gesondert untersucht werden.

Tabelle I-2: Maßnahmen zur Energieeinsparung für bestehende Lackieranlagen [KLEIN 1999]

| Anlagenteil   | Maßnahme   | Anmerkungen                           |
|---------------|--|---------------------------------------|
| Vorbehandlung | Isolieren von Badbehälter, Pumpen und Heizungsrohrleitungen      | geringer Aufwand                      |
|               | Niedrigtemperaturprozesse  | abhängig von den Chemikalien          |
|               | Aufhängung der Werkstücke so, dass das Wasser ablaufen kann      |                                       |
| Lackierkabine | Wärmerückgewinnung aus der Abluft, z.B. mittels Wärmerädern      | Wirtschaftlichkeit prüfen             |
|               | Lackierprozess automatisieren und Luftgeschwindigkeit reduzieren | Umbau der Auswaschung                 |
|               | Automatische Abschaltung bei Arbeitspausen                       | Machbarkeit untersuchen               |
|               | Lackmaterial mit geringen Aushärtungstemperaturen einsetzen      | z.B. 2K-Lacksysteme                   |
| Abdunstzone   | Umluftsystem nachrüsten  | z.B. Aufkonzentrierung der Lösemittel |
| Trockner      | Umbau auf eine direkte Beheizung                                 | z.B. Gas                              |
|               | Wärmerückgewinnung zur Beheizung anderer Trockner                |                                       |

### I.3 Entwicklungen und Blick in die Zukunft

Zur umfassenden Minderung von Umweltbelastungen bei Senkung der Energiekosten bedarf es neuer Lackierkonzepte. Ein sich abzeichnender Trend ist die zunehmende Bedeutung des Bandbeschichtungssektors, indem lackierte Coils in verschiedenen Produktionsbereichen eingesetzt und zu Endprodukten umgeformt werden, wie beispielsweise bei der Herstellung von Haushaltsgeräten. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass die Lackierung auf großen, ebenen Flächen ausgeführt werden kann. Das Lackieren kann dabei mit oversprayfreien Verfahren, wie z.B. Walzen oder Gießen, stattfinden. Dabei sind hohe Luftpunktmengen, wie bei Spritzverfahren, nicht mehr notwendig. Auch im Vorbehandlungsbereich kann das energieaufwendige Versprühen von wässrigen Medien durch Walzen ersetzt werden.

Eine weitere Entwicklung besteht in der Reduktion der Spritzkabinenvolumen, wobei noch zu untersuchen ist, ob die Bewegungseinrichtungen der Spritzgeräte bzw. die Spritzgeräte selbst in der Lackierkabine stehen müssen.

---

## ***Quellenverzeichnis***

### **[BACHHAUSEN 1998]**

BACKHAUSEN (VERBAND DER LACKINDUSTRIE): *Rechenbeispiel für die zusätzliche Umweltbelastung durch Einhaltung eines Grenzwertes von 20 mgC/m<sup>3</sup> für VOC*, Mitteilungen Februar 2002

### **[KLEIN 1999]**

KLEIN, W.: *Möglichkeiten zur Energie-Einsparung beim Lackieren*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Juni 1999

### **[MAY 2000]**

MAY, TH.: *Persönliche Mitteilung*, Juli 2000

---

## **Anhang II:**

### ***Vorbehandlungsverfahren***

Zur Vorbehandlung des Untergrundes für den Lackauftrag wird eine Oberfläche mit definierten Eigenschaften erzeugt, um optimale Haftfestigkeit für das Lackmaterial zu ermöglichen. Dabei werden z. B. Korrosionsprodukte von der zu beschichtenden Oberfläche entfernt, eine Reinigung und Entfettung durchgeführt und ggf. Konversionsschichten erzeugt.

Im Folgenden wird die Vorbereitung von Metall-, Kunststoff- und Holzuntergründen unterschieden. Eine zusammenfassende Darstellung der Verunreinigungen und Vorbehandlungsverfahren nach Substraten ist in Tabelle II-1 gegeben.

Tabelle II-1: *Verunreinigungen und einsetzbare Oberflächenvorbehandlungsverfahren für verschiedene Substrate* [BROCK 1998]

| <b>Substrat</b>    | <b>Verunreinigungen</b>  | <b>Reinigung</b> |  | <b>Vorbereitung/<br/>Vorbehandlung</b>                     |
|--------------------|--|------------------|--|--|
| <i>Metalle</i>     | Metallspäne, Öle, Fette, Rost, Oxide, Staub, Silicone, ggf. Lackreste, Altbeschichtungen | Mechanisch:      | Wischen, Schleifen, Polieren, Bürsten, Strahlen            | Aktivieren, Phosphatisieren, Chromatisieren, Passivieren   |
|                    |  | Thermisch:       | Flammstrahlen  |  |
|                    |  | Chemisch:        | Beizen, Reinigen mit (ggf. mit mechanischer Unterstützung) |  |
| <i>Kunststoffe</i> | Fette, Öle, Trennmittel, Staub, Handschweiß  | Mechanisch:      | Abreiben, Abblasen, Abspülen                               | Beflammen, Plasma-Verfahren, Corona-Entladung, Fluorierung |
|                    |  | Chemisch:        | Lösemittel oder wässrige Reiniger                          |  |
| <i>Holz</i>        | Schleifreste, Staub, Feuchtigkeit, Holzinhaltsstoffe, ggf. Lackreste                     | Nur mechanisch:  | Schleifen, Polieren, Bürsten                               | Imprägnieren, Versiegeln, Grundieren                       |

## II.1 Vorbehandlung von Metalluntergründen

Tabelle II-2 gibt einen Überblick über die üblichen Verunreinigungen bei unterschiedlichen Metalluntergründen. Zur Entfernung von Verunreinigungen bzw. störenden Schichten können im Wesentlichen mechanische Verfahren, Entfettungs- und chemische Verfahren eingesetzt werden.

Tabelle II-2: *Verunreinigungen für verschiedene metallische Substrate* [BROCK 1998]

| Metalluntergrund       | Verunreinigungen bzw. störende Schichten  |
|------------------------|---|
| Stahl                  | Rost, Zunder, Fremdschichten (z.B. alte Lackierungen, Kleb- und Dichtstoffreste), Fette, Öl, Salze, Schmutz |
| Zink, verzinkter Stahl | Sog. Weißrost (Hydroxidsulfatschichten)   |
| Aluminium              | Aluminium-Oxid-Schicht  |

### II.1.1 Mechanische Verfahren

Zum Entfernen von Fremdschichten wird das Strahlen angewendet. Dazu werden Mehrwegstrahlmittel, z.B. Stahlkies (kantig), Stahlschrot (rundlich), Glasperlen oder Einwegstrahlmittel mit hoher Geschwindigkeit auf bzw. über die zu behandelnde Oberfläche geleitet. Im Wesentlichen werden die nachfolgenden Strahlverfahren unterschieden:

- Beim **Trockenstrahlen**, wird das Strahlmittel mit Pressluft aus Pistolen auf den Untergrund geblasen;
- beim **Feuchtstrahlen** wird das Strahlmittel zur Verringerung der Staubentwicklung angefeuchtet wird; und
- beim **Druckwasserstrahlen** wird mit Wasser, mit oder ohne Strahlmittelzusatz, mit hydrostatischem Druck mit bis zu etwa 2 500 bar auf das Substrat gespritzt.

In industriellen Bereichen erfolgt das Strahlen überwiegend in geschlossenen Gehäusen, Kabinen oder Hallen, und das Strahlmittel wird in der Regel im Kreislauf geführt. Durch das Strahlen entstehen saubere, metallisch blanke Metalloberflächen. Frisch gestrahlte Metalloberflächen sind allerdings sehr reaktiv und neigen daher schnell zu Korrosion. Deshalb müssen die Metalluntergründe nach dem Strahlvorgang sofort chemisch passiviert oder grundiert werden. Die Lackhaftung auf gestrahlten Oberflächen ist allgemein als gut einzustufen. [BROCK 1998]

---

## **II.1.2 Entfettungsverfahren**

Entfettungsverfahren werden eingesetzt, um Fremdstoffe von der Substratoberfläche zu entfernen, sofern es sich nicht um festhaftende Schichten, wie z.B. Rost, handelt. Zu diesem Zweck werden derzeit organische Lösemittel nur noch begrenzt eingesetzt, z.B. bei der Oberflächenreinigung von Flugzeugräumen. Üblicherweise wird heutzutage mit wässrigen Reinigern entfettet, da sie u.a. zum Umwelt- und Arbeitsschutz beitragen. Eine Entfettung kann entweder im Tauch- oder Spritzverfahren vorgenommen werden. Während beim Spritzen niedrigere Behandlungszeiten, Temperaturen und Konzentrationen möglich sind, werden die Innenflächen von Hohlkörpern beim Tauchen besser erreicht. Bei schweren Reinigungsaufgaben wird eine mehrstufige Reinigung, ggf. unter zusätzlichem Bürsteneinsatz, angewendet. Meist muss nach dem wässrigen Reinigen mit Wasser nachgespült werden und unmittelbar vor dem Lackieren wird zusätzlich mit vollentsalztem Wasser gespült und getrocknet. Durch verschiedene verfahrenstechnische Varianten (z.B. Kaskadenprinzip) und Einrichtungen (z.B. Ultrafiltrationskreisläufe) lassen sich Reinigungsanlagen in der Regel wasser- und chemikaliensparend betreiben. [BROCK 1998]

## **II.1.3 Chemische Verfahren**

Als chemische Vorbehandlungsverfahren für Metalluntergründe werden das Beizen sowie verschiedene Methoden zum Aufbringen von Konversionsschichten, wie Phosphatisieren, Chromatisieren und Passivieren eingesetzt.

### ***Beizen***

Im Gegensatz zum Beizen von Holz (vgl. Kapitel 8, Teilband Lackanwendung) bedeutet das Beizen von Metalloberflächen das chemische Auflösen von auf Metallen befindlichen oxidischen Schichten bzw. Korrosionsprodukten. Bei der Vorbehandlung von Stahl werden vorwiegend saure Beizen, wie beispielsweise Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure, verwendet. Werkstoffe aus Aluminium oder Zink können sowohl mit sauren (z.B. Salpeter-/Schwefelsäure) als auch alkalischen Beizlösungen (wässriger Natronlauge) vorbehandelt werden; jedoch muss meist nach einer alkalischen Beize mit Säure nachbehandelt werden. Bei manchen Metallsubstraten erfolgt das Beizen mit Phosphorsäure. Dabei entsteht eine dünne Konversionsschicht, die einen zeitlich begrenzten Korrosionsschutz darstellt und daher eine gute Basis für den anschließenden Lackauftrag bildet.

Heutzutage werden beim Beizen von Metalluntergründen überwiegend Salzsäuren eingesetzt, weil damit auch leicht legierte Stahloberflächen gut gereinigt werden können. Durch Zugabe

---

von Tensiden kann den Beizbädern zusätzlich eine leicht entfettende Wirkung verliehen werden. [KLEIN 1999]

### ***Phosphatierung***

Die Phosphatierung zählt seit vielen Jahren zum anerkannten Stand der Technik für die Vorbehandlung diverser Teile aus der Automobilindustrie, dem Maschinenbau und vielen anderen Industriezweigen. Durch die Phosphatierung werden folgende Ziele erreicht:

- Erhöhung der Haftfestigkeit von Lackschichten;
- Verbesserung des Korrosionsschutzes;
- keine Störungen des Beschichtungsprozesses durch Oberflächenfehler; und
- gleichmäßige Ausbildung der Beschichtung.

Bei den zu phosphatisierenden Werkstoffen handelt es sich überwiegend um Stahl und vorbeschichteten Stahl. Teilweise wird mit entsprechend eingestellten Phosphatierbädern auch Aluminium phosphatiert. Die nachfolgenden Tabellen II-3 und II-4 zeigen die zur Zeit am häufigsten angewandten Phosphatierverfahren, ihre Anwendungen und Eigenschaften.

Tabelle II-3: *Phosphatierverfahren und ihre Anwendungen* [RENTZ 2000]

| <b>Verfahren</b>          | <b>Anwendung</b>   |
|---------------------------|--|
| Eisenphosphatierung       | Einfaches Vorbehandlungsverfahren für nachträgliches Beschichten                             |
| Zinkphosphatierung        | Hochwertiges Vorbehandlungsverfahren für nachträgliches Beschichten                          |
| Manganphosphatierung      | Behandlungsverfahren für die Gleiterleichterung (z.B. im Motor, Getriebe oder beim Umformen) |
| Dickschichtphosphatierung | Rostschutz, meist in Verbindung mit nachträglichem Ölen oder Wachsen                         |

Tabelle II-4: Phosphatierverfahren und ihre Eigenschaften [RENTZ 2000]

| Verfahren                 | Beschichtbar | Korrosionsschutz  |             |
|---------------------------|--------------|-------------------|-------------|
|                           |              | Unbeschichtet     | beschichtet |
| Eisenphosphatierung       | Ja           | sehr gering       | gut         |
| Zinkphosphatierung        | Ja           | Gering            | sehr gut    |
| Manganphosphatierung      | Nein         | Gering bis mittel | -           |
| Dickschichtphosphatierung | nur Öl/Wachs | Gering bis mittel | mittel      |

**Eisenphosphatierung** ist ein kostengünstiges Verfahren, das hauptsächlich bei Produkten für Innenräume, die also keiner extremen Korrosionsbeanspruchung ausgesetzt sind, Anwendung findet. Von den aufgeführten Verfahren kommt die **Zinkphosphatierung** am häufigsten zum Einsatz. Zinkphosphatschichten sind kristalline Schichten, die sich auf blanken Metallocberflächen bilden. Bestimmender Bestandteil der Zinkphosphat-Behandlungslösung ist primäres Zinkphosphat. Durch Verwendung weiterer Kationen wie Nickel, Mangan u.a. können die chemische Zusammensetzung und Struktur der Zinkphosphatschicht speziellen Anforderungen angepasst werden. Zur Steuerung der Schichtbildungsgeschwindigkeit werden den Badlösungen Oxidationsmittel wie Nitrat, Chlorat, Nitrit u.a. zugegeben. [KLEIN 1999, BROCK 1998]

Zinkphosphatschichten bieten einen sehr guten Korrosionsschutz und stellen einen hervorragenden Untergrund dar, auf dem Beschichtungen sehr gut haften. Im Rahmen der Zinkphosphatierungsverfahren spielen *Niedrigzink-Verfahren* (mit ca. 0,5 – 1,5 g Zink pro Liter) eine besondere Rolle. Seit ihrer Markteinführung haben sie die *Normalzink-Verfahren* (ca. 2 – 5 g Zink pro Liter) immer mehr verdrängt. Sie bieten gegenüber den Normalzink-Verfahren eindeutige Vorteile in Bezug auf Korrosionsschutz, Steinschlagbeständigkeit sowie Haftung der Beschichtung. Das Niedrigzink-Verfahren wurde im Zusammenhang mit der Einführung der kathodischen Elektrotauchlackierung (KTL) entwickelt. Während die Normalzink-Verfahren flächige Kristallite in fächerartiger Form ausbilden, die auch teilweise aus der Ebene herausragen, zeigen die beim Niedrigzink-Verfahren resultierenden Schichten eine weitgehende parallele Ausrichtung zur Metallunterlage und sind wesentlich feinkristalliger und kompakter.

### **Chromatierung**

Die Chromatierung besteht darin, Metallocberflächen mit Chrom (VI)-haltigen Lösungen zu behandeln. Es wird zwischen Gelb- und Grünchromatierung unterschieden. Grünchromatiert wird in Lösungen auf Wasserbasis, die aus Chromsäure ( $\text{CrO}_3$ ), Fluoriden und Phosphaten

---

zusammengesetzt sind. Die grüne Farbe kommt durch Zugabe von Chrom(III)phosphat zustande. Bei der Gelbchromatierung enthält die wässrige Lösung hauptsächlich Chromsäure. Die gelbe Farbe wird durch die zusätzliche Anwesenheit von Chromat hervorgerufen. [KLEIN 1999]

### ***Passivierung***

Die Passivierung erfolgt im Anschluss an eine Phosphatierung zur Verlängerung der Korrosionsschutzwirkung und zur Verbesserung der Haftfestigkeit. Die Passivierung wird hauptsächlich in der Automobilserienlackierung, vor der kathodischen Elektrotauchlackierung (KTL), eingesetzt, aber auch in der Herstellung von Teilen z.B. für die Automobilindustrie.

Derzeit finden Spülmittel auf der Basis von Chrom (VI), Chrom (III) und Chrom (IV) Einsatz. Die Nachteile des Chroms in Bezug auf Umweltaspekte und Arbeitsbedingungen (u.a. mögliche chemische Reaktionen mit der später aufgebrachten Lackschicht) haben zur Entwicklung von chromsäurefreien Passivierungsmittel geführt, die derzeit in einigen Bereichen bereits verwendet werden. Dieser Anteil wird in den nächsten Jahr vermutlich steigen, da gemäß EU-Richtlinie über Altfahrzeuge [2000/53/EG] ab 1.7.2003 in der Automobilindustrie und Automobilzulieferindustrie kein sechswertiges Chrom mehr bei den Korrosionsschutzverfahren eingesetzt werden darf. Jedoch ist der Korrosionsschutz bei Chrom (VI)-freien Systemen weniger gut, weil geringere Schichtdicken erzielbar sind und die aufgebrachte Schicht sich bei Beschädigungen nicht neu bilden kann. Deswegen können derzeit Chrom (VI)-freie Lösungen nicht in sämtlichen Bereichen Einsatz finden. [KLEIN 1999, PAULSEN 2001]

Zur Verbesserung des Korrosionsschutz bei Verwendung von Chrom (VI)-freien Systemen kann die Passiervierschicht z.B. versiegelt werden. Dafür kommen Versiegelungen auf Silikat-Basis, Wachsversiegelungen oder Kombinationsversiegelungen (organisch/anorganisch) zum Einsatz. Andererseits kann die Korrosionsbeständigkeit ebenfalls durch die Verwendung von Zinklegierungen erhöht werden. Derzeit sind Zink/Eisen, Zink/Cobalt und Zink/Nickel Legierungen verfügbar und die Aussichten für Zink/Mangan Legierungen sind vielversprechend. (vgl. [PAULSEN 2001])

---

## II.2 Vorbehandlung von Kunststoffuntergründen

Kunststoffe enthalten Fremdkomponenten, die entweder durch Nebenreaktionen bei der Synthese entstanden sind oder als Hilfsstoffe bei der Verarbeitung zugesetzt wurden (beispielsweise Weichmacher, Farbstoffe, Gleit- und Trennmittel etc.). Diese Stoffe beeinflussen die Lackierbarkeit des Kunststoffuntergrundes meist negativ, so dass in den meisten Fällen eine Vorbehandlung unabdingbar ist. Zudem stellen das Einstauben der Oberfläche und eine unzureichende Lackbenetzung und -haftung weitere Probleme dar. Als schwer lackierbar gelten vor allem die wichtigen Massenkunststoffe Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP). Verschiedene Vorbereitungs- bzw. Vorbehandlungsverfahren stehen zur Auswahl [BROCK 1998]:

- Zur Beseitigen von Oberflächendefekten (wie Poren, Vertiefungen, Blasen, etc.) werden die Kunststoffsubstrate gespachtelt oder geschliffen. Durch Schleifen oder Strahlen erhält die Oberfläche eine definierte Aufrauung und ermöglicht so eine verbesserte Lackhaftung.
- Zur Reinigung von Kunststoffoberflächen werden heutzutage überwiegend wässrige Reinigungsmittel angewendet. Wie bei Metalluntergründen folgen Spülvorgänge mit Wasser und vollentsalztem Wasser sowie einem Trocknungsvorgang.
- Zur Entfernung von Staubpartikeln können die Kunststoffwerkstücke am Spritzkabineneingang mit ionisierter Luft abblasen werden.

Zur Verbesserung der Benetzung und der Lackhaftung stehen für Kunststoffoberflächen einige Verfahren zur Auswahl. Die Wichtigsten werden nachfolgend kurz beschrieben.

### **Beflammen**

Das Beflammen stellt das am häufigsten angewandte Vorbehandlungsverfahren für Kunststoffuntergründe dar. Dabei wird eine Gasflamme mit Luftüberschuss manuell oder im automatischen Verfahren über die Kunststoffoberfläche geführt. Die Einwirkdauer liegt meist unter einer Sekunde. Das Beflammen bewirkt eine Oxidation auf der Oberfläche, wobei die Polarität gesteigert wird. Vorteilhaft ist die Möglichkeit kontinuierlich zu arbeiten sowie die einfache Handhabung. Nachteile stellen die thermische Belastung der Werkstoffe und die Abgaserzeugung dar. [BROCK 1998]

### **Koronabehandlung**

Das Prinzip der Koronabehandlung ist dem des Beflammens sehr ähnlich. Anstelle der Flamme wird jedoch eine Wechselspannungselektrode eingesetzt, die durch eine Koronaentladung energiereiche Sauerstoff-Ionen bildet, die die Kunststoffoberfläche oxidieren.

---

Neben der Möglichkeit zur kontinuierlichen Behandlung verfügt das Korona-Verfahren über den Vorteil, dass die Kunststoffuntergründe keiner thermischen Belastung ausgesetzt werden. Allerdings können lediglich flache Teile behandelt werden. Zudem ist das Verfahren nur kurzzeitig wirksam. [BROCK 1998]

### ***Plasmatechnologie***

Diese Technologie besteht darin, die zu behandelnden Kunststoffteile in mikrowellenangeregten Plasmaquellen zu tränken. (vgl. [SUNG 2001]). Der Vorteil in der Plasmabehandlung liegt darin, dass die Werkstücke gelagert werden können, um zu einem späteren Zeitpunkt lackiert zu werden. Zudem ist das Verfahren hilfsstofffrei.

### ***Fluorierung***

Das Fluorieren bietet sich insbesondere für unpolare Kunststoffe (wie thermoplastische Elastomere) an, die zunehmend an Bedeutung gewinnen, und stellt daher eine Alternative zu den Standard-Vorbehandlungen dar. Zunächst wird die Reaktorkammer, in der die Fluorierung stattfindet, bis zur gewünschten Druckuntergrenze evakuiert. Danach wird die Kammer bis zur gewünschten bzw. erforderlichen Druckobergrenze mit getrockneter Luft gefüllt. Diese Vorspülung ist in vielen Fällen erforderlich, um anhaftende Restfeuchtigkeit von der Oberfläche zu entfernen. Danach wird wieder evakuiert bis zur eingestellten bzw. gewünschten Druckuntergrenze. Dann wird das Fluor/Stickstoff-Gemisch, das zur Oberflächenbehandlung benötigt wird, zudosiert. Nach Ablauf der erforderlichen Reaktionszeit wird das Fluor / Stickstoff-Gemisch aus der Kammer abgezogen und entweder über einen entsprechenden Absorber -ausgeleitet oder in einen vorhandenen Speicher gepumpt. Es folgt ein drei- bis fünfmaliges Fluten und Evakuieren der Reaktorkammer mit getrockneter Luft, um eventuell noch vorhandene Restmoleküle aus der Kammer und von dem behandelten Substrat abzuziehen. Die Reaktorkammer wird anschließend geöffnet und entleert. [BAUER 2000]

Die Fluorierung ist eine Vorbehandlungsmethode, die Vorteilen bietet, wie beispielsweise [RENTZ 2000] :

- *Stabilität der Wirkung über mehrere Monate:* Fluorierte Kunststoffteile können sowohl direkt in der Lackiererei weiterverarbeitet als auch über mehrere Monate zwischengelagert werden. Selbst ein nachträgliches Waschen beeinträchtigt die polar eingestellte Oberfläche nicht.
- *Keine Schädigung des Grundmaterials:* Beim Fluorierungsverfahren findet keine thermische oder sonstige Belastung des Grundmaterials statt und somit entsteht keine Beschädigung.

- 
- *Umweltfreundlich:* Nach der Fluorierung können alternative Beschichtungsmaterialien wie z.B. Lacke auf Wasserbasis eingesetzt werden.

## II.3 Vorbehandlung von Holzuntergründen

Neben Vollholz (wie z.B. Fichte, Tanne, Birke, Nussbaum) kommen vielfach Werkstoffe zur Anwendung, die aus zerteilten Hölzern und Bindemitteln (z.B. Leimharzen) produziert werden. Die wichtigsten Holzwerkstoffe umfassen [BROCK 1998]: Furniere, Sperrholz, Holzspanplatten, Holzfaserplatten, Mitteldichte Faserplatten (MDF-Platten).

Die gängigsten Vorbehandlungsverfahren in der Holz- und Möbelindustrie sind das Schleifen, das Beizen, das Lasieren und das Bleichen. Für ausführlichere Informationen sei auf Kapitel 8 verwiesen.

---

## **Quellenverzeichnis**

### **[2000/53/EG]**

RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: *EU-Richtlinie 2000/53/EG über Alt Fahrzeuge*, in: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 21.10.2000

### **[BAUER 2000]**

BAUER, G.P. (PFT FLOCK-TECHNIK GMBH): *Gute Lackhaftung mit Fluorierung: Kunststoffoberflächen richtig vorbehandeln*, in: Besser Lackieren, Nr. 17, Oktober 2000

### **[BROCK 1998]**

BROCK, T.; GROTEKLAES, M.; MISCHKE, P.: *Lehrbuch der Lacktechnologie*, Vincentz-Verlag, Hannover, 1998

### **[KLEIN 1999]**

KLEIN, W.: *Vorbehandlung von metallischen Beschichtungsuntergründen*, in: Jahrbuch für Lackierbetriebe 2000, Vincentz Verlag, Hannover, 1999

### **[PAULSEN 2001]**

PAULSEN, R. (ENTHONE-OMI GMBH, SOLINGEN): *Chrom (VI)-freier Korrosionsschutz auf Zink und Zinklegierungen*, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, Nr. 2, Februar 2001

### **[RENTZ 2000]**

RENTZ O., NUNGE S. GELDERMANN J.: *Einführung eines innerbetrieblichen Energie- und Stoffstrommanagements bei einem mittelständischen Industrielackierbetrieb für Kleinteile in Baden-Württemberg*, Studie im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz, 2000

### **[SUNG 2001]**

SUNG-SPITZL, H. (IPLAS INNOVATIVE PLASMA SYSTEMS GMBH, KÖLN): *Plasmatechnologie: Beschichtung von Kunststoffen verbessern*, in: Besser Lackieren, Nr. 3, Februar 2001

---

## **Anhang III:**

### ***Lackauftragsverfahren***

---

## **III.1 Auftragsverfahren mit hohem Wirkungsgrad**

Als Verfahren mit hohen Lackauftragswirkungsgraden gelten das Spachteln, Walzen, Gießen, Tauchen, Fluten und Vakuumlackieren. Beim Tauchen wird zwischen konventionellem Tauchen und Elektrotauchlackieren unterschieden. Spritzverfahren weisen geringere Wirkungsgrade auf, sind aber universell einsetzbar.

### ***Spateln***

Beim Spachteln werden hochpigmentierte, pastöse Anstrichstoffe bzw. zähflüssige Spachtelmasse verarbeitet. Bei automatisierten Verfahren wird die Spachtelmasse im Gegenlauf auf das Werkstück aufgewalzt und das überschüssige Material abgestreift. Dieses automatisierte Verfahren ist lediglich für flache oder bandförmige Werkstücke einsetzbar. Dabei sind sehr geringe Materialverluste zu verzeichnen. Das Verfahren findet vor allem bei der Beschichtung von Platten aus Holzwerkstoffen Anwendung. Bei komplizierten Werkstückformen wird die Spachtelmasse üblicherweise manuell mit einem Ziehspachtel appliziert und anschließend eingeebnet. Nach dem Trocknen der Spachtelmasse sind Schleifarbeiten notwendig. (vgl. [EICHHORN 2000])

### ***Walzen***

Im Walzverfahren werden vorwiegend flache Metallwerkstücke sowohl ein- als auch beidseitig beschichtet. Der Auftrag erfolgt mittels rotierender Gummiwalzen. Mit einem verstellbaren Spalt zwischen den Walzen wird die Auftragsmenge eingestellt. Bei den Lackierverfahren, in denen die Lackierwalze und das Werkstück sich in die gleiche Richtung bewegen, sind nur begrenzte Schichtdicken erzielbar (bis ca. 12 µm) und nur bestimmte Lackviskositäten können verarbeitet werden. Bei den sog. Reversverfahren (Beschichtungswalze läuft gegen die Werkstücktransportrichtung) treten diese negativen Erscheinungen nicht mehr auf [ONDRACTSCHECK 2001].

Das Walzverfahren erlaubt die Applikation sowohl von Zweikomponentenlacken (wobei zunächst der Härter und anschließend der Stammlack aufgewalzt werden) als auch von Polymerisationslacken mit hoher Viskosität und 100 % Festkörperanteil (lösemittelfreie Systeme). Hauptsächlich werden flache Werkstücke gewalzt, aber auch leicht profilierte Teile wie z.B. Holzpaneelen (vgl. [EICHHORN 2000]).

### ***Gießen***

Bei diesem Verfahren durchlaufen ebene Werkstücke einen Lackvorhang und erhalten auf der obenliegenden Fläche einen gleichmäßigen Lackauftrag. In einer Gießmaschine wird der Lack

---

mit einer Förderpumpe aus einem Lacktank in den Gießkopf gepumpt, der sich über die ganze Breite der Anlage erstreckt. Die Dosierung des Beschichtungsmaterials erfolgt durch Verstellung der Gießlippen im Gießkopf. Die Lackauftragsmenge ist durch die Gießlippenverstellung oder durch Veränderung der Durchlaufgeschwindigkeit des Werkstückes regulierbar. Je nach Bauart der Anlagen können Lackmengen von 40 bis zu 500 g/m<sup>2</sup> im Gießverfahren appliziert werden. Mit dem Gießverfahren können gleichmäßige Schichtdicken in Verbindung mit einem hohen Auftragwirkungsgrad von mehr als 98 % erzielt werden. Überschüssiges Lackmaterial fließt in ein Vorratsgefäß zurück, so dass kaum Lackverluste entstehen.

Im Gießverfahren werden fast ausschließlich flache Werkstücke beschichtet. Das Verfahren wird hauptsächlich in der Möbelindustrie für Schrankwände, Türblätter und Tafeln eingesetzt. Vorwiegend werden lösemittelfreie Polyesterharzlacken verwendet, aber das Verfahren eignet sich auch für andere Lackarten. (vgl. [EICHHORN 2000])

### **Tauchen**

Das Tauchen ist vorwiegend für Massengüter, ohne Farbtonwechsel, in der Serienfertigung geeignet. Die zu lackierenden Werkstücke werden in den Lack eingetaucht, nachdem sie benetzt und beschichtet sind, wieder herausgezogen und danach wie bei anderen Lackierverfahren getrocknet bzw. gehärtet. Da die Werkstücke vollständig in einen mit Lack gefüllten Behälter getaucht werden, müssen sie ein höheres spezifisches Gewicht als der Lack aufweisen, um nicht aufzuschwimmen und ggf. Entlüftungsbohrungen erhalten. Vorteile des Tauchverfahrens sind: Sehr geringe Lackverluste, vollständige Lackierung der Werkstücke (innen und außen), sehr hohe Wirtschaftlichkeit bei entsprechend hohen Durchsätzen und gute Automatisierbarkeit. In der Praxis werden grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren eingesetzt, die im folgenden kurz erläutert werden. [BAUMGÄRTNER 2000]

### **Konventionelles Tauchen**

Beim konventionellen Tauchverfahren werden die Teile lediglich ein- und wieder ausgetaucht und die Oberfläche wird vollständig mit Lack benetzt; eine chemische Umwandlung des Lacks findet dabei nicht statt.

Beim Tauchen mit lösemittelhaltigen Lacken können nahezu alle gebräuchlichen einkomponentigen Lacktypen, die eine ausreichende Stabilität aufweisen, eingesetzt werden. Jedoch stellt ein großer Nachteil des Tauchens mit lösemittelhaltigen Lacken die hohe Brandgefahr durch das ständige Verdunsten der Lösemittel dar. Diese Gefahr ist in Folge der geringeren Lösemittelgehalte bei der Verwendung von Wasserlacken geringer. Des weiteren ist eine Trocknung nach der wässrigen Vorbehandlung und vor dem Tauchen nicht unbedingt

---

erforderlich. Einige Nachteile sind jedoch zu verzeichnen: Wasserlacke neigen zum Schäumen, sind nur in einem bestimmten, eng begrenzten pH-Bereich stabil und sind daher sehr empfindlich gegen Verunreinigungen, die u.U. aus der Vorbehandlung eingeschleppt werden können. (vgl. [BAUMGÄRTNER 2000])

### ***Elektrotauchlackieren (ETL)***

Beim Elektrotauchlackieren fließt ein elektrischer Strom zwischen dem zu beschichtenden Werkstück und den im Tauchbecken eingebauten Elektroden. Je nach Polung des Werkstücks mit der angelegten Gleichspannung wird zwischen anodischem und kathodischem Elektrotauchlackieren unterschieden. Sämtliche Elektrotauchlacke sind wasserverdünnbar und haben einen geringen Gehalt an organischen Lösemittel (etwa 1 bis 4 Gew.-%). Vorteilhaft ist beim Elektrotauchlackieren, die vollständige und gleichmäßige Beschichtung (auch in Hohlräumen), keine Bildung von Läufern, geringe Lackverluste, gute Möglichkeiten zur Vollautomatisierung. Als Nachteile stehen dem ein anlagentechnischer Aufwand, entsprechend hohe Investitionen, relativ hohe Materialkosten und ein gewisser Aufwand für die Überwachung des Lackbades und die Qualitätssicherung gegenüber. (vgl. [BAUMGÄRTNER 2000])

### ***Fluten***

Beim Fluten wird das Lackmaterial über die zu lackierenden Werkstücke gegossen ("geflutet"). In modernen Anlagen werden die Werkstücke in eine geschlossene Kammer geführt und mit Lack überflutet. Der überschüssige Lack tropft ab, wird aufgefangen und mit Hilfe von Pumpen den Flutdüsen erneut zugeführt. Die Lackverluste sind deshalb sehr gering und betragen in Abhängigkeit der Werkstückgeometrie ca. 1-5%. Im Vergleich mit dem Tauchverfahren treten beim Fluten allerdings wesentlich höhere Verdunstungsverluste an Lösungsmitteln auf. Daher werden überwiegend wasserverdünnbare Lacksysteme verwendet. Das Verfahren eignet sich besonders für großflächige und sperrige Werkstücke und wird unter anderem in den Bereichen der Heizkörperlackierung und der Lackierung von Rahmenteilen für Lkw oder Landmaschinen sowie der bei der Applikation von Hohlraumwachsen in der Serienlackierung von PKW eingesetzt. (vgl. [EICHHORN 2000])

---

## **III.2 Spritzverfahren**

### **III.2.1 Spritzlackieren ohne elektrostatische Lackaufladung**

Die Spritzlackierverfahren ohne elektrostatische Lackaufladung werden trotz zunehmender Bedeutung der elektrostatischen Spritzverfahren noch in zahlreichen Lackverarbeitungsbereichen eingesetzt. Gegenüber den elektrostatischen Spritzverfahren verfügen diese Lackapplikationsverfahren jedoch über die Vorteile, dass die Investitionen wesentlich geringer sind und keine besonderen Anforderungen an die Leitfähigkeit und Geometrie der zu lackierenden Werkstücke und an die Lacksysteme gestellt werden. Andererseits besteht die bedeutendste Schwachstelle der Spritzlackierverfahren ohne elektrostatische Lackaufladung in dem größeren Overspray. Um die Lackmaterialausnutzung zu verbessern wurden daher verschiedene Konzepte von Spritzverfahren ohne elektrostatische Lackaufladung entwickelt, die mit den Wirkungsgraden von vergleichbaren, elektrostatikunterstützten Spritzverfahren konkurrieren können. Die Zerstäubung von Lacksystemen ohne elektrostatische Aufladung erfolgt durch mechanische Kräfte. Dabei werden die Wirkungen der Geschwindigkeit von Luftstrahlen (Druckluftzerstäubung im Niederdruck- und Hochdruckverfahren), der Lackströmung selbst (Airless-Zerstäubung) und einer Kombination von schnellfließender Lackströmung und Luftstrahlen (Airless-Zerstäubung mit Luftunterstützung oder Airmix-Spritzverfahren) unterschieden.

#### **Druckluftzerstäubung**

Bei der Druckluftzerstäubung werden Lack und komprimierte Luft einer Düse zugeführt und zerstäubt. Die austretende Luft führt die Lackpartikel mit sich und führt diese auf die zu beschichtende Oberfläche. Je größer der angewendete Luftdruck ist, umso feiner sind die erzeugten Lacktröpfchen und damit die Glätte des erzeugten Lackfilms. Mit zunehmender Feinheit der Tröpfchen werden allerdings die Lackverluste durch den an der zu beschichtenden Oberfläche umgelenkten Luftstrahl, größer. Bei zu geringem Luftdruck kommt es zu einer Verschlechterung der Oberflächengüte (sog. Orangenhauteffekt).

**Hoch- und Niederdruckdruckspritzverfahren** werden u.a. in der Fahrzeug-, Möbel-, Haushaltsgeräteindustrie und im Maschinenbau eingesetzt, wobei sämtliche Werkstückgeometrien lackiert werden können. Die erzielten Lackfilme weisen sehr gute Oberflächenqualitäten auf. Der Festkörpernutzungsgrad beträgt etwa 5 % für gitterartige Teile und Teile mit komplizierten Geometrien und etwa 40 bis 50 % für großflächige Teile. Niederdruck-Spritzverfahren werden ebenfalls in der Holzlackierung und im Maschinenbau

---

verwendet. Eine große Bandbreite von Geometrien kann lackiert werden, jedoch hängt die Lackfilmqualität sehr stark von der Lackart und -einstellung ab.

Zur Steigerung der Lackmaterialnutzung und der Beschichtungsqualität sind Spritzverfahren wie z.B. das Niederdruck-Spritzverfahren (high volume low pressure, HVLP), das Heißspritzen und das Spritzen mit CO<sub>2</sub> einsetzbar. Diese Verfahren werden im folgenden kurz beschrieben.

### **HVLP-Spritzen**

Das Niederdruck-Spritzlackieren (HVLP) stellt ein oversprayarmes Spritzverfahren dar, das Auftragswirkungsgrade bis zu 65 % aufweist. Derartig hohe Wirkungsgrade sind hauptsächlich auf den geringeren Feinanteil an Lacktröpfchen im Spritzstrahl zurückzuführen. Gegenüber dem Hochdruck-Druckluftspritzen sind bei optimalem Einsatz des Verfahrens Lackeinsparungen bis zu etwa 20 % möglich. Aufgrund der etwas größeren Lackzerstäubung kann sich jedoch die optische Oberflächenqualität der Lackschichten verändern. Neben der Autoreparaturlackierung wird das HVLP-Spritzverfahren in den industriellen Bereichen der Holzlackierung und des Maschinenbaus eingesetzt. [ONDRACTSCHEK 2000]

### **Heißspritzen**

Beim Heißspritzen wird das Lackmaterial oder die Druckluft oder beides erwärmt. Eine Erwärmung verleiht sowohl lösemittelhaltigen als auch wasserverdünnbaren Lacken eine höhere Viskosität. Dies führt zu einer deutlichen Reduktion der Lösemittelemissionen, da die Menge an Einstellverdünnung verringert werden kann. Das Erwärmen des Lackmaterials auf max. 70 °C erfolgt direkt im Becher bzw. mit einem Heißlackumlaufsystem oder über ein zirkulierendes Erwärmungsmedium, das den Lack- und den Spritzluftschlauch umströmt. Bei Lackmaterialien, die im Bereich der üblichen Heißspritztemperaturen bereits zu reagieren beginnen bzw. andere Verarbeitungsstörungen zeigen, kann mit speziellen Durchlauferhitzern auch die Spritzluft erwärmt werden. Durch die Erhöhung der Lacktemperatur können dickere Lackschichten, ohne Läuferbildung mit einer geringeren Anzahl an Spritzgängen als beim Kaltspritzen, erreicht werden. [ONDRACTSCHEK 2000] Nachteilig ist die erneute erforderliche Erwärmung beim Farbwechsel. Bei häufigem Farbwechsel ist das Verfahren nicht anwendbar.

### **CO<sub>2</sub>-Zerstäubung (Unicarb-System)**

---

Bei diesem Verfahren werden die leichtflüchtigen Lösemittel des Lacksystems durch CO<sub>2</sub> ersetzt, das dem hochviskosen Lackkonzentrat bei der Verarbeitung zudosiert wird. Das Lack/CO<sub>2</sub>-Gemisch wird bei ca. 100 bar und 40-70 °C mit einem Airless-ähnlichen Spritzverfahren zerstäubt, wobei durch die schnelle Verdunstung des CO<sub>2</sub> nach dem Düsenaustritt ein glockenförmiger Spritzstrahl mit geringen Tröpfchengeschwindigkeiten als beim normalen Airless-Spritzen entsteht. Erste Betriebserfahrungen aus verschiedenen Branchen, vor allem aus den USA, berichten von erheblichen Lackeinsparungen und VOC-Emissionsminderungen bei qualitätsgerechten Beschichtungen. [ONDRATSCHEK 2000]

### **III.2.2 Airlesszerstäubung**

Bei der Airlesszerstäubung (Druckzerstäubung) erfolgt die Zerstäubung durch Reibung des Farbstrahls an der Umgebungsluft. Dabei wird Luft in den Spritzstrahl eingesogen, durch die ein Teil der Tröpfchen als Verlust ausgetragen wird. Die Zerstäubung erfordert eine hohe Beschleunigung des Farbstrahls und damit sehr feine Düsen (Düsenbohrungen sehr geringen Durchmessers (< 0,2 mm) sind allerdings nicht verwendbar). Ein schneller Farbwechsel ist wegen der notwendigen Hochdruckpumpen nicht möglich.

Airless-Zerstäubungsverfahren werden in der Regel in Industriebereichen angewandt, in denen größere Lackdurchsätze üblich sind, wie beispielsweise in der Großobjektlackierung wie Flugzeuge, Schiffe oder Großmaschinen. Auch für dieses Verfahren müssen die Lackverarbeitungsbedingungen angepasst werden, um eine ähnliche Oberflächenqualität wie bei Hochdruck-Spritzverfahren zu ermöglichen. Die gleichen Eigenschaften sind bei dem Airmix-Verfahren zu verzeichnen, wobei die Anwendung sind u.a. auf die Lackierung im Maschinenbau und der Möbelindustrie beschränkt. Alle genannten Verfahren können entweder manuell oder automatisiert realisiert werden. Die Auftragswirkungsgrade für die Niederdruck-, Airless- und Airmix-Spritzverfahren betragen ca. 5 % für gitterartige Teile und etwa 60 bis 70 % für großflächige Teile. [ONDRATSCHEK 2000]

### **III.2.3 Elektrostatisches Spritzen**

Beim elektrostatischen Lackieren wird zwischen dem hochspannungsführenden Spritzgerät und dem an Erdpotential liegenden Werkstück ein elektrisches Feld erzeugt. Daraus ergeben sich die nachfolgenden Vorteile hinsichtlich Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit:

- geringerer Lackverbrauch, weniger Emissionen, weniger Lackschlammfall, geringere Verschmutzung der Lackierkabine

- 
- verbesserte Möglichkeit zur Automatisierung des Lackierprozesses, schnellere Beschichtung, d.h. höhere Produktivität
  - geringerer Luftdurchsatz (Energieeinsparung)

Unerwünschte Effekte und Grenzen beim elektrostatischen Lackieren umfassen im Wesentlichen die Überbeschichtung bzw. Läufergefahr an Werkstückkanten sowie in Innenecken und Hohlräumen aufgrund der Lackkonzentration an diesen Werkstückstellen. Unterschiedliche elektrostatische Spritzverfahren, die im folgenden kurz erläutert werden, befinden sich im Einsatz.

### **III.2.4 Elektrostatisch zerstäubende Verfahren**

Bei diesen Verfahren erfolgt die Zerstäubung des Lackmaterials durch elektrische Feldkräfte. Der Lack wird als dünner Film einer an Hochspannung liegenden Kante zugeführt. Die hohen auf die Lackfilmoberfläche einwirkenden Feldkräfte führen zu elektrisch aufgeladenen Tröpfchen und der Tröpfchentransport zum Werkstück erfolgt mit dem gleichen elektrischen Feld, der die Zerstäubung bewirkt. Drei Ausführung dieses Verfahren können genannt werden:

- Der *Sprühspalt*, der für Teile ohne Vertiefungen geeignet ist. Der Lackdurchsatz ist auf 2 bis 3 ml/min pro cm Sprühkantenlänge beschränkt. Die Farbwechselzeit bei dieser Verfahrensvariante ist relativ hoch (etwa 30 Minuten). Der Auftragswirkungsgrad beträgt bis zu 99 %, je nach Werkstückgeometrie und Verarbeitungsparameter.
- Die *Sprühglocke*, die für Rohrkonstruktionen und Kleinteile mit geringen Vertiefungen geeignet ist. Je nach Glockengröße sind Lackdurchsätze bis zu 250 ml / min möglich. Farbwechsel erfolgen innerhalb einiger Minuten und der Auftragswirkungsgrad ist ebenfalls sehr gut (bis zu etwa 95 % je nach Werkstückgeometrie und Verarbeitungsbedingungen).
- Die *Sprühscheibe*, die ebenfalls für Rohrkonstruktionen und Kleinteile, aber mit ausgeprägten Vertiefungen geeignet ist. Mögliche Lackdurchsätze betragen bis zu 800 ml/min je nach Scheibengröße. Die Farbwechselzeit und der Lackauftragswirkungsgrad sind ähnlich wie bei der Sprühglocke.

Nachteil dieser Lackapplikationstechnologie ist, dass nur eine eingeschränkte Bandbreite an Lackmaterialien einsetzbar ist; Wasserlacke können auf keinen Fall mit elektrostatisch zerstäubende Spritzverfahren verarbeitet werden. Aufgrund dieser Einschränkung und des

---

begrenzten Lackdurchsatzes werden die elektrostatisch zerstäubenden Verfahren heute nur noch in speziellen Fällen eingesetzt werden. Ein vorwiegender Vorteil besteht in den minimalen Lackverlusten und der hohen Zuverlässigkeit der entsprechenden Spritzgeräte. (vgl. [KLEBER 2000])

### III.2.5 Hochrotationsverfahren

Bei Hochrotationsverfahren erfolgt die Zerstäubung des Lacks durch die Einwirkungen mechanischer Kräfte und ist dadurch nahezu unabhängig von den elektrischen Lackeigenschaften. Daher ist gegenüber den elektrostatisch zerstäubenden Verfahren eine wesentlich größere Flexibilität bezüglich der Lackmaterialarten und der Durchsatzmengen zu verzeichnen. Auch hier existieren zwei Verfahrensvarianten (vgl. [KLEBER 2000]):

- Die *elektrostatischen Hochrotationsglocken* werden insbesondere für die Automobilserienlackierung und zunehmend in der Automobilzulieferindustrie und andere Zweigen der industriellen Lackverarbeitung eingesetzt. Wasserlacke können mittels Hochrotationsglocken verarbeitet werden und Lackdurchsätze bis zu 1.000 ml/min sind möglich. Der Farbwechsel erfolgt innerhalb wenigen Sekunden und der Lackmaterialnutzungsgrad beträgt bis zu 95 %. Die Applikation erfolgt mittels elektrostatischer Hochrotationszerstäubung (vgl. Abbildung 2-4, Kapitel 2). Der Lack wird einer rotierenden Glocke zugeführt; in der Glocke strömt der Lack durch die Zentrifugalkraft zum Rand und wird dort durch die schnelle Drehung zerstäubt. Den Glocken liegt eine Gleichhochspannung von 60.000 bis 80.000 Volt an, so dass die erzeugten Lacktröpfchen elektrostatisch aufgeladen werden und den Feldlinien folgend von der geerdeten Oberfläche angezogen werden. Da die Rotationszerstäubung parallel zur Oberfläche gerichtet ist, müssen die Tröpfchen durch die Wirkung des elektrostatischen Feldes und einer zusätzlichen Lenkluft umgelenkt werden

Bei der Verarbeitung von leitfähigen Lacken (z.B. Wasserlacke) ist eine galvanische Trennung in der Farbzuleitung notwendig. Bei Verwendung von Rotationsglocken mit Auslegerelektroden (Koronaspitzen) ist eine galvanische Trennung nicht erforderlich (geerdete Zuleitung). Bei Speziallacken (z.B. Metallic-Lacken) kann sich eine Veränderung der Farbe und der Oberflächengüte der Lackschicht ergeben.

- Die *elektrostatischen Hochrotationsscheiben* zerstäuben das Lackmaterial wie bei den Hochrotationsglocken mechanisch. Die Eignung für nahezu alle Lackmaterialien (inklusive Lacksysteme auf Wasserbasis), die erzielbaren hohen Lackdurchsatzmengen (bis zu 1.500 ml/min) sowie der hohe Auftragswirkungsgrad (bis etwa 95 %) machen die

---

elektrostatische Hochrotationsscheibe zu einem geeigneten System für die allgemeine Industrielackierung. Typische Anwendungsbeispiele sind Profilteile und Fahrradrahmen.

### **III.2.6 Elektrostatische Druckluft-, Airless- und Airmix-Spritzverfahren**

Bei den *elektrostatischen Druckluft-, Airless-, und Airmix<sup>1</sup>-Spritzpistolen* wird das Lackmaterial durch die gleichen Mechanismen wie bei den konventionellen Pistolen zerstäubt, die Lacktröpfchen werden aber zusätzlich elektrostatisch aufgeladen. Appliziert werden können sowohl konventionelle als auch hochleitfähige Lacksysteme. Der Lackauftragswirkungsgrad liegt bei den elektrostatischen Pistolensystemen in der Regel niedriger als bei den elektrostatisch zerstäubenden und den Hochrotationsverfahren (85 % gegenüber 95 %).

Mittels der Druckluftverfahren können Werkstücke mit komplizierten Geometrien (auch mit Vertiefungen) lackiert werden. Zum Teil erfolgt ein Vor- oder ein Nachspritzen mit Glocken-/Scheibensystemen. Die Lackdurchsätze betragen bis zu 1.000 ml/min je nach Lackverarbeitungsbedingungen. Die Airless- und Airmixverfahren werden eher bei hohem Lackmaterial- und Flächendurchsatz, z.B. in der Möbelindustrie für Teile mit starken Vertiefungen (automatisiertes Lackieren von Fenstern) oder für das beschichteten komplizierter Großteile im manuellen Verfahren eingesetzt. Die Lackdurchsätze sind sehr hoch (bis etwa 3.000 m l / min). Je nach Auslegung der Applikationstechnik (nur eine Pumpe oder eine Pumpe pro Farbton) gestaltet sich der Farbwechsel schnell oder langsamer. (vgl. [KLEBER 2000])

### **III.2.7 Elektrostatische Verarbeitung von Wasserlacken**

Die Zerstäubung von Wasserlacken ist mit elektrischen Feldkräften allein nicht ausreichend fein. Ihre Verarbeitung erfolgt ausschließlich durch Hochrotationszerstäubung oder mit elektrostatischen Druckluft- und Airless-Spritzpistolen (mit und ohne Luftunterstützung). Die verschiedenen anlagentechnischen Lösungen zur Einführung von Wasserlacken, die elektrostatisch verarbeitet werden, sind in [KLEBER 2000] ausführlich beschrieben.

### **III.2.8 Verarbeitung von Pulverlacken**

Bei der Verarbeitung von Lacksystemen auf Pulverbasis wird das Beschichtungsmaterial in Form von Duroplast- oder Thermoplastpulver auf die Werkstücke aufgebracht und durch

---

<sup>1</sup> Airless mit Luftunterstützung

---

Wärmeeinwirkung zu einem geschlossenen Film verschmolzen bzw. (bei Duropoplastpulvern) zusätzlich vernetzt. Dabei ist zwischen zwei Arten von Pulverbeschichtungsverfahren zu unterscheiden:

- Bei den *elektrostatischen Pulverbeschichtungsverfahren* werden die Pulverteilchen aufgeladen und unter dem Einfluss elektrischer Feldkräfte zum geerdeten Werkstück transportiert, wo sie aufgrund der Coulombkräfte anhaften. Durch anschließendes Erhitzen der Werkstücke schmilzt die Pulverschicht auf bzw. vernetzt zur fertigen Beschichtung. Das heute weitaus bedeutendste Verfahren dieser Art ist das elektrostatische Pulversprühen (EPS), bei dem das Pulver mittels Luft mit elektrostatischen Sprühorganen auf das Werkstück gesprührt wird. Speziell für Kleinteile geeignet sind die elektrostatischen Wirbelbadverfahren, bei denen die Werkstücke nicht direkt besprührt, sondern innerhalb einer Kammer bzw. über einem sog. Fluidisierbecken in einer Wolke aus aufgeladenem Pulver beschichtet werden.
- Bei den *Pulversinterverfahren* werden die Werkstücke bereits vor der Beschichtung bis über die Schmelztemperatur des Pulvers erhitzt. Beim Kontakt mit dem heißen Werkstück sintert das Pulver an und verschmilzt bzw. vernetzt anschließend zu einer glatten Kunststoffschicht. Nach diesem Prinzip arbeiten eine ganze Reihe von Pulverbeschichtungsverfahren; am weitesten verbreitet ist das sogenannte Wirlsintern.

Entsprechende ausführliche Informationen und anlagentechnische Ausführungen sind in [STROHBECK 2000] dokumentiert.

### **III.3 Abscheidung bzw. Rückgewinnung von Lackoverspray aus Spritzlackieranlagen**

Bei der Spritzlackierung erfolgt die Nass- oder Trockenabscheidung des Overspray meist in Lackerkabinen mit Hilfe von Zu- und Abluftanlagen. Die Auswahl des geeigneten Verfahrens hängt im Wesentlichen von der Art und Menge des verarbeiteten Lackmaterials, dem Lackapplikationsverfahren und entsprechenden Auftragswirkungsgrad und den wirtschaftlichen Auswirkungen ab. [KLEIN 2000]

#### **III.3.1 Nassabscheidung**

Bei der Nassabscheidung werden die Lackpartikel aus dem Overspray in der Spritzkabine durch Luftströmung an das Kabinenwasser gebunden und der Lackschlamm-Abscheidung zugeführt. Ein kontinuierlicher Lackschlammaustrag ist für Spritzkabinen Stand der Technik.

---

Die Standzeit des Kabinenwassers wird dadurch verlängert und der Frischwasserverbrauch sowie das Abwasseraufkommen erheblich reduziert. Üblicherweise kommen für die Auswaschung Venturi-Systeme zum Einsatz. Der ausgetragene Lackschlamm enthält 10 bis 20 % Feststoffe. Zur Reduzierung der Entsorgungskosten sind Entwässerungseinrichtungen wie Zentrifugen oder Dekanter erforderlich.

Die Nassabscheidung eignet sich für die Verarbeitung von großen Lackmengen. Im Vergleich zu der Trockenabscheidung sind in diesem Fall keine zeitaufwändige Entlackungsvorgänge von Prallblechen und kein Austausch von Filtermatten erforderlich. Ein Mehrschichtbetrieb ohne Unterbrechungen ist dadurch möglich. Nach dem Stand der Technik werden in Nass-Spritzkabinen zumindest die wasserbeaufschlagten Bauteile aus Edelstahl gefertigt, so dass auch Wasserlacke ohne Korrosionsgefahr verarbeitet werden können. Bei der Verarbeitung von lösemittelhaltigen und wasserverdünnbaren Lacksystemen in der gleichen Anlage können Koagulierungsprobleme auftreten. [KLEIN 2000]

### **III.3.2 Trockenabscheidung**

Lackierkabinen, die mit einer Trockenabscheidung ausgerüstet sind, finden meist Einsatz in Lackieranlagen mit geringem Lackeinsatz. In manchen Fällen werden sie als kombinierte Spritz- und Trocknungskabinen gebaut, in denen lackiert und forciert getrocknet werden kann. Die Vorteile der Trockenabscheidung umfassen:

- der Verzicht auf Chemikalien zur Entklebung und Koagulierung der abgeschiedenen Lackpartikel,
- niedrige Betriebskosten beim Einsatz von geringen Lackmengen.

In der Regel verfügen die neueren Spritzkabinen über Wärmerückgewinnungseinrichtungen zur Einsparung von Energiekosten für die Frischluftaufheizung. Die Entsorgung des Oversprays erfolgt durch Entlacken der Prallbleche und Austauschen der beaufschlagten Filtermatten. Die Aufnahmekapazität von Filtermatten beträgt je nach Fabrikat ca. 2,5 bis 3,5 kg/m<sup>2</sup> Filterfläche. Je nach Lacksystem und Entsorgungsvorschriften müssen die beaufschlagten Filtermatten als Hausmüll oder Sondermüll entsorgt werden. [KLEIN 2000]

### **III.3.3 Rückgewinnungsverfahren**

Die Rückgewinnung und Wiederverwendung von Lackpartikeln aus Overspray gewinnt zunehmend an Bedeutung. Derartige Anlagen werden vorwiegend in der industriellen Lackierung von Holz- und Holzwerkstoffen (z.B. Möbelindustrie, Fenster- und Türrahmen)

---

und in der industriellen Metallteilelackierung (z. B. Automobilzulieferindustrie, Regal- und Möbelteile) eingesetzt.

Das Lackmaterial muss recycelbar sein und der recycelte Lack muss entweder separat einsetzbar sein oder durch Zugabe von Frischlack der Anwendung zugeführt werden. Dafür muss der anfallende Overspray Sauberkeit und Sortenreinheit sowie eine ausreichende Menge aufweisen. Je nach eingesetztem Verfahren und Anlagenkonzept zeigen Praxisergebnisse, dass etwa 60 bis 97 % des Oversprays zurückgewonnen werden kann. Dabei bieten Lacksysteme auf Wasserbasis erfahrungsgemäß die besten Voraussetzungen zur direkten Rückgewinnung von Lackoverspray.

Für ausführlichere Informationen bezüglich unterschiedlicher Lackrückgewinnungsanlagen sei auf [KLEIN 2000] verwiesen.

---

## **Quellenverzeichnis**

### **[BAUMGÄRTNER 2000]**

BAUMGÄRTNER, O.: *Tauchen/Elektrotauchen*, in: Besser lackieren, Jahrbuch 2001, Vincentz Verlag, Hannover 2000

### **[EICHHORN 2000]**

EICHHORN, J.: *Nasslack-Beschichtungsverfahren*, in: Besser lackieren, Jahrbuch 2001, Vincentz Verlag, Hannover 2000

### **[KLEBER 2000]**

KLEBER, W.; STROHBECK, U.: *Elektrostatisches Sprühen von Flüssiglack*, in: Besser lackieren, Jahrbuch 2001, Vincentz Verlag, Hannover 2000

### **[KLEIN 2000]**

KLEIN, W.; ONDRATSCHEK, D.: *Abscheidung/Rückgewinnung von Lackoverspray aus Spritzlackieranlagen*, in: Besser lackieren, Jahrbuch 2001, Vincentz Verlag, Hannover 2000

### **[ONDRATSCHEK 2000]**

ONDRATSCHEK, D.: *Spritzlackieren ohne elektrostatische Lackaufladung*, in: Besser lackieren, Jahrbuch 2001, Vincentz Verlag, Hannover 2000

### **[STROHBECK 2000]**

STOHBECK, U.: *Pulverbeschichten*, in: Besser lackieren, Jahrbuch 2001, Vincentz Verlag, Hannover 2000

### **[VDI 3462]**

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *Emissionsminderung - Holzbearbeitung und -verarbeitung - Bearbeitung und Veredelung des Holzes und der Holzwerkstoffe (VDI 3462)*, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, in: VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3, Düsseldorf, Oktober 1996

---

## **Anhang IV:**

### ***Trocknungsverfahren***

---

Der Übergang des noch flüssigen bzw. pulverförmigen Lackmaterials in den festen Zustand kann durch rein **physikalische Trocknung**, (physikalische Filmbildung, die darin besteht, dass in dem Lack enthaltene Filmbildner durch das Verdunsten der Lösemittel vernetzen) als auch durch **chemische Vernetzung** (z.B. durch Polymerisation, Polykondensation, Polyaddition) oder auf einer Kombination der beiden beruhen. Beim Trocknen und Härteten wird dem Lackiergut direkt oder indirekt Wärme zugeführt. Im Folgenden wird eine Übersicht über die in der Lackverarbeitung gebräuchlichsten Trocknungsverfahren gegeben [BROCK 1998]:

- Trocknung bei Raumtemperatur (Umgebungstemperatur),
- forcierte Trocknung (bis ca. 80 °C),
- Einbrennen (üblicherweise 100 bis 200 °C)<sup>1</sup>,
- Strahlungshärtung (IR-, UV- und Elektronenstrahlhärtung).

## IV.1 Trocknen mittels Wärmeträger Luft (Umluft)

Bei diesem Verfahren überträgt ein zirkulierender Heißluftstrom seinen Wärmeinhalt dem lackierten Gegenstand durch Wärmeaustausch. Der Energieverbrauch ist stark abhängig von den Wärmeverlusten der Trockneranlagen. In der Regel betragen die zusätzlichen Energiekosten für die Trocknung etwa 2 - 5 % von Gesamtenergieeinsatz einer Lackierstrasse in der Automobilindustrie [ONDRACTSCHEK 2002]. Mittels der Umlufttrocknung können sämtliche wärmehärtenden, lösemittelhaltigen und -freien Lacksysteme getrocknet werden. Dabei hängt die Trocknungszeit vom Lacksystem, der applizierten Schichtdicke und der Wärmekapazität des Gegenstandes ab. Hinsichtlich der lackierten Werkstücke sind alle wärmeunempfindlichen Substrate für die Umluft-Trocknung geeignet. Aufgrund potentieller, thermischer Beschädigungen und möglicher Verformungen sind Holz- und Kunststoff-Werkstücke nur bedingt auf diese Weise trocknungsfähig.

---

<sup>1</sup> Zu einer eindeutigen Charakterisierung der Einbrennbedingungen gehört nicht nur eine Angabe der Einbrenntemperatur, sondern auch die Angabe, ob die *Ofen-* oder die *Objekttemperatur* gemeint ist. Die Objektgeometrie und -masse beeinflussen, in welchem Ausmaß die tatsächliche Objekt-Oberflächentemperatur hinter der Temperatur der Umgebung zurückbleibt.

Tabelle IV-1: *Trocknungsverfahren mittels Luft* [Ondratschek 2002]

| Trocknungs-<br>verfahren                   | Verfahrens-<br>beschreibung  | Anwendung  |   |  |
|--|--|--|---|--|
|  |  | Lack   | Werkstück   | Anlagen  |
| Trocknen mittels Wärmeträger Luft (Umluft) | Wärmeübertragung durch zirkulierenden Heißluftstrom<br><br>(ca. 2 – 5 m/s) | Warmhärtende lösemittelhaltige und lösemittelfreie Lacke, keine Begrenzung der Schichtdicke und Pigmentierung, Trocknungszeit hängt von Lacksystem, Schichtdicke und Wärmekapazität des Werkstücks ab. | wärmeun-empfindliche Grundmaterialien, bedingt geeignet für Kunststoffe und Holz (thermische Schädigung und Verformung), alle Werkstückformen | Großer Platzbedarf, lange Trockenzeiten<br><br><u>Anlagenteile:</u><br>Beheizungseinrichtung, Frisch- und Umluftfilterung, Luftführung und ggf. Abluftreinigung<br><br>z.T. Entfeuchtungseinrichtungen für Umluft:<br>Hydrextröckner<br><br><u>Energiebedarf:</u><br>Ca. 2 – 5% vom Gesamtenergieeinsatz |

Für die Antrocknung von Lacksystemen auf Wasserbasis oder für die Vortrocknung von Nass-in-Nass-Schichtaufbauten wird entfeuchtete Luft eingesetzt. (vgl. [ORTLIEB 2000]) Dazu können auch sog. **Hydrextröckner**, Konvektionstrockner mit zusätzlicher Luftentfeuchtung, eingesetzt werden. Die Aufnahme von Wasser aus wasserverdünnbarem Lack wird dabei erhöht und die Trockenzeit deutlich verkürzt.

Umlufttrockner werden wegen ihren universellen Einsatzmöglichkeiten für unterschiedlich geformte und dimensionierte Teile häufig eingesetzt. Durch die gleichmäßige Aufheizung ist zudem die Gefahr des „Überbrennens“, also der Schädigung der Lackfilm- oder Substratoberfläche durch lokale Überhitzung, auch bei kurzfristigem Stillstand der Förderanlage, sehr gering. [BROCK 1998]

Außer zum Trocknen bzw. Härteten von Lacken werden Trockneranlagen auch eingesetzt als:

- Haftwassertrockner nach Vorbehandlungen und Spülzonen,

- 
- Geliertrockner zum Verfestigen von z.B. Unterbodenschutz auf Plastisol-Basis sowie Klebstoffen sowie als
  - An- und Vorwärmertrockner (gegen kalte Oberflächen oder Lufteinschlüsse, z.B. bei der Holzlackierung).

## IV.2 Infrarot-Strahlungstrocknung

Bei der Infrarot-Trocknung wird das beschichtete Werkstück durch Absorption von Infrarot-Strahlung erwärmt. Die Energie bzw. Intensität der Infrarotstrahlung (IR) hängt dabei vom Wellenlängenspektrum und damit von der Strahlertemperatur ab. Die Adsorption ist abhängig von der Oberflächenglättung der Beschichtung, der Farbe bzw. Helligkeit sowie der chemischen Zusammensetzung des Beschichtungsstoffes. Da durch die Strahlungswärme ebenso wie bei der Umlufttrocknung Lösemittel freigesetzt werden, müssen diese ebenfalls durch Luft abgeführt werden; das bedeutet, dass auch hier mit einer geeigneten Frischluftzufuhr gearbeitet werden muss.

Tabelle IV-2: *Trocknung mittels Infrarotstrahlung* [ONDRADSHECK 2002]

| Trocknungsverfahren                | Verfahrensbeschreibung  | Anwendung                                  |  |  |
|------------------------------------|---|--|--|--|
|                                    |   | Lack                                       | Werkstück  | Anlagen  |
| Trocknen mittels Infrarotstrahlung | Elektromagnetische Wellen:<br>$\lambda=1\mu\text{m} - 1\text{ mm}$ ,<br>Adsorption der Strahlung an oder in der Lackschicht und evtl. Grundmaterial<br><br>Trocknung von innen nach außen | z.B. geeignet für Pulverlacke, Wasserlacke | Problemlose Trocknung direkt bestrahlbarer Flächen.<br><br>Lack kann höhere Temperatur annehmen, als das Grundmaterial, geringere Aufheizung des Werkstückes und kürzere Abkühlzeiten, geringerer Energieverbrauch | <u>Grundkomponenten:</u><br>-Strahlungstrockner<br>-Ablufterfassung<br>-Durchlaufanlagen |

---

Die Vorteile der IR-Strahlungstrocknung umfassen [BROCK 1998]:

- Schnelle Aufheizung der lackierten Werkstücke, da in kürzerer Zeit mehr Energie übertragen werden kann als bei der Umlufttrocknung;
- schnelle Rückkühlung, da die Wärme bei kurzer Beanspruchung nicht tief in den Untergrund eindringt;
- geringer Energieaufwand;
- geringe thermische Belastung des Werkstückes;
- relativ geringe Investitionen und einen geringen apparativen Aufwand;
- gute Steuerbarkeit der Objekttemperatur über die Leistung/Intensität der IR-Strahler sowie
- die Trocknung der Lackschicht von innen nach außen.

Neben der Umlufttrocknung bietet die IR-Trocknung den breitesten Anwendungsbereich. Ein Beispiel für den Einsatz der IR-Technik ist die Vortrocknung von Basislackschichten (Naß-in-Naß-Verfahren) und Lackschichten auf Wasserbasis in der Automobilserienlackierung (vgl. Kapitel 2, Teilband Lackanwendung). Zunehmend wird die IR-Trocknung auch für die Aushärtung von Decklackschichten eingesetzt. Bei manchen Lacksystemen lassen sich die Eigenschaften der Lackoberflächen (z.B. Glanz, Blasenbildung) durch genaues Einstellen nach Temperatur/Zeit-Kurven positiv beeinflussen. Zudem steht mit der IR-Trocknung eine Technik zur Verfügung, die bei einer hohen Wärmeübertragungsleistung eine schnelle und berührungslose Erwärmung der zu trocknenden Lackschicht gewährleistet.

Ein zu erwartender Trend ist die Zunahme der IR-Trocknung bei der Verarbeitung von Pulverlacken. Bereits heute werden *Pulverlacksysteme* mit nahem Infrarot (NIR) vernetzt. Je nach Anwendung als ein- oder zweistufiger Prozess, ist der komplette Schmelz- und Vernetzungsvorgang am Bauteil innerhalb von 1 - 5 Sekunden abgeschlossen. Daher eignet sich dieses Trocknungsverfahren besonders für temperaturempfindliche Materialien wie Kunststoffe und Holz.

Derzeit wird die NIR-Trocknung für wasserverdünnbare Systeme bei der Holzlackierung eingesetzt.

Für detailliertere Informationen zur Infrarot-Trocknung, s. beispielsweise [ORTLIEB 2000, WOLLENWEBER 2000]

## IV.3 UV-Trocknung

Als Quellen für ultraviolette Strahlung bei der UV-Trocknung dienen elektrische Entladungen in Gasen; am häufigsten werden dazu Quecksilberdampflampen verwendet. Die UV-Trocknung löst eine chemische Vernetzungsreaktion in der Lackschicht aus. Als Bindemittel eignen sich besonders ungesättigte Polyester, Epoxide, Vinylether und Acrylate.

Tabelle IV-3: *Trocknung mittels UV-Strahlung* [ONDRADESCHECK 2002]

| Trocknungsverfahren                  | Verfahrensbeschreibung   | Anwendung  |  |  |
|--------------------------------------|--|--|--|--|
|                                      |  | Lack   | Werkstück  | Anlagen  |
| Trocknen mittels Ultraviolettrahlung | Absorption von UV-Strahlung,<br>Wellenlänge :<br>$\lambda=0,32 - 0,4 \mu\text{m}$ ,<br><br>Fotochemische Zerfallsreaktion von Fotoinitiatoren im Lackmaterial und Kettenpolymerisation des Bindemittels (Dauer: Wenige Sekunden) | z.B. ungesättigte Polyester, Acrylatsysteme, Dickschichtsysteme für Klar- u. Lasurenlacke, | Trocknung nur auf der direkt bestrahlbaren Oberfläche, geringe Aufheizung des Werkstücks | <u>Grundkomponenten:</u><br>- Hg- Strahler (80 – 240 W/cm <sup>2</sup> ),<br>- Ozonabsaugung |

Vorteilhaft ist die sekundenschnelle Aushärtung speziell formulierte Farben und Lacke auf Kunststoff-, Metall-, Holz-, Glas- und Papiersubstraten (vgl. [GLASURIT 1984, GARRATT 1996]). Dabei werden die Polymerisationsprozesse durch die Absorption von UV-Strahlung initiiert. Auf diese Weise lassen sich u.a. Acrylatsysteme, ungesättigte Polyesterharze, Melamin- oder Harnstoffharze härten. Die Trocknung verläuft ohne nennenswerte Erwärmung der Lackschicht. Dadurch kann eine schnelle und energiesparende Härtung von Lackschichten auf wärmeempfindlichen Substraten erreicht werden. Aufgrund der erreichbaren hohen Vernetzungsdichte kann eine sehr gute Beschichtungsqualität (Härte, Abriebfestigkeit) erzielt werden. Ein weiterer Vorteil der UV-Trocknung besteht in dem geringeren Platzbedarf (etwa 20 %) im Vergleich zu konventionellen Umluft- Trocknungsanlagen.

Erfahrungsgemäß werden beim Einsatz von UV-Nasslack-Anlagen die Energiekosten im Vergleich zu konventioneller Trocknungstechnik um etwa 70 % reduziert. Für die UV-Trocknung bei Pulveranlagen liegen im Bereich der Metallbeschichtung derzeit keine

Erfahrungswerte für Großserienanlagen vor. Jedoch wird zu diesem Zeitpunkt von einer Minderung von ca. 30 bis 50 % des Energieaufwandes bei der UV-Trocknung von Pulverlacken gegenüber konventioneller thermischer Trocknung von Pulverlacken ausgegangen. [WIMSCHNEIDER 2000]

In Tabelle IV-4 ist ein Vergleich zwischen konventionell trocknenden Lacksystemen und UV-härtenden Lacksystemen dargestellt.

**Tabelle IV-4:** Vergleich der Eigenschaften von konventionell trocknenden und UV-härtenden Nass- und Pulverlacksystemen [WIMSCHNEIDER 2000]

| Parameter                | UV-Nasslack                                    | UV- Pulverlack  | Wasserlack  | Pulverlack  |
|--------------------------|--|---|---|---|
| Trocknungstemperaturen   | 50°C   | 70°C - 130°C  | bei Raumtemperatur  | 130°C bis > 200°C                                   |
| Trocknungszeit           | sehr kurz (5 – 25 sec)                         | Kurz (1 - 2 min)  | lang (10 min und mehr)  | lang (5 min und mehr)                               |
| Materialausnutzung       | sehr gut (bis 99 % bei Walzenauftrag)          | sehr gut (bis 99 %)   | Mäßig - hohe Oversprayverluste  | sehr gut (bis 99 %)                                 |
| Energiebedarf            | sehr gering                                    | Gering  | mittel bis hoch   | mittel bis hoch                                     |
| Korrosionsschutz         | Gut  | k.A.  | gut bis sehr gut  | gut bis sehr gut                                    |
| Chemikalienbeständigkeit | Gut  | k.A.  | gut bis sehr gut  | gut bis sehr gut                                    |
| Anlagentechnik           | Kompakte, unproblematisch, geschlossene Anlage | komпakte Anlagen, bisher wenig Großserien-erfahrung   | konventionelle Anlagentechnik; hoher Trocknungs-aufwand, Oversprayverlust | konventionelle Anlagentechnik hoher Einbrennaufwand |
| Einsatzmöglichkeiten     | Geeignet für Serieneinsatz, Außen-beschichtung | geeignet für Serieneinsatz; für Innen-beschichtung und Hinter-schneidungen bedingt geeignet | Universell  | Universell  |

k.A.: keine Angabe

Die Nachteile dieser Härtungstechnologie bestehen darin, dass etwas höhere Lackrohstoffpreise gegenüber anderen Lacksystemen und relativ hohe Aufwendungen hinsichtlich der Arbeitssicherheit (bedingt durch die Strahlung und die eingesetzten Materialien) zu verzeichnen sind [BROCK 1998]. Für die Aushärtung von flachen zweidimensionalen Werkstücken mit UV-Trocknungsanlagen sind keine technischen Schwierigkeiten zu beobachten. Problematischer erweist sich die Anwendung der UV-Trocknungstechnologie für dreidimensionale Teile. Derzeit sind jedoch UV-Härtungssysteme auf dem Markt, die es

---

ermöglichen, sogar pulverlackierte 3D-Teile bei einer guten Oberflächenqualität für Holz- und Kunststoffuntergründe zum Aushärten zu bringen [FUSION 2000].

Die UV-Trocknung findet v.a. bei der Beschichtung von Kunststoffen und Holzwerkstoffen mit Flüssiglacken Anwendung. Die UV-Trocknung eignet sich für die schnelle Härtung größerer Flächen bzw. Stückzahlen, ist aber nicht anwendbar bei komplex geformten Werkstücken mit für die Strahlung unzugänglichen Bereichen. Ein Vernetzungsdefizit infolge von Schattenbildung kann nicht durch Wärme oder anschließende Lagerung ausgeglichen werden, die Oberfläche muss direkt bestrahlbar sein. Bei pigmentierten Lacksystemen kann die UV-Härtung bei höheren Schichtdicken Schwierigkeiten, aufgrund der UV-Absorption an Pigmenten, gestört werden. Ein neueres Gebiet für die UV-Strahlungstrocknung stellt die Pulverlackierung von wärmeempfindlichen Substraten, wie Holz, Spanplatten und Kunststoffen, dar. In der Regel wird das aufgetragene Pulver zunächst mittels IR-Strahler geschmolzen und anschließend UV-vernetzt. [BROCK 1998]

In vielen Anwendungsfällen kommen lösemittelfreie UV-härtende Lacksysteme mit einem Festkörperanteil von nahezu 100 % zum Einsatz. Wenn UV-Lacksysteme mit zerstäubenden Verfahren aufgetragen werden, müssen sie zur Einstellung der Verarbeitungsviskosität verdünnt werden. Vor der UV-Härtung muss die Verdünnungsflüssigkeit (organische Lösemittel oder Wasser) durch Erwärmung der Lackschichten auf 60 - 100 °C zum Verdunsten gebracht werden.

Tabelle IV-5 gibt einen Überblick über die derzeitigen Anwendungsbereiche der UV-Härtung.

**Tabelle IV-5: Anwendungsbereiche der UV-Härtung**

| Anwendungsbereich  | Lackschicht                               |
|--|---|
| Lackierung von Brillengläsern und Kfz-Scheinwerferstreuscheiben aus Polycarbonat | Klarlackschicht                           |
| Lackierung von Kfz-Scheinwerferreflektoren aus unterschiedlichen Kunststoffen    | Grundlackschicht (vor der Metallisierung) |
| Lackierung von Elektromotoren und Alu-Felgen                                     | (Pulverbeschichtungen)                    |
| Lackierung von Automobilanbauteilen aus unterschiedlichen Kunststoffen           | Klarlackschicht                           |
| Lackierung in der Holz- und Möbelindustrie (z.B. Fußböden)                       | k.A.                                      |

k.A.: keine Angabe

Detaillierte Informationen über die UV-Trocknungstechnologie sind [KLEIN 2000] zu entnehmen.

---

## IV.4 Trocknung durch Elektronenstrahlen

In diesem Verfahren erfolgt die Trocknung durch das Anlegen einer Spannung an eine Glühkathode. Durch das Auftreffen von Elektronen auf Monomere findet eine Polymerisation statt, die zur Härtung der Lackschicht führt. Auf diese Weise werden ungesättigte Polyester, Polyurethan, Epoxydharze, Polyethylen, PVC, etc. ausgehärtet. Im Wesentlichen eignet sich dieses Verfahren für sämtliche lackierte Substrate und Geometrien; die erzielbare Oberflächenqualität ist gut. Dieses Trocknungsverfahren hat einen sehr geringen Platzbedarf. Die Investitionen sind aufgrund der Einrichtung (Elektronenbeschleuniger, Inertgasanlage, Strahlenschutzeinrichtungen, Lüftungseinrichtungen und vor allem Arbeitssicherheitsmaßnahmen) sehr hoch im Vergleich zu einem konventionellen Trocknungsverfahren. Die Energiekosten hingegen sind relativ gering. (vgl. [ORTLIEB 2000])

## IV.5 Trocknung durch Induktion

Beim Induktionsverfahren wird das metallische Werkstück durch induzierte Wirbelströme erwärmt. Sämtliche wärmehärtenden Lacksysteme können getrocknet werden. Das Verfahren wird z.B. in der Automobilindustrie verwendet, um warmhärtende Klebstoffe zu trocknen.

## IV.6 Trocknung durch Mikrowellen

Die **Trocknung mit Mikrowellen** (Mikrowellen- und Hochfrequenztrocknung) beruht auf der Nutzung elektromagnetischer Wellen zur Lackerwärmung. Dieses Verfahren findet vorwiegend für Lacksysteme auf Wasserbasis und nur für nicht-metallische Grundmaterialien Anwendung. (vgl. [BROCK 1998, ORTLIEB 2000]) Bei der Mikrowellen- und der Hochfrequenztrocknung werden elektromagnetische Wellen mit unterschiedlichen Wellenlängen und unterschiedlichen Frequenzbereichen verwendet. Bei der Einstrahlung werden die Dipole in Schwingungen versetzt und die Hochfrequenzenergie wird in Wärmeenergie umgewandelt. Dadurch kommt es zu einer sehr schnellen Verdampfung des enthaltenen Wassers. Beide Trocknersysteme sind nur für wasserverdünnbare Lacksysteme geeignet. Das freigesetzte Wasser muss abgeführt werden. Mikrowellen-Trockner sind stets Kombinationen aus Strahlungsquelle mit den entsprechenden Absauganlagen. In vielen Fällen werden auch Vorschaltzonen (Abdunstzonen) zusätzlich verwendet. Da für die Wirksamkeit und den Wirkungsgrad die Menge der Dipole entscheidend ist, muss auch das Lacksystem auf wasserverdünnbarer Basis entsprechend angepasst werden. Durch die schnelle Verdunstung des Wassers ist die Aufrauung bei Holzoberflächen deutlich geringer.

---

## **IV.7 Zusammenfassung**

In Tabelle IV-6 sind die verschiedenen Trocknungsverfahren zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle IV-6: Anwendungsbereiche der UV-Härtung**

| Trocknungsverfahren           | Praxixanwendung  |   | Anlagen   |
|-------------------------------|--|---|---|
|                               | Beschichtungsstoff   | Werkstück   |   |
| Trocknen mittels Wärmeträgern |  |   |   |
| Luft (Umluft)                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Warmhärtende Systeme, lösemittelhaltig oder lösemittelfrei</li> <li>• Keine Begrenzung der Schichtdicke oder Pigmentierung</li> <li>• Trocknungszeit ca. 3 – 60 min</li> <li>• Einfluss auf Beschichtungsqualität: Temperatur und Zeit, dabei Gefahr von Staubeinschlüssen im noch nassen Lack</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle wärmeunempfindlichen Materialien</li> <li>• Bedingt Kunststoffe und Holz</li> <li>• Alle Werkstückgeometrien trockenbar</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lange Trockenzeiten</li> <li>• Hoher Energiebedarf durch Isolations- und Öffnungsverluste und durch Wärmeaustrag</li> <li>• Hoher Automatisierungsgrad möglich, hohe Flexibilität</li> </ul> |
| Trocknen mittels Strahlen     |  |   |   |
| Infrarotstrahlen              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Warmhärtende Systeme, lösemittelhaltig oder lösemittelfrei, Pulverlacke</li> <li>• Warmhärtende Systeme, lösemittelhaltig oder lösemittelfrei Lösemittelzusammensetzung ist auf Strahlungsenergie abzustimmen</li> <li>• Schnelleres Aufheizen, dadurch kürzere Abkühlzeiten</li> <li>• Keine Begrenzung der Schichtdicke oder Pigmentierung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle wärmeunempfindlichen Materialien</li> <li>• Bedingt transparente Materialien wie Glas und z.T. Kunststoffe und Holz</li> <li>• Schattenbildung an unbestrahlbaren Ecken und Nischen</li> <li>• Lack kann höhere Temperaturen als Untergrund annehmen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verschiedene Strahlerarten für kurz-, mittel-, und langwellige Strahler</li> <li>• Durchlaufanlagen oder programmgesteuerte Anlagen, je nach Flächen- und Trocknungsanforderungen</li> </ul> |
| Ultraviolettsstrahlen         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ungesättigte Polyester, Polyacrylate etc.</li> <li>• Klar- und Lasurenlacke, Dickschichten</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trocknung nur auf den direkt zugänglichen Flächen (vorwiegend Flachteile)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quecksilberstrahler</li> <li>• Geringer Platzverbrauch und Energiebedarf</li> </ul>  |

| Trocknungsverfahren                     | Praxixanwendung  |   | Anlagen  |
|---|--|---|--|
|   | Beschichtungsstoff   | Werkstück   |  |
| Ultraviolettstrahlen                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pigmentierte Lacke, meist nur als Dünnschichten</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Holz, Kunststoff: Vergilbung und Versprödung möglich</li> <li>Verbreitet bei Papier und Kartonagen</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Geringe VOC-Emissionen</li> <li>Ozonabsaugung erforderlich</li> </ul>   |
| Elektronenstrahlen                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ungesättigte Polyacrylate und Polyester etc.</li> <li>Keine Begrenzung der Schichtdicke oder Pigmentierung</li> <li>Keine Photoinitiatoren notwendig</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alle Substrate, teilweise Versprödungsgefahr</li> <li>Schattenbildung</li> <li>Für Papier, Holz, Folien</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sehr geringer Platzbedarf</li> <li>Sehr hohe Investitionskosten (Lüftung, Strahlenschutz)</li> <li>Hoher Automatisierungsgrad</li> <li>Nur für große Flächendurchsätze</li> </ul> |
| Trocknen mittels elektrischer Verfahren |  |   |  |
| Induktive Trocknung                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Warmehärtende Systeme</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ferromagnetische Substarte</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Verfahren in Sonderanlagen (z.B. Aushärtung von Strukturellen Verklebungen in der PKW-Herstellung)</li> </ul>   |
| Mikrowellentrocknung                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wasserverdünnbare Lacke</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nichtmetallische Substrate</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Verfahren in Sonderanlagen (z.B. bei der Holzbeschichtung)</li> </ul>   |

---

## **Quellenverzeichnis**

### **[BROCK 1998]**

BROCK, T.; GROTEKLAES, M.; MISCHKE, P.: *Lehrbuch der Lacktechnologie*, Vincentz-Verlag, Hannover, 1998

### **[DUPONT 2001]**

REKOWSKI, V. (DUPOINT PERFORMANCE POWDER COATINGS, KÖLN); ZIMMERMANN, F. (DUPOINT PULVERLACKE, LANDSHUT): *NIR-Pulverlacke mit Hochgeschwindigkeit härteten*, in: Besser lackieren, Nr. 4, März 2001

### **[FUSION 2000]**

FUSION UV SYSTEMS LTD., UK: *3D-Oberflächen mit UV härteten*, in: Besser lackieren, Nr. 1, Januar 2000

### **[GARRATT 1996]**

GARRATT, P.G.: *Strahlenhärtung*, Vincentz-Verlag, Hannover, 1996

### **[GLASURIT 1984]**

GOLDSCHMIDT, A.; HANTSCHKE, B.; KNAPPE, E; VOCH, G.-F. (HRSG.): *Glasurit-Handbuch: Lacke und Farben*, 11. Auflage, VincentzVerlag, Hannover, 1984

### **[INDUSTRIE 2000]**

INDUSTRIESERVIS GMBH, BRUCKMÜHL: *Pulver mit NIR vernetzen*, in: Besser lackieren, Nr. 1, Januar 2000

### **[KLEIN 2000]**

KLEIN, W.; SCHNEIDER, M: *UV-Strahlungshärtung*, in: Jahrbuch für Lackierbetriebe 2000, Vincentz-Verlag, Hannover, 1999, S. 234-238

### **[ORTLIEB 2000]**

ORTLIEB, K: *Trocknen*, in: Jahrbuch für Lackierbetriebe 2000, Vincentz-Verlag, Hannover, 1999, S. 220-228

### **[ONDRADESCHEK 2002]**

ONDRADESCHEK D.: Jahrbuch besser Lackieren 2002, Vincentz-Verlag, Hannover, 2002 S. 227

### **[SCHNEIDER 2000]**

SCHNEIDER, M: *IR-Strahlungstrocknung*, in: Jahrbuch für Lackierbetriebe 2000, Vincentz-Verlag, Hannover, 1999, S. 229-233

### **[WIMSCHNEIDER 2000]**

WIMSCHNEIDER, H.: *Wesentliche Fortschritte bei der UV-Pulverlackierung von Metall*, in: Journal für Oberflächentechnik, 4/2000, S. 14-16

### **[WOLLENWEBER 2000]**

WOLLENWEBER, S.: *Lacktrocknung mit Infrarot*, in: Journal für Oberflächentechnik, 6/2000, S. 34-36

---

## **Anhang V:**

### ***Prozessnachgeschaltete Maßnahmen zur Minderung von flüchtigen organischen Verbindungen***

---

Nachgeschaltete (“End-of-pipe Technologien“) oder sog. sekundäre Maßnahmen werden zur Beseitigung von flüchtigen, organischen Verbindungen in Abgasen verwendet. Die Verfahren werden eingesetzt, wenn eine grundlegende Verfahrensumstellung auf lösemittelfreie und – arme Einsatzstoffe aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist oder die Lösemittel durch geeignete Techniken zurückgewonnen und im Produktionsprozess wiederverwendet werden können. Im Wesentlichen lassen sich zwei Kategorien von sekundären Emissionsminderungsmaßnahmen unterscheiden:

- Verfahren, die eine Rückgewinnung von VOC aus dem Abgas und deren Wiederverwendung als Lösemittel ermöglichen.
- Verfahren, bei denen eine irreversible Umwandlung der im Abgas enthaltenen VOC in umweltverträglichere Stoffe stattfindet (wie z.B. Nachverbrennungsverfahren oder biologische Verfahren); dazu werden auch Maßnahmen zur Rückgewinnung von Energie gezählt. [KRILL 1996, BRUIJNES 1996]

Abbildung V-1 gibt einen Überblick über verschiedene sekundäre VOC-Emissionsminderungsmaßnahmen. Dabei können die nachfolgenden Verfahren als Standardverfahren betrachtet werden:

- Thermische und katalytische Nachverbrennung,
- Absorption,
- Adsorption
- Biologische Verfahren.

Neben diesen Emissionsminderungsmaßnahmen wird die **Kondensation** zur Abgasreinigung eingesetzt. Die Kondensation ist keine eigenständige Emissionsminderungsmaßnahme, sondern wird in den meisten Anwendungen als Verfahren zur Vorabscheidung von Lösemitteln in Kombination mit weiteren nachgeschalteten Emissionsminderungsverfahren angewendet.

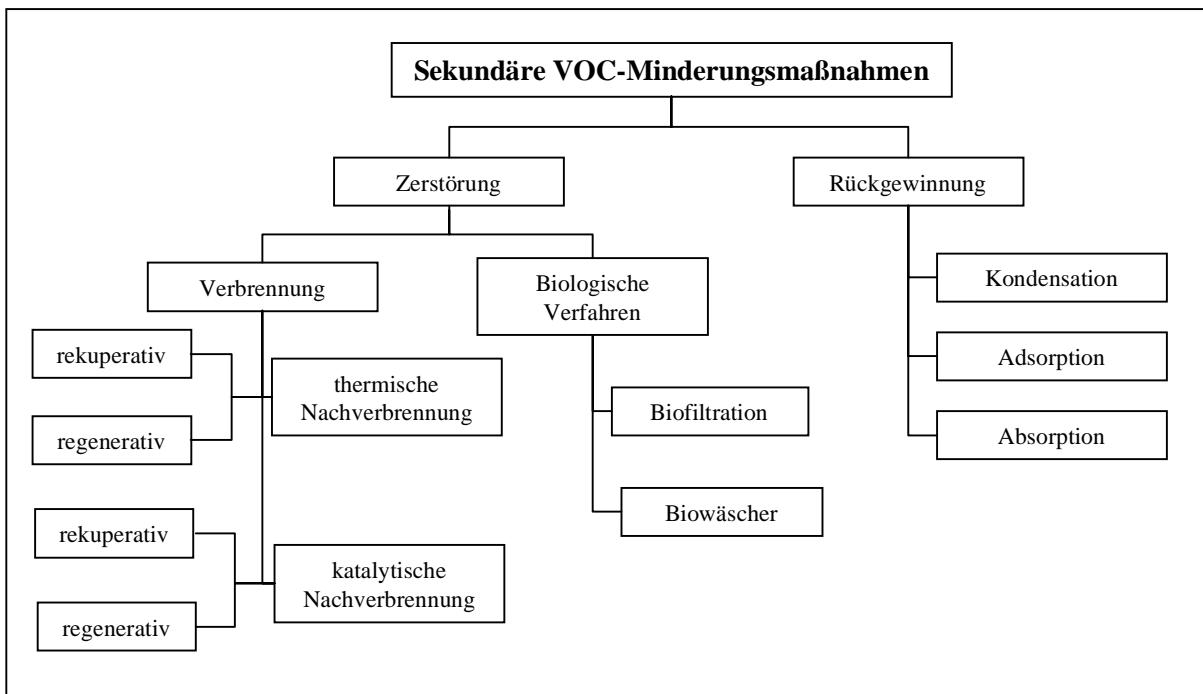


Abbildung V-1: *Sekundäre VOC-Minderungsmaßnahmen*

Die in Abbildung V-1 dargestellten sekundären Emissionsminderungsmaßnahmen werden im Folgenden näher beschrieben. Dabei können v.a. für die Adsorption, Absorption, Kondensation und biologische Oxidation keine allgemeingültigen Reingaswerte<sup>1</sup> angegeben werden; der Wirkungsgrad der Verfahren hängt von der Art der verwendeten Lösemittel und den damit verbundenen spezifischen physikalischen, chemischen und biochemischen Eigenschaften der Stoffe und der jeweiligen Anlagentechnik (z.B. Adsorptions- und Absorptionsmittel, Desorptionsverfahren, Betriebstemperaturen und Drucke oder Population von Mikroorganismen bei biologischen Verfahren etc.) ab.

Relevante Kriterien für die Anwendbarkeit der Emissionsminderungsmaßnahmen sind in der Zusammenfassung, am Ende des Kapitels, dargestellt.

<sup>1</sup> Für exemplarische Werte von Abgasreinigungsanlagen wird auf die in der Fachliteratur beschriebenen Anlagen verwiesen.

---

## 1. Abgasreinigung durch thermische Oxidation

Die thermische Nachverbrennung stellt ein erprobtes Verfahren zur Abscheidung einer breiten Palette von VOC durch thermische Oxidation dar. Sie wird angewendet, wenn eine selektive Abtrennung nicht sinnvoll oder / und eine stoffliche Verwertung im Produktionsprozess nicht erfolgen kann [SCHULTES 1996]. Durch die thermische Oxidation werden die Schadstoffe weitgehend in Kohlendioxid und Wasser umgewandelt. Es entstehen durch den Verbrennungsprozess in geringen Mengen Kohlenmonoxid und Stickoxide. VOC mit Stickstoffverbindungen (z.B. stickstoffhaltige Lösemittel wie N-Methylpyrrolidon) tragen ebenfalls zur Bildung von Stickoxiden bei. Bei der Oxidation von chlorierten Kohlenwasserstoffen entsteht Chlorwasserstoff, der eine zusätzliche Abgasbehandlung erfordert, da es zur Bildung von Dioxinen kommen kann[Carlowitz 2001].

Die thermische Oxidation wird in die **thermische** und **katalytische Nachverbrennung** unterteilt. In Deutschland sind ca. 60 -70 % der sich in Betrieb befindlichen Abgasreinigungsverfahren thermische Nachverbrennungsanlagen [MEHLIS 2001]. In beiden Verfahren erfolgt eine Vorwärmung des Rohgases über den Energieinhalt des Reingases mittels Wärmetauscher. Stand der Technik sind Abscheidegrade von 99,5 – 99,8 % der zugeführten VOC [RENTZ 1999]. Je nach Ausführung des Wärmetauschers können die beiden Verfahren jeweils in **regenerative** und **rekuperative Verfahren** unterteilt werden (vgl. Abbildung V-1). Zum Erreichen oder Halten der Reaktionstemperatur sind im nicht autothermen Betrieb der Anlagen Zusatzbrennstoffe notwendig. Der Bedarf kann durch Vorwärmen des Rohgases im Wärmetauscher verringert werden und hängt ab von [VDI 2442]:

- Der Zusammensetzung des Rohgases,
- dem Gehalt an brennbaren Stoffen,
- der Vorwärmtemperatur des Rohgases,
- und der Reaktionstemperatur.

Als Zusatzbrennstoff werden Heizöl, Erd- oder Stadtgas zugeführt. Als flüssige Brennstoffe eignen sich außerdem z.B. Abfall-Lösemittel. In diesem Fall sind die für Anlagen zur Beseitigung von festen und flüssigen Abfällen geltenden umweltrechtlichen Bestimmungen zu berücksichtigen. Da durch den Brennstoff zusätzliche Emissionen entstehen können, sollen nach Möglichkeit Brennstoffe verwendet werden, die mit geringeren Folgeemissionen gekoppelt sind [VDI 2242]. Zur Reinigung lösemittelbeladener Abgasströme werden v.a. die thermische (rekuperative und regenerative) und katalytische (rekuperativ und regenerative)

---

Abluftreinigung angewendet. Der Anteil der thermisch rekuperativen und katalytischen Nachverbrennung geht allerdings heute zu Gunsten der thermisch regenerativen Nachverbrennung (RNV) zurück [CARLOWITZ 2001]. Die Verfahren sind nachfolgend beschrieben.

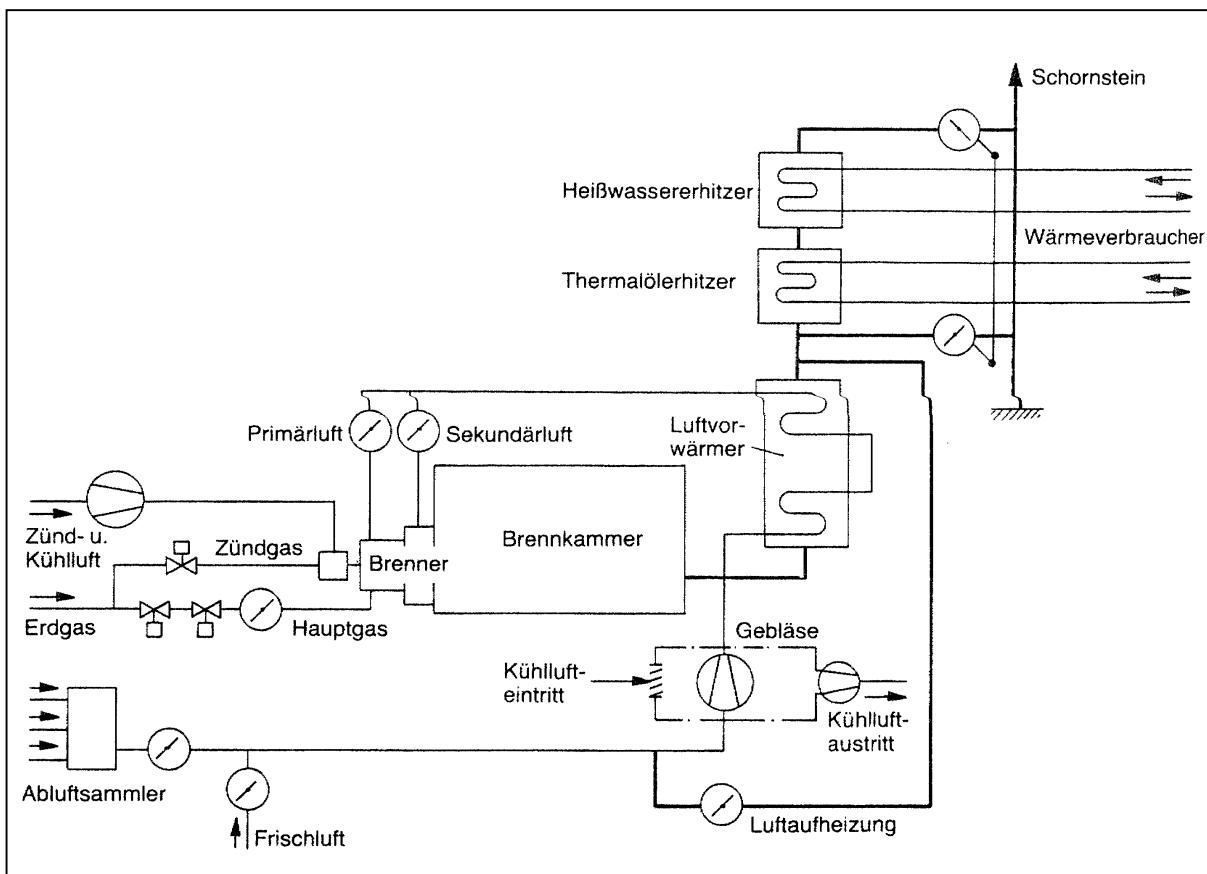
Die Wärmerückgewinnung ist bei den thermischen Verfahren Stand der Technik. Es werden Wärmevernutzungsgrade von 80 – 90 % erreicht.

## **1.1 Thermisch Nachverbrennung mit rekuperativer und regenerativer Abgasvorwärmung (TNV)**

### **1.1.1 Thermisch rekuperative Nachverbrennung (RTO)**

Bei der thermisch rekuperativen Nachverbrennung wird das Rohgas über einen Rohrbündel-Wärmetauscher durch das heiße Reingas vorgewärmt und dann in der Brennkammer bei Temperaturen von 700 – 900 °C, im allgemeinen unter Zugabe von Brennstoff, verbrannt. (Der Verbrennungsprozess kann als sog. Vorabbrand bereits im Wärmetauscher einsetzen). Die Restwärme des Reingases wird häufig mittels Wärmetauscher über Thermalöle oder Heißwasser dem Produktionsprozess zugeführt (vgl. Abbildung V-2).

Abbildung V-2: TNV mit rekuperativer Wärmerückgewinnung [BANK 1995]



### 1.1.1.1 Apparativer Aufbau

Eine thermisch rekuperative Nachverbrennungsanlage besteht im wesentlichen aus [RENTZ 1999]:

- Brennkammer mit Brenner
- Abluftwärmetauscher (Luftvorwärmer)
- Wärmetauschern zur Rückgewinnung von Wärme aus dem Reingas

#### **Brenner**

Der Brenner erhitzt durch Zusatzbrennstoffe das zu reinigende Rohgas auf Reaktionstemperatur (bei nicht autothermen Prozessen), wobei der Betrieb von der VOC-Konzentration im Rohgas abhängt. Es werden Flächen-, Düsen- und Wirbelbrenner eingesetzt [RENTZ 1999].

---

## **Brennkammer**

Das VOC wird in der Brennkammer bei gegebener Reaktionstemperatur und Verweilzeit oxidiert. Es gibt unterschiedliche Gestaltungen und Konzepte von Brennkammern, was eine große Anzahl von Variationsmöglichkeiten zwischen Brenner und Brennkammer zur Folge hat, die sich wiederum in Geometrie, Größe, Strömungsbedingungen und Werkstoffen unterscheiden. Die hohen Temperaturschwankungen, denen die Brennkammer ausgesetzt ist, machen Ganzmetall-Brennkammern und Brennkammern mit Metallmantel und feuerfester Ausmauerung erforderlich. [RENTZ 1993]

## **Wärmetauscher**

Die Erwärmung des Rohgases erfolgt über einen indirekten Rohrbündel-Wärmetauscher bei gleichzeitiger Kühlung der heißen Reingase. Der energetische Wirkungsgrad dieser Wärmetauscher beträgt maximal 70 %, so dass zum Erreichen der Reaktionstemperatur in der nachgeschalteten Brennkammer im nicht autothermen Betrieb die Verbrennung von Zusatzbrennstoff notwendig ist. Da es im Wärmetauscher zum Vorabbrand der Abgase kommen kann, muss das Material des Wärmetauschers den gleichen Temperaturansprüchen (Spannungen durch Temperaturunterschiede und Kompensation von Dehnungsunterschieden) wie das der Brennkammer genügen. Wenn das Abgas auf 500 – 600 °C erhitzt wird, können Energieeinsparungen von bis 75 % erreicht werden. Je größer die VOC-Konzentration im Abgas ist, umso geringer ist der erforderliche Einsatz von Primärenergie.

Die Temperatur des Reingases liegt bei 200 - 400 °C [SCHULTES 1996]. Bei diesen hohen Abgastemperaturen muss eine zusätzliche Wärmerückgewinnung vorgesehen werden, wie die Bereitstellung von Prozesswärme, z.B. für Heizzwecke in Trockneranlagen.

### **1.1.1.2 Anwendung**

Die rekuperative thermische Abgasreinigung wird z.B. zur Abreinigung der Abluftströme aus Trockneranlagen und z.T. Spritzkabinen bei der Lackierung von PKW, LKW, Bussen, Großfahrzeugen, Kunststoff- und Metallwerkstücken sowie beim Coil-Coating eingesetzt. Zur Aufkonzentrierung der VOC wird oft eine Adsorptionsanlage vorgeschaltet.

Mit dem Verfahren können Abluftströme von 5000 – 50.000 m<sup>3</sup>/h mit einer mittleren Beladung an VOC (bis 16 g/m<sup>3</sup>) behandelt werden. In Folge der Reingasaustrittstemperaturen von ca. 250 – 400°C ist eine Rückgewinnung von thermischer Energie und Verwendung im Produktionsprozess geboten [RENTZ 1999, MEHLIS 2001]. Das Verfahren

---

ermöglicht Reingaswerten von 10 mg C/Nm<sup>3</sup><sup>2</sup>. Die Verbrennung kann so optimiert werden , dass dabei die Bildung von NO<sub>x</sub> und CO auf 100 mg/m<sup>3</sup> begrenzt werden kann.

### 1.1.2 Thermische regenerative Nachverbrennung (RNV)

Das wesentliche Merkmal der regenerativen Nachverbrennungsanlagen sind Regenerativ-Wärmespeicher: Dabei wird die Wärmeenergie des Reingases in einer Wärmespeichermasse, die sich direkt in der Oxidationszone befindet, gespeichert und steht damit dem Oxidationsprozess unmittelbar zur Verfügung. Als regenerative Wärmespeichermasse wird eine Schüttung aus Keramik-Formteilen eingesetzt. Der Wirkungsgrad der Wärmeübertragung liegt bei bis zu 95 %. Ein höherer Wirkungsgrad würde höhere Speichermasse erfordern, die zu einem höheren Druckverlust verbunden mit einem höheren elektrischen Energiebedarf führt. Ein autothermer Betrieb ist bereits bei sehr geringen VOC-Konzentrationen möglich. Wird dieser nicht erreicht, werden die VOC anschließend in der Brennkammer oxidiert. Dazu wird ein Brenner mit Zusatzbrennstoffen betrieben der gewährleistet, dass bei geringer Schadstoffbelastung des zu reinigenden Abgases die Reaktionstemperatur in der Brennkammer und Wärmespeichermasse erreicht und aufrecht gehalten wird (vgl. Abbildung V-4).

Im Folgenden wird auf die Unterschiede im Vergleich zur thermisch rekuperativen Verbrennung eingegangen. Bei der Ausführung der Anlagen sind Einzelgeneratorensysteme und Kompaktregeneratorensysteme zu unterscheiden.

#### 1.1.2.1 Apparativer Aufbau

Bei den **Einzelregeneratorensystemen** besteht die Anlage zumeist aus drei Festbettregeneratoren auf keramischer Basis. Diese Regeneratoren werden zyklisch umgeschaltet: Jeweils ein Bett wärmt die Abgas bis zur Oxidation der VOC vor, ein anderes kühlt das durch Oxidation gereinigte Gas während ein drittes vor der Beaufschlagung mit heißem Reingas, z.B. mit Umgebungsluft zur Entfernung von Kohlenwasserstoffresten, gespült wird. (Das Spülgas wird dann im ersten Regenerator oxidiert). Bei besonders niedrigen Abgasmengen oder sehr geringen Abgasbeladungen kann auf den dritten Festbettregenerator verzichtet werden [CARLOWITZ 1996].

---

<sup>2</sup> Exemplarische Reingaswerte für verschiedene Schadstoffgemische, Anlagenkonstellationen und Verweilzeiten finden sich in [VDI 2442].

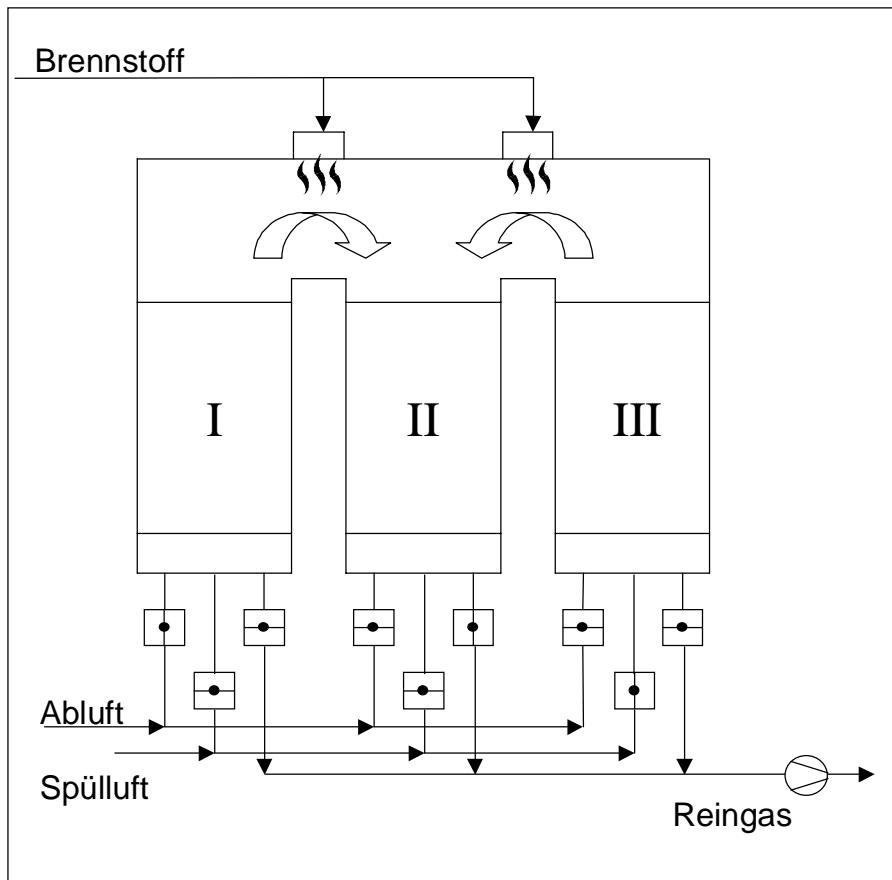


Abbildung V-3: *Funktionsprinzip eines Einzelregeneratorensystems*

Bei **Kompaktregeneratoren** ist die Wärmespeichermasse in einzelne Segmente unterteilt. Wechselweise dient ein Teil der Schüttung als Kühl- der andere Teil als Heizstufe. Vor dem Umschalten eines Segments vom Aufheizen des Abgases auf das Abkühlen des Reingases wird die Schüttung vom Abgas durch das erzeugte Reingas freigespült. Zur Erwärmung wird das Abgas der Wärmespeichermasse von unten nach oben zugeführt und an der heißen Oberfläche bis zur Oxidation der Schadstoffe vorgewärmt. Eine Brennkammer liefert die zur Aufrechterhaltung der je nach Lösemittel notwendigen Reaktionstemperatur (von 750 - 820°C) erforderliche Energie. Das heiße Reingas durchströmt anschließend den anderen Teil der Wärmetauschermasse von oben nach unten und heizt diese auf. Die Durchströmung verschiedener Segmente wird über Klappen oder Drehschieber geregelt oder durch Rotation des Regenerators (sog. Rotationsregeneratoren) erreicht [EISENMANN 2001].

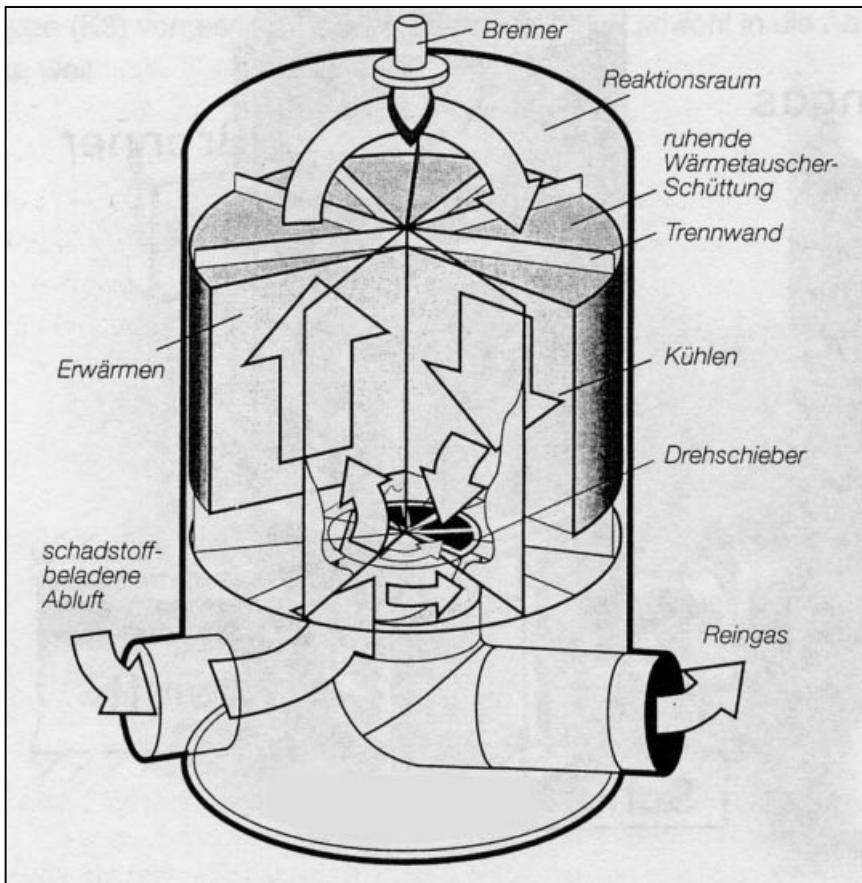


Abbildung V-4: Schematisches Funktionsprinzip eines Kompaktregenerators [Eisenmann 2001]

Um den Druckverlust möglichst gering zu halten, kommen vorwiegend keramische Schüttkörper in Form von Berlsätteln oder Novaloxsätteln zum Einsatz. Weiter können als Regeneratorelemente auch Wabenkörper eingesetzt werden. Der energetische Wirkungsgrad der regenerativen Wärmetauscher liegt bei 95 %, so dass ein autothermer Betrieb bereits bei VOC-Konzentrationen von 1 – 2 g/m<sup>3</sup> erreicht werden kann. Dieser Vorteil kann aber nur bei kontinuierlichen Prozessen genutzt werden. Im Fall des autothermen Betriebs erfolgt die Schadstoffoxidation durch eine reine Gasphasenoxidation, welche zu einem geringen Ausstoß an Stickoxiden führt, da die Stickoxidbildung aufgrund der fehlenden Flammenverbrennung gemindert wird [JAUNS-SEYFRIED1995].

### 1.1.2.2 Anwendung

Die regenerative Nachverbrennung kann als Standardtechnologie für die Minderung von VOC-Emissionen bei großen Abgasströmen mit geringer Beladung und bei niedrigem Prozesswärmeverbrauch der Produktion betrachtet werden. Reingaswerte von weniger als 10

mg/Nm<sup>3</sup> werden erreicht [JAUNS-SEYFRIED 1995, CARLOWITZ 1996, BANK 1996]. Die CO und NO<sub>x</sub>-Werte können dabei auf 50 mg/m<sup>3</sup> begrenzt werden. Die Reinigung auch sehr großer, gering beladener Rohgasmengen, bei vergleichsweise geringem Energiebedarf, hat die Verbreitung der Technik ermöglicht. Ein einzelner Reaktor kann Abgasmengen von 1.000 bis 45.000 Nm<sup>3</sup>/h verarbeiten. Bei größeren Abgasmengen werden mehrere Reaktoren parallel eingesetzt [EISENMANN 2001]. Bei der RNV ist eine sehr hohe Wärmerückgewinnung durch Erwärmung des Rohgases möglich, so dass je nach Bauart die Temperatur des Reingases beim Austritt aus der Anlage bei ca. 40 – 200 °C liegt. Eine weitere externe Wärmenutzung ist daher bei diesem Verfahren nicht in jedem Fall notwendig [EISENMANN 2001]. Mit speziellen Heißgas-Beipasssystemen können auch VOC-Konzentrationen von bis zu 12 g/Nm<sup>3</sup> behandelt werden. Bei hohen VOC-Konzentrationen und autothermen Betrieb kann eine zusätzliche Wärmerückgewinnung zur energetischen Optimierung sinnvoll sein [EISENMANN 2001].

Das Verfahren findet z.B. Anwendung bei der Lackierung von Getränkedosen, PKW sowie bei Druckprozessen [VDI 2442 3455, 2587].

### **1.1.3 Eigenschaften der rekuperativen und regenerativen thermischen Nachverbrennung**

Tabelle V-1 zeigt eine Gegenüberstellung von regenerativer und rekuperativer thermischer Nachverbrennung.

**Tabelle V-1-1: Vergleich von RNV und RTO [BANK 1995]**

|  | <b>RNV</b>               | <b>RTO</b>                  | <b>Auswirkung</b>                              |
|--|--------------------------|-----------------------------|--|
| Art des Wärmetauschers                   | Füllkörperschüttung      | Rohrbündel-wärmetauscher    | Höherer Wirkungsgrad der Wärmetauscher bei RNV |
| Vorerwärmung, Wärmetauscher-Wirkungsgrad | 780 °C,<br>ca. 90 – 98 % | 500-600 °C<br>ca. 70 – 80 % | Geringerer Bedarf an Zusatzbrennstoff bei RNV  |
| Reingasaustrittstemperatur               | Ca. 40 – 200 °C          | ca. 250 – 400 °C            | Verwendung von Prozesswärme bei RTO geboten    |

Im Folgenden sind die Vor- und Nachteile der thermischen Nachverbrennung aufgeführt:

- 
- Breites Anwendungsspektrum bezüglich des Abgasvolumenstroms und der zu behandelnden Schadstoffe (Einschränkungen bei stickstoff- und halogenhaltigen VOC aufgrund der Bildung von NO<sub>x</sub> und Halogenwasserstoffen),
  - geringer Wartungsaufwand sowie
  - Unempfindlichkeit gegenüber Konzentrationsschwankungen.
  - **Rekuperative Systeme** erreichen schnell ihre Arbeitstemperatur und ermöglichen somit ein häufiges Anfahren (intermittierender Betrieb).
  - Bei VOC-Konzentrationen über 6 - 8 g C/Nm<sup>3</sup> im Abgas ist eine autotherme Betriebsweise bei **rekuperativen Anlagen** möglich [RENTZ 1999, VOGEL 1991, ADEME 1997], sie ist auch einsetzbar bei VOC-Rohgaskonzentrationen von mehr als 15 g /Nm<sup>3</sup>[BANK 1995], bei **Anlagen mit regenerativen Wärmespeichern** ist ein autothermer Betrieb ab ca. 1 – 2 g C/Nm<sup>3</sup> möglich.
  - Verbrennung von Lösemitteln, Partikeln und geruchsintensiven Verbindungen
  - Eine Nutzung der Abwärme ist bei **regenerativen Anlagen** des relativ geringen Energiebedarfs nicht notwendig, bietet sich aber bei autothermer Betriebsweise an.
  - Durch parallelen Einsatz von **regenerativen Anlagen** können sehr große Abgasmengen gereinigt werden.
  - Geringer Bedarf an Primärenergie aufgrund des effizienten Wärmetauschs bei **regenerativen Anlagen**, geringere Betriebskosten [JAUNS-SEYFRIED 1995]
  - Höherer Energiebedarf der **rekuperativen Anlagen** durch geringeren Wirkungsgrad des Wärmetauschers
  - **Anlagen mit regenerativen Wärmetauschern** sind wegen der großen Wärmespeichermasse nur für kontinuierliche Betriebsweise geeignet, durch die große Wärmespeichermasse sind lange Anfahrzeiten bedingt [BANK 1995]
  - **Der Verbrennungsprozess ist mit der Bildung von NO<sub>x</sub> und CO verbunden**

#### 1.1.4 Einflussgrößen

Für die Ausbrandqualität, die den VOC-Emissionsminderungsgrad bestimmt, sind folgende Verfahrensparameter entscheidend [VDI 2442, BANK 1995]:

- Reaktionstemperatur in der Brennkammer,
- Strömungsführung und -art,
- VOC-Zusammensetzung und -Konzentration,
- Vermischung der Reaktionspartner,
- Verweilzeit in der Brennkammer,
- Sauerstoffgehalt im Abgas.

---

### **Reaktionstemperatur**

Der chemische Umwandlungsgrad der VOC steigt im wesentlichen mit höherer Reaktionstemperatur und größerer Verweilzeit an; entsprechend nimmt die Restkonzentration an organischen Verbindungen im Reingas ab. Bei der Festlegung der Reaktionstemperatur muss berücksichtigt werden, dass mit steigender Temperatur die NO<sub>x</sub>-Bildung zunimmt, so dass Problemverlagerungen resultieren können [BANK 1996].

#### **1.1.5 Investitionen und Betriebskosten**

Die Investitionen hängen vor allem vom zu behandelnden Abgasvolumenstrom und den Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung ab. Weiterhin stellen die hohen Temperaturen besondere Anforderungen an Konstruktion und Werkstoff der Brennkammer und der Wärmetauscher. Der Energiebedarf resultiert im wesentlichen aus [VDI 2242]:

- Thermischer Energie (Zusatzbrennstoff) zum Aufheizen des Rohgases. Der Bedarf ist abhängig von der Zusammensetzung des Rohgases, dem Gehalt an brennbaren Stoffen, der Vorwärmtemperatur des Rohgases und der Verbrennungstemperatur.

Die Energiekosten sind für die regenerative Nachverbrennung im allgemeinen niedriger als für die thermische (bei gleicher VOC-Beladung des Abgases), da das Abgas sehr effizient vorgewärmt wird.

#### **1.1.6 Behandelbare Stoffe**

Die verschiedensten VOC können durch die TNV beseitigt werden. In Bezug auf die Behandlung von Schadstoffgemischen stellt sie das vielseitigste thermische Oxidationsverfahren dar. [BANK 1995]. Einschränkungen ergeben sich bei stickstoffhaltigen und halogenhaltigen VOC durch die Bildung von NO<sub>x</sub> und Halogenkohlenwasserstoffen, die eine Nachbehandlung des Reingases erforderlich machen würden. Aschebildner (z.B. Stäube, Lackpartikel) können zu Störungen im Wärmetauscher führen, sie sind durch geeignete Maßnahmen zu vermindern.

## **1.2 Katalytische Nachverbrennung (KNV)**

Die katalytische Nachverbrennung erfolgt bei niedrigeren Temperaturen und somit bei einem geringeren Einsatz von Primärenergie, als die thermische Nachverbrennung. Die katalytische Nachverbrennung wird mit Hilfe von Katalysatoren, je nach Art der Schadstoffe des Abgases,

der Art des Katalysators bei Temperaturen zwischen 200 - 400°C durchgeführt. [MACHEJ 1997] Ebenso wie bei der TNV wird das Rohgas über das heiße Reingas erwärmt. Dafür werden sowohl regenerative Wärmetauscher als auch rekuperative Wärmetauscher verwendet [JAUNS-SEYFRIED 1995].

Die katalytische Nachverbrennung hat auf Grund der eingeschränkten Flexibilität hinsichtlich der Einsatzstoffe einen geringen Marktanteil [Carlowitz 2001]. Das Anwendungsspektrum ist begrenzt, da die Katalysatoren als teuerste Anlagenkomponente gegenüber bestimmten Inhaltsstoffen der zu reinigenden Abluft (Katalysatorengifte wie z.B. Halogene, Silikone, Schwermetalle usw.) deaktiviert werden können.

### 1.2.1 Apparativer Aufbau

Der Katalysator hat die Aufgabe die Reaktionsrate zu erhöhen und die Reaktionstemperatur zu senken, so dass die Umsetzung von VOC bei geringeren Temperaturen als bei der thermischen Nachverbrennung möglich ist. Dies führt insgesamt zu niedrigeren Prozesstemperaturen für das System und zu einem geringeren Brennstoffbedarf. Durch einen Brenner wird das zu reinigende Abgas auf die erforderliche Reaktionstemperatur des Katalysators vorgewärmt und die für den vollständigen Umsatz benötigte Arbeitstemperatur im Katalysatorbett mit Hilfe der Zusatzfeuerung konstant gehalten, falls dies z.B. infolge niedriger Schadstoffkonzentrationen nicht durch Verbrennungswärme gesichert ist.

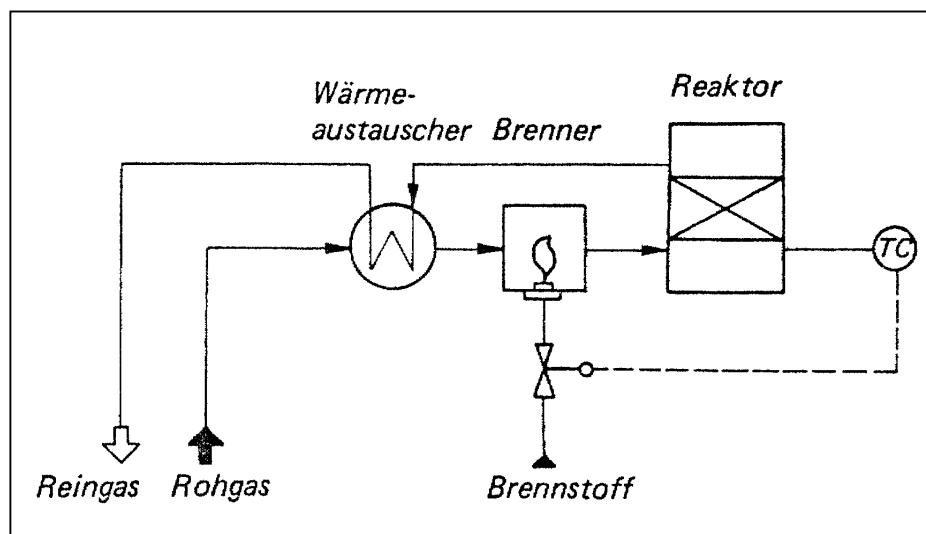


Abbildung V-5: *Katalytische rekuperative Nachverbrennung* [VDI 3476]

---

Katalysatoren für die Nachverbrennung sollten folgenden Anforderungen genügen [BREIHOFER 1991, MCINNES 1995]:

- Hohe Aktivität bei niedriger Temperatur,
- thermische, chemische und mechanische Stabilität,
- hohe Lebensdauer.

Folgende Katalysatormaterialien werden für die katalytische Nachverbrennung verwendet [VDI 3476, RENTZ 1999]:

- Edelmetalle (Pd, Pt, Ru) auf anorganischen oxidierenden Trägermaterialien,
- Edelmetalle auf metallischen Trägermaterialien,
- Metallische Oxide (z.B. Mn) auf anorganischen oxidierenden Trägermaterialien.

Traditionell wurden die auf einer festen Schicht aufgetragenen Edelmetalle verwendet. Diese Methode mit einer festen Schicht wurde zu einem wabenähnlichen Träger weiterentwickelt, der üblicherweise aus Keramiken gefertigt wird. Heute dominieren in den praktischen Anwendungen vor allem Schüttungen aus z.B. kugelgesinterten Materialien. Diese bieten den Vorteil, dass sie leicht austauschbar sind und über eine große Oberfläche verfügen. Neue Katalysatoren wurden entwickelt, die sowohl gegen Verschmutzung als auch Vergiftung stabiler sind. Beispielweise können mittlerweile Abgase, die Phosphor, Halogene, und verwandte Materialien enthalten, katalytisch gereinigt werden: Die entwickelten Katalysatoren bestehen in der Regel aus Chrom und Aluminium. [MCINNES 1995]. Für eine ausführliche Beschreibung der Katalysatoren sei auf [VDI 3476] verwiesen.

Katalysatoren aus nicht-edlen Metallen sind am resistentesten gegen Vergiftung. Die Lebensdauer liegt erwartungsgemäß zwischen 2 - 5 Jahren (die Lebensdauer ist abhängig von der Arbeitsweise des Systems und den zu behandelnden Abgasen). Die Effektivität sinkt mit einsetzenden Sinterprozessen (Verringerung der Oberfläche durch hohe thermische Beanspruchung) und Vergiftung durch Unreinheiten [RENTZ 1999]. Als Katalysatorengifte gelten Halogene, Silikone oder Schwermetalle [EISENMANN 2001].

Aus wirtschaftlichen Gründen wird das Abgas wie bei der TNV durch Wärmetausch mit den heißen Reingasen vorgewärmt. Der Wärmetauscher kann als regenerativer oder rekuperativer Wärmetauscher ausgeführt sein. Je nach Ausführung werden die **regenerative katalytische Verbrennung** und **rekuperative katalytische Nachverbrennung** unterschieden.

Bei der **regenerativen katalytischen Verbrennung** werden wie bei der RNV keramische Füllkörper als Wärmetauschermassen verwendet, die im oberen Teil der Schüttung aus katalytisch beschichteten Füllkörpern bestehen. Bei diesem Verfahren kann eine autotherme

---

Fahrweise bereits ab VOC-Konzentrationen von ca. 1 - 2 g/Nm<sup>3</sup> erreicht werden [JAUNSEYRIED 1995]. Der Katalysator der rekuperativen katalytischen Nachverbrennung kann als Festbettschüttung oder wabenförmig ausgeführt sein.

### **1.2.2 Behandelbare Stoffe**

Diese VOC-Minderungsmaßnahme ist insbesondere anwendbar, wenn kein Staub oder andere Katalysatorgifte vorhanden sind. Folgende Stoffe können unter anderen abgebaut werden: Alkohole, Aldehyde, Ether, Ester, Ketone. Die neuesten Katalysatoren ermöglichen teilweise die Entfernung halogenierter Kohlenwasserstoffe. Bei der Verbrennung dieser Stoffe entstehen aber Halogenkohlenwasserstoffe, die in einem nachgeschalteten Wäscher abgeschieden werden müssen. Des weiteren müssen die Anlagen widerstandsfähig gegenüber der korrosiven Wirkung der Halogenkohlenwasserstoffe ausgelegt sein [RENTZ 1999, KITTRELL 1991]

### **1.2.3 Einflussgrößen**

Die Umwandlung von Schadstoffen wird hauptsächlich von folgenden untereinander abhängigen Parametern beeinflusst [BREIHOFER 1991]:

- Art und Konzentrationen von VOC der Abluft
- Katalysatorart
- Temperatur im Katalysatorbett
- Raumgeschwindigkeit

Ähnlich wie bei der thermischen Nachverbrennung steigt die VOC-Umwandlungseffizienz mit steigender Temperatur und sinkender Raumgeschwindigkeit. Des weiteren beeinflussen die VOC-Zusammensetzung, die Konzentration und der Sauerstoffgehalt im Abgas die Start- und Arbeitstemperaturen und die chemische Umsetzung. [BREIHOFER 1991]

### **1.2.4 Anwendung**

Die katalytische Nachverbrennung hat eine untergeordnete Bedeutung. Anwendung findet das Verfahren z.B. bei der Dosenbeschichtung und der Lack- und Farbenherstellung [RENTZ 1999]. Anlagenbeschreibungen finden sich für die Emissionsminderung z. B. bei der Herstellung von Verbundfolien in [VDI 3476, VDI 2587 Blatt 3].

---

Die katalytische Nachverbrennung eignet sich besonders bei großen Abgasmengen mit niedrigem Gehalt an organischen Verbindungen, insbesondere wenn nur eine geringe Abwärmenutzung möglich ist. Für VOC- Konzentrationen zwischen 1 - 3 g C/m<sup>3</sup> verläuft die Reaktion autotherm [RENTZ 1999]. Für Konzentrationen über 8 g/m<sup>3</sup> steigt das Wärmepotential des Prozesse so stark, dass nur auf Edelmetall basierende Katalysatoren verwendet werden können. Reingaswerte von 10 mg/Nm<sup>3</sup> werden abhängig von der Geschwindigkeit des Gases, der Menge an Katalysator und der Prozesstemperatur erreicht [RENTZ 1999]. Dabei können bei den Verbrennungsgasen NOx und CO Konzentrationen von jeweils 50 mg/m<sup>3</sup> im Reingas eingehalten werden. (VDI 2587 Blatt 3)

### ***Vorteile der katalytischen Nachverbrennung***

- Geeignet für verschiedene Gemische von VOC,
- diskontinuierliche Prozesse sowie
- niedrige VOC-Konzentrationen im Abgas,
- schwankende Lösemittelkonzentrationen und -qualität.
- Niedrigere Arbeitstemperaturen als bei der thermischen Nachverbrennung bewirken einen geringeren Brennstoffbedarf, und somit vergleichsweise niedrige Energiekosten; jedoch müssen zusätzlich Betriebskosten, die durch den Austausch des Katalysators verursacht werden, in Betracht gezogen werden.
- Emissionen von Verbrennungsprodukten (z.B. NO<sub>x</sub>) sind grundsätzlich niedriger als bei der thermischen Verbrennung.

### ***Nachteile der katalytischen Nachverbrennung***

- Geringerer Einsatzbereich wegen Katalysatorgiften (Polymere, Asche, Halogene, Silikon, Phosphor, Schwefel, Arsen, Blei, Zink, Quecksilber und andere Schwermetalle sowie ihre Verbindungen) [MCINNES 1995]; Partikel und Ruß sollten abgeschieden werden, bevor sie die katalytische Abgasreinigungsanlage erreichen;
- Halogenkohlenwasserstoffe ebenso wie schwefel- und stickstoffhaltende Verbindungen erfordern anschließend eine zusätzliche Abgasreinigungsstufe, um die bei der Verbrennung entstehenden Schadstoffe wie z.B. HCl, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, zu entfernen. Für Halogenkohlenwasserstoffe ist darüber hinaus der Einsatz eines speziellen Katalysators notwendig.
- Die Alterung des Katalysators erfordert einen Austausch des Katalysatormaterials;
- hohe thermische und mechanische Beanspruchung schaden dem Katalysator und sollten daher vermieden werden. [RENTZ 1999, MEHLIS 2001]. Das Verfahren ist daher nur bis zu maximalen VOC-Rohgaskonzentrationen von ca. 15 g/Nm<sup>3</sup> einsetzbar [BANK 1995].

---

### **1.2.5 Investitionen und Betriebskosten**

Die Investitionen hängen v.a. vom zu behandelnden Abgasvolumenstrom und den Katalysatoren ab. Die Energiekosten sind für die katalytische Nachverbrennung niedriger als für die thermische (bei gleicher VOC-Beladung des Abgases), da niedrigere Temperaturen ausreichend sind und somit weniger zusätzlicher Brennstoff benötigt wird. Neben den Energiekosten hängen die Betriebskosten außerdem noch von der VOC-Beladung des Abgases, der Größe und Temperatur des Wärmetauschers, den Vorheiztemperaturen und den Austauschintervallen des Katalysators ab. [RENTZ 1999]

---

## 2 Adsorption

Die Abluftreinigung von VOC-beladenen Abluftströmen durch Adsorption ist aufgrund der Flexibilität des Verfahrens eine verbreitete Technik. Unter Adsorption wird dabei die Anreicherung von Gasen an Festkörpergrenzflächen verstanden [BAUMBACH 1993]. Die angelagerten Stoffe müssen zur Regeneration des Adsorbers wieder ausgetrieben werden. Bei der physikalischen Adsorption werden die VOC chemisch nicht verändert und können daher wiedergewonnen werden. Ist eine Rückgewinnung nicht sinnvoll, können die aufkonzentrierten Ströme einer thermischen Nachverbrennung zugeführt werden. In Folge der Aufkonzentrierung ist ein autothermer Betrieb dieser Anlagen möglich.

### 2.1 Verfahrensprinzip

Bei der Adsorption werden selektiv einzelne oder mehrere Verbindungen aus dem Abgas an der Oberfläche grenzflächenaktiver Feststoffe aufgenommen. Das am häufigsten verwendete Adsorptionsmittel für organische Verbindungen ist Aktivkohle, andere Substanzen wie z.B. Zeolithe sind ebenfalls im Einsatz.

Sowohl die adsorbierten Substanzen als auch die Adsorptionsmittel können nach der Desorption wiederverwendet werden. Ist eine Wiederverwendung der adsorbierten Stoffe im Prozess nicht möglich, wird der Desorptionsstrom einer thermischen Nachverbrennung zugeführt.

Die wichtigen Stufen des Adsorptionsverfahrens sind:

- *Adsorption:* Das VOC-beladene Abgas strömt durch einen oder mehrere mit Adsorptionsmittel gefüllte Adsorber. Dabei adsorbiert die Feststoffoberfläche selektiv flüchtige organische Verbindungen bis zur Sättigung (d.h. Erschöpfung der Beladungskapazität des Adsorptionsmittels). Vor dem Erreichen der Sättigungskapazität wird auf einen regenerierten Adsorber umgeschaltet bzw. eine Regeneration durchgeführt.
- *Regeneration (Desorption):* Vor Erreichen der Sättigung muss die Aufnahmefähigkeit des Adsorptionsmittels durch Regeneration wiederhergestellt werden. Im Regenerationsschritt werden adsorbierte VOC durch Temperaturerhöhung, Beaufschlagung mit Wasserdampf oder durch Druckwechselverfahren wieder desorbiert. [EIGENBERGER 1988, BANK 1995].

---

## **2.1.1 Apparativer Aufbau**

Um das Adsorbens in geeigneter Weise mit dem zu reinigenden Abgas in Kontakt zu bringen und nach Beladung zu regenerieren, wurden verschiedene Adsorptionsverfahren entwickelt. Das Adsorbens ist dabei als ruhende oder bewegte Schicht ausgeführt. Im Folgenden sind die wichtigsten Verfahren beschrieben. Für eine ausführliche Darstellung sei auf [VDI 3674] verwiesen.

### **Festbettadsorber**

Festbett-Adsorber hatten bereits 1988 einen Marktanteil von ca. 95 % [BANK 1995]. Bei Neuanlagen werden zunehmend Rotationsadsorber betrieben. Beim Festbettadsorber durchströmt das Abgas die in einem Behälter befindliche poröse Adsorbens-Schüttung. Dabei wechseln sich Phasen der Beladung und der Regeneration ab. Für den kontinuierlichen Betrieb bei ständig anfallenden Gasströmen sind daher mindestens zwei parallele Anlagen erforderlich, damit stets ein Adsorber VOC aufnehmen kann (vgl. Abbildung V-8). Taktweise betriebene Adsorber sind bei der kontinuierlichen Abgasreinigung notwendig. [BANK 1995]

### **Wander- und Wirbelschichtbettadsorber**

Ein kontinuierlicher Betrieb wird in Wanderschichten bzw. in mehrstufigen Wirbelschichten erreicht. Adsorption, Desorption und Kühlung erfolgen in getrennten Apparateteilen, zwischen denen das Adsorbens im Kreislauf geführt wird. Beim Wanderschichtbettadsorber findet ein kontinuierlicher Austausch des beladenen Adsorptionsmittels statt. Beim mehrstufigen Wirbelschichtbettadsorber wird das Adsorptionsmittel oben zugegeben und bewegt sich im Gegenstrom zum Abgas durch die einzelnen Schichten nach unten. Im Vergleich zu Festbettadsorbern ist der Druckverlust in Wander- und Wirbelschichtbettadsorbern nach [BANK 1995] um bis zu 50 % geringer, allerdings können nur geringere Beladungen der Adsorptionsmittel erzielt werden.

### **Rotationsadsorber**

Rotationsadsorber werden besonders für die kontinuierliche Adsorption großer, gering beladener Abgasvolumenströme eingesetzt [BANK 1995]. Das Abgas durchströmt einen Rotor, der in Segmente aufgeteilt ist und in dem das Adsorptionsmittel zwischen porösen Seitenrändern untergebracht oder als Faserpaket ausgeführt ist. Die Regeneration des beladenen Adsorptionsmittels erfolgt entgegen der Beladungsrichtung in einem abgetrennten Rotorsektor. Durch Drehen des Rotors wird jeder Flächenbereich durch die verschiedenen Zonen (Adsorptions-, Desorptions-, Trocknungs- und Kühlzone) geführt. Dadurch wird stetig das Abgas gereinigt und beladenes Adsorptionsmittel z.B. mit Heißluft regeneriert. Man erhält hiermit einen hochkonzentrierten Abgasstrom, der zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte einer weiteren Behandlung unterzogen wird. Die Restbehandlung

erfolgt dann in der Regel über thermische Verbrennung oder Rückgewinnung [BANK 1995, MEHLIS 2001]. Abbildung V-6 gibt einen Überblick verschiedener Varianten der erwähnten Adsorber.

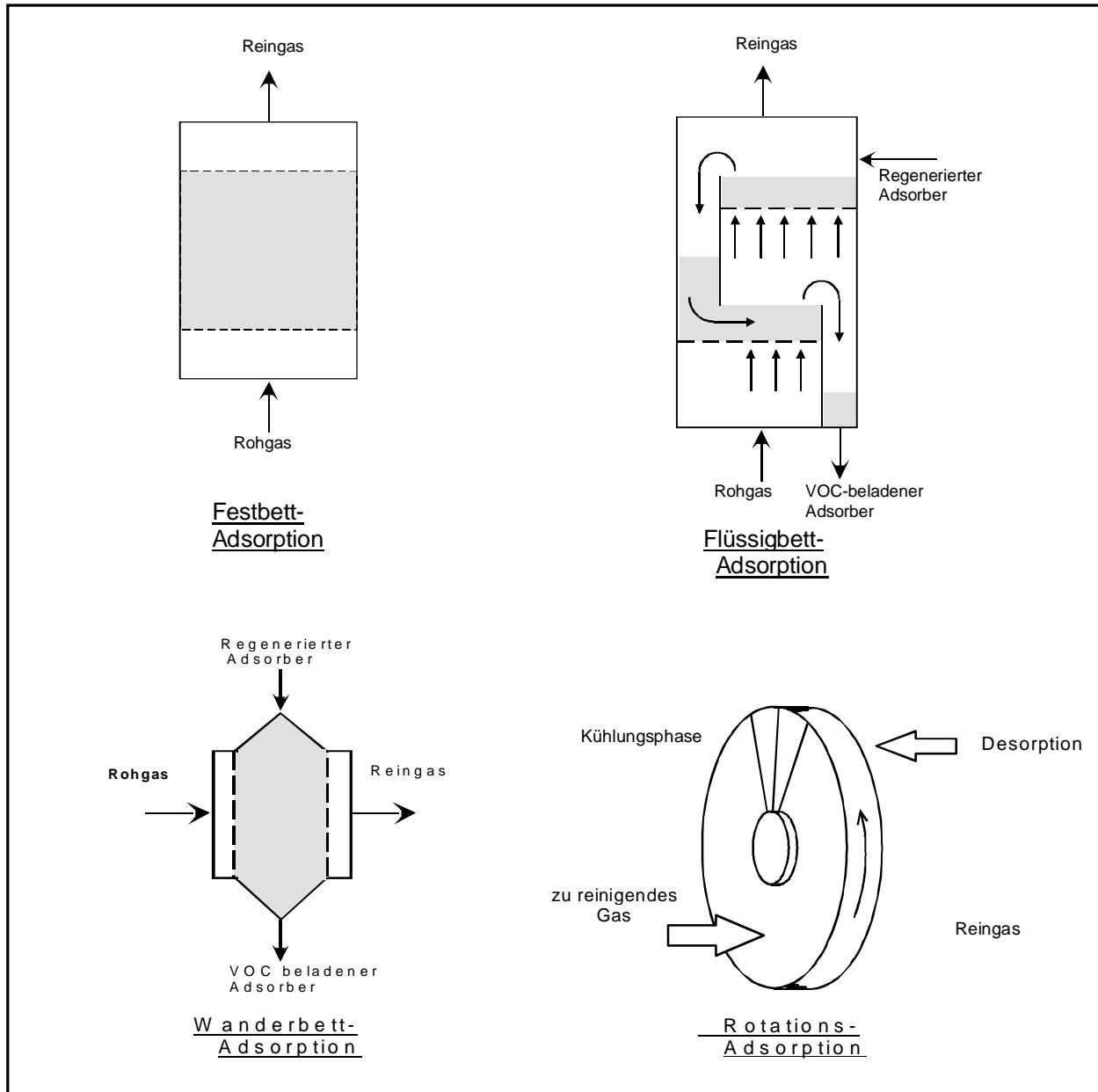


Abbildung V-6: Verfahrensvarianten der Adsorption [ULRICH 1990]

## 2.1.2 Desorptionsverfahren

Abhängig vom Stoffgemisch und den gewählten Arbeitsbedingungen bei der Adsorption werden im Solventsektor die folgenden Methoden zur Desorption eingesetzt.

## Dampfdesorption

Die Dampfdesorption wird mit Wasserdampf bei Temperaturen von 120 bis 140°C durchgeführt. Dieser durchströmt das Adsorptionsmittel und treibt die adsorbierten Stoffe dampfförmig aus (Abbildung V-8). Das hierbei anfallende Gemisch aus Wasser- und Lösemitteldampf wird nach Verflüssigung in einem Kondensator und eventueller Kühlung bei wasserunlöslichen Lösemitteln einem Phasentrenngefäß zugeführt. Zur Trennung wasserlöslicher Lösemittel ist eine weitere Aufbereitung des Kondensats durch Destillation oder Rektifikation erforderlich (vgl. Abbildung V-7). Die Aktivkohle muss vor Einsetzen der Adsorptionsphase getrocknet und gekühlt werden. Um die Trocknungsphase zu umgehen, wird die Heißgasdesorption angewendet. Die Dampfdesorption ist bei Neuanlagen rückläufig und wird vermehrt durch Heißgasdesorption ersetzt [MEHLIS 2001].

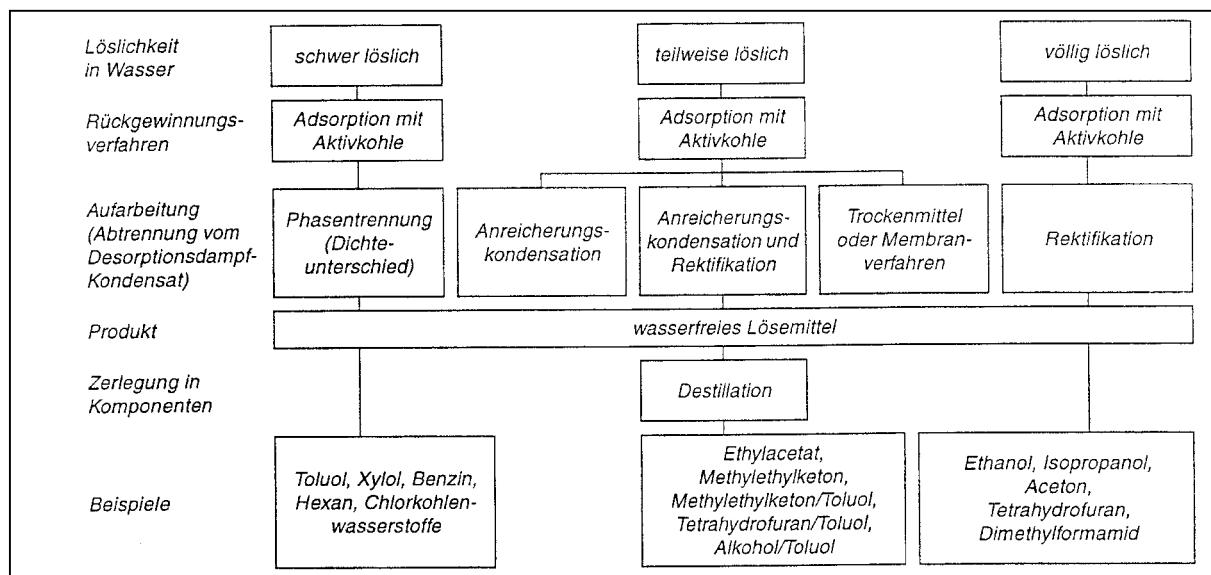


Abbildung V-7: Möglichkeiten zur Lösemittelrückgewinnung bei Dampfdesorption [VDI 3674]

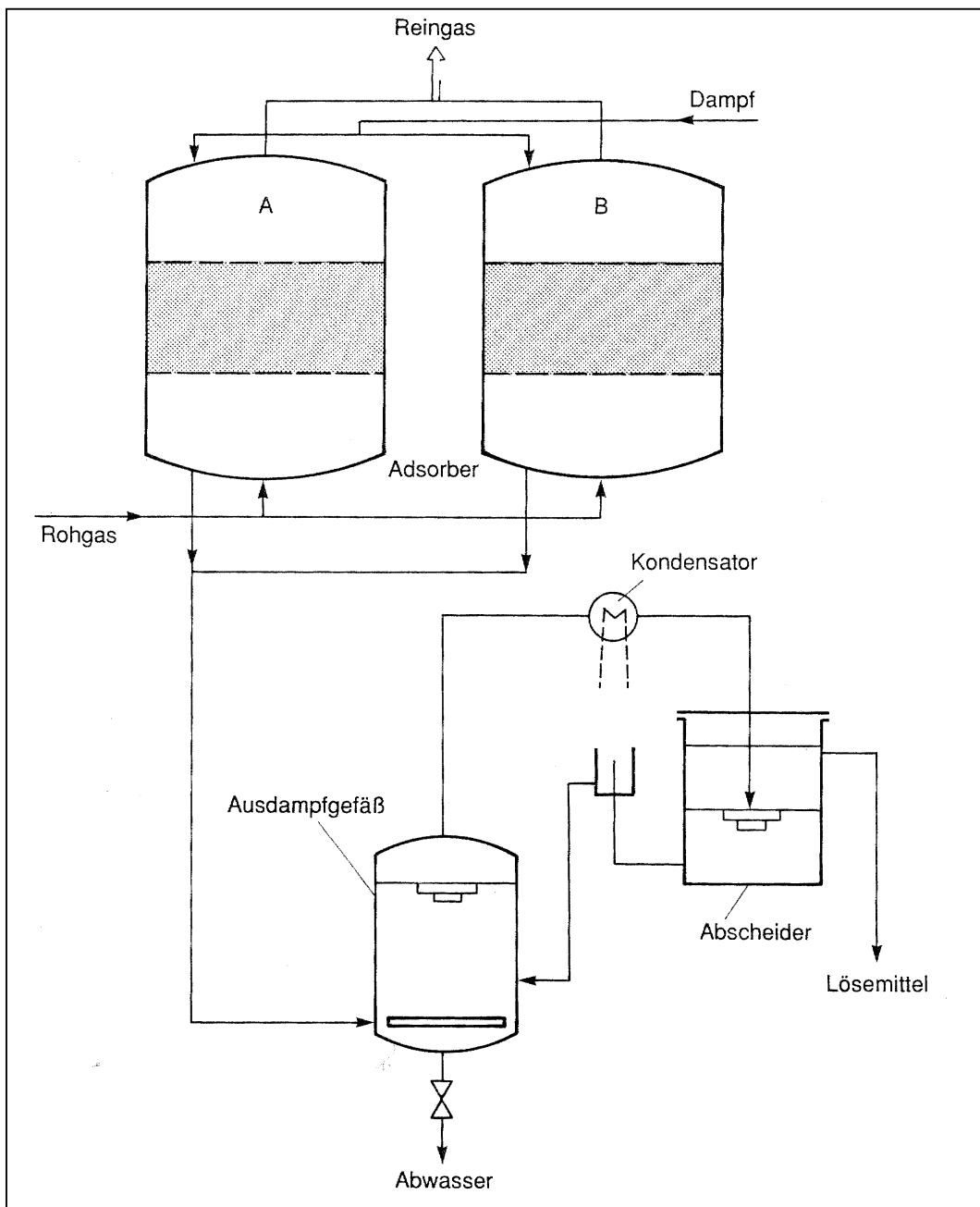


Abbildung V-8: Anlagenschema des Adsorptionsverfahrens [BAUMBACH 1993]

### Heißgasdesorption

Bei diesem Verfahren werden die Lösemittel mit 150 - 350 °C heißem Gas aus dem Adsorbens ausgetrieben. Dabei kann sowohl Inertgas ( $N_2$ ) als auch O<sub>2</sub>-arme Verbrennungsluft verwendet werden. Die heißen Gase werden im Gegenstrom über das Adsorptionsmittel geführt. Die Konzentration an VOC im entstehenden Desorptionsstrom ist um ein Vielfaches

---

höher als im Abgas. Der Desorptionsstrom wird entweder einer thermischen Nachverbrennung oder einer Lösemittelrückgewinnung z. B. über Kondensation zugeführt, insbesondere wenn eine betriebsinterne Verwendung der Lösemittel möglich ist [Eisenmann 2001].

### **2.1.3 Adsorptionsmittel**

Im wesentlichen hängt der Abscheidegrad einer Adsorptionsanlage vom eingesetzten Adsorptionsmittel ab. Im allgemeinen werden folgende Anforderungen gestellt:

- hohes Adsorptionsvermögen (große spezifische innere Oberfläche, hoher Anteil an Mikroporen),
- hohe Selektivität,
- günstige Desorptionseigenschaften: Gute Regenerierbarkeit, geringe Restbeladung,
- Temperaturbeständigkeit,
- hohe Abriebfestigkeit,
- geringer Druckverlust.

Als Adsorptionsmittel werden partikelförmige Materialien (Zylinder, Kugeln, gebrochenes Korn u.ä.) mit einer großen spezifischen Oberfläche von mehr als  $600 \text{ m}^2/\text{g}$  verwendet. Es wird hauptsächlich granulierte Aktivkohle verwendet; jedoch ist deren Anwendung dann begrenzt, wenn das lösemittelhaltige Abgas eine Temperatur über  $30^\circ\text{C}$  und mehr als 60 % Luftfeuchtigkeit aufweist [MEHLIS 2001]. Als Folge dieser unvermeidbaren Nachteile wurden neue Adsorber entwickelt, wie z.B. Zeolithe, vielschichtige Polymere oder Aktivkohlefasern. [ULRICH 1990, VDI 2280, VDI 3674, MCINNES 1995]

Bei Aktivkohletüchern ist die Durchströmungsgeschwindigkeit wesentlich höher als bei der Kornform, besonders in Kombination mit Heißgasdesorption. Besonders für chlorierte Lösemittel wurden spezielle hydrophobe Adsorberharze entwickelt, die eine abwasserfreie Lösemittelrückgewinnung ermöglichen [RENTZ 1999].

Ein Dealuminierungsverfahren für Zeolithe bewirkt hydrophobes Verhalten, geringe katalytische Aktivität und gute Säurestabilität. Durch das hydrophobe Verhalten werden aus feuchten Abgasströmen bevorzugt unpolare Lösemittel adsorbiert. Zeolithe lassen sich i.a. bei Temperaturen von ca.  $600 - 700^\circ\text{C}$  thermisch regenerieren.

---

## 2.2 Behandelbare Stoffe

Es eignen sich eine große Zahl von Lösemitteln zur adsorptiven Abgasreinigung, wie chlorierte Kohlenwasserstoffe (mit Zeolithen unter höherem Aufwand möglich), Alkohole, Ether, Ester, etc. [ARNOLD 1991]. Die Adsorption auf Aktivkohle ist jedoch aufgrund katalytischer Oxidation für folgende Verbindungen nicht geeignet: Diacetonalkohol, Cyclohexanon, höhermolekulare Ketone, Aldehyde, höhermolekulare Fettsäuren und aromatische Amine. [MERSMANN 1990]

Die Adsorbierbarkeit von organischen Verbindungen steigt mit wachsendem Molekulargewicht und sinkender Siedetemperatur des Adsorptivs. Des weiteren erhöht sich mit zunehmender Konzentration des Adsorptivs die adsorbierte Menge bis zur Sättigung des Adsorptionsmittels. Die zu adsorbierenden Stoffe sollen i.a. folgende chemische Eigenschaften haben:

- Nicht sauer,
- nicht polymerisierend,
- nicht crackend,
- nicht völlig apolar.

## 2.3 Haupteinflussgrößen

Die folgenden Parameter werden als relevant für die Dimensionierung des Adsorptionsverfahrens betrachtet:

- Verfahrensvariante,
- Art und Eigenschaft des Adsorptionsmittels,
- Art und Konzentration der zu adsorbierenden Stoffe (molekulare Masse, Siedepunkt, etc.),
- Volumenstrom des Abgases,
- Adsorptionstemperatur,
- gleichzeitige Adsorption anderer Substanzen (z.B. Wasser),
- Restbeladung des Adsorptionsmittels.

## 2.4 Anwendung

Adsorptionsverfahren werden z. B. zur Aufkonzentrierung der Abgasströme aus Trockneranlagen bei der PKW-Serienlackierung (mit thermischer Nachverbrennung) oder zur Rückgewinnung der Lösemittel bei der Klebebandherstellung und bei der Beschichtung von Schiffssegmenten verwendet.

---

Das Adsorptionsverfahren ist besonders wirtschaftlich, wenn große Abgasvolumenströme (von bis zu 800.000 Nm<sup>3</sup>/h) nicht mittels anderer Verfahren wie thermische Nachverbrennung gereinigt werden können. Die Adsorption wird hauptsächlich für die Reinigung von gering beladenen Abluftströmen verwendet (< 5 – 20 g/Nm<sup>3</sup>) mit einer Temperatur des Abgases von weniger als 30°C. [RENTZ 1999] Höher belastete Abluftströme führen zu kürzeren Adsorptionszyklen. Die Rückgewinnungsrate liegt je nach Verfahren bei 95 – 99 %. Die Adsorption wird oftmals auch als Aufkonzentrierungsstufe eingesetzt, an die eine thermische oder katalytische Nachverbrennung anschließt. [VDI 3674]

Stäube im Abgas sind vor der Adsorption durch geeignete Maßnahmen abzuscheiden.

Es können Reingaswerte von 30 - 50 mg C/m<sup>3</sup> oder niedriger eingehalten werden.

### ***Vorteile der Adsorption***

*Allgemein:*

- Rückgewinnung der Lösemittel,
- die Adsorption kann für Abgase mit schwankenden VOC-Konzentrationen und diskontinuierlichen Prozessen angewandt werden,
- die Adsorption ist z.T. für chlorierte und fluorierte Kohlenwasserstoffe, die nicht verbrannt werden können, geeignet.

### ***Nachteile der Adsorption***

*Allgemein:*

- begrenzte Anwendung bei manchen VOC (z.B. polymerisierende Substanzen, wie Styrol) [ALLEMAND 1990];
- Verbindungen mit einem Siedepunkt von über 200 °C, mit einer hohen Polarität (z.B. Methanol) oder einer hohen Reaktivität (wie Cyclohexanon) sollten nicht behandelt werden.
- Stäube und Aerosole verstopfen die Poren des aktiven Stoffs und müssen zuvor entfernt werden.

## **2.5 Investitionen und Betriebskosten**

Investitionen sind abhängig von [ADEME 1997]:

- Verfahrenskonzeption
- Abgasvolumenstrom
- Art und Vielfältigkeit des Adsorbers

- 
- Zusammensetzung der VOC
  - Notwendige Vorbehandlungen des Abgases wie z.B. Vorfilterung, Kühlung, Beseitigung von Partikeln, etc.
  - Trennmethoden zur Rückgewinnung der Lösemittel

Die Betriebskosten bestehen hauptsächlich aus Kosten für [ADEME 1997]:

- Energiebedarf für: Kühlung, Dampf- oder Heißgaserzeugung, Förderung des Rohgases (Druckverlust in der Adsorberschüttung), Kondensation (bei Rückgewinnung der VOC)
- Instandhaltung und Ersatz der Adsorberladung.

## 2.6 Nebeneffekte

Wenn die Regenerationsfähigkeit der Aktivkohle erschöpft ist, muss sie ausgetauscht werden. Da die Aktivkohle stets eine Restbeladung hat, muss sie nach dem Austausch als Abfall entsorgt werden, am besten durch Verbrennung [HOFMANN 1991].

---

## 3 Absorption

### 3.1 Verfahrensbeschreibung

Beim Absorptionsverfahren werden die im Abluftstrom enthaltenen Lösemittel (Absorptiv) von einer Waschflüssigkeit (Absorbens) aufgenommen. Zwei Verfahrensvarianten können unterschieden werden:

- *Physikalische Verfahren:* Die zu entfernenden Verbindungen und die Waschflüssigkeit reagieren nicht miteinander; eine Rückgewinnung ist grundsätzlich möglich.
- *Chemische Verfahren:* Die zu entfernenden Verbindungen und die Waschflüssigkeit reagieren miteinander, so dass eine Rückgewinnung nur bei reversibler Reaktion möglich ist.

Für die Abtrennung organischer Verbindungen kommt meist nur die physikalische Absorption zum Einsatz, da sie die Rückgewinnung von absorbierten Komponenten chemisch unverändert ermöglicht. Der Absorptionsprozess erfolgt dabei kontinuierlich durch Kombination einer Absorptionsstufe und einer nachgeschalteten Stufe, in der das beladene Absorptionsmittel regeneriert wird [PILHOFER 1990]. Die Löslichkeit eines Gases ist stark temperatur- und druckabhängig: Sie nimmt mit steigender Temperatur und sinkendem Druck ab. Somit lässt sich das Absorbens bei höherer Temperatur oder durch Entspannung regenerieren. [RENTZ 1990, 1993, ULRICH 1990]

#### 3.1.1 Absorptionsschritt

Das VOC-beladene Gas wird in einer Absorptionskolonne meist im Gegenstrom mit einer Absorptionsflüssigkeit, die die organischen Verbindungen aufnimmt, in Kontakt gebracht und gereinigt. Dazu werden häufig mit Füllkörpern gefüllte Waschtürme verwendet (vgl. Abbildung V-9). Diese Anlagen verbinden eine große Austauscheroberfläche mit geringen Druckverlusten und damit geringem Energieverbrauch [PHILIPE 1997]. Die Waschflüssigkeit wird im oberen Teil des Waschturms verdüst und rieselt über den Füllkörper dem Abgas entgegen. Durch den kontinuierlichen Abtransport der Waschflüssigkeit wird ein Konzentrationsgefälle im Absorber aufrechterhalten. Die beladene Waschflüssigkeit sammelt sich am Boden des Absorbers und wird von dort abgepumpt, erhitzt und zum Regenerator geleitet. Ein Rekuperator dient zur Wärmerückgewinnung zwischen der kalten Absorptionslösung und der warmen Desorptionslösung.

### 3.1.2 Regeneration (Desorption)

Das erwärmte, beladene Absorptionsmittel wird in einem Desorber kontinuierlich und in der Regel unter verminderter Druck destillativ von den ausgewaschenen Lösemitteln gereinigt [BREIHOFER 1991, PHILIPPE 1997]. Die Trennung erfolgt bei höheren Temperaturen als der Waschvorgang, wobei die in der Waschflüssigkeit gelösten Lösemittel unter Vakuum entweichen und anschließend kondensiert und dem Produktionsprozess erneut zugeführt werden. Die regenerierte Absorptionsflüssigkeit wird im Wärmetauscher abgekühlt und zum Absorber gepumpt [PILHOFER 1990, PHILIPPE 1997].

Die Ausstattung für die Absorption besteht aus einer Absorptions- und Desorptionskolonne sowie einem Wärmetauscher [PILHOFER 1990]. Abbildung V-9 zeigt den schematischen Aufbau der Absorptionstechnologie.

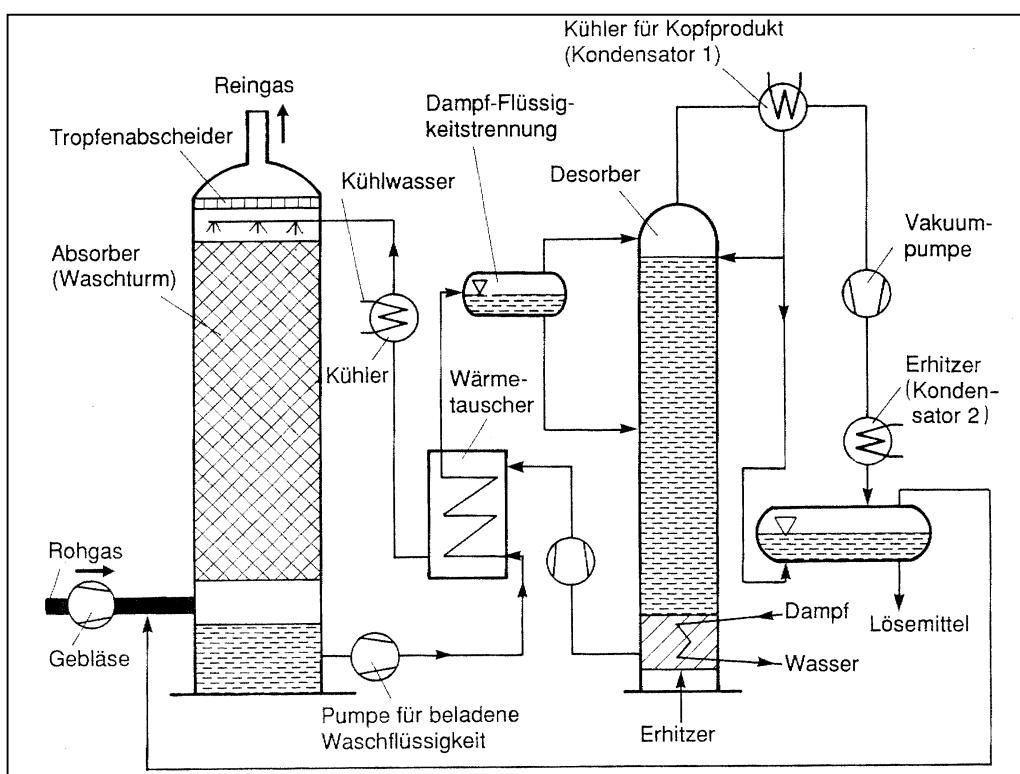


Abbildung V-9: Schematischer Aufbau der Absorptionstechnologie einschließlich Regeneration [BAUMBACH 1993]

## 3.2 Behandelbare Stoffe

Das Verfahren ist für nahezu alle Lösemittel wie z.B. Aromaten, Alkohole, Ketone, Ester einsetzbar [BAUMBACH 1992, RENTZ 1999].

---

### **3.3 Absorbens**

Folgende Anforderungen werden an das Absorbens gestellt [RENTZ 1993]:

- Gute Löslichkeit und hohe Selektivität für das Absorptiv,
- niedriger Dampfdruck (Absorbensverluste, Verunreinigung des Reingases)
- niedrige Viskosität (hohe Viskositäten vermindern den Stoffaustausch und erfordern höhere Kolonnen)
- gute Hydrolysebeständigkeit
- hohe Entzündungstemperatur
- thermische und chemische Stabilität
- niedrige Toxizität
- einfache Regenerierbarkeit.

Zahlreiche Waschflüssigkeiten erfüllen diese Bedingungen. Für einige Lösemittel - wie z.B. Methanol, Aceton - kommt auch Wasser in Betracht. Für chlorierte Kohlenwasserstoffe eignen sich organische Flüssigkeiten [ULRICH 1990]:

- N-Methylpyrrolydon (NMP)
- Silikonöle
- Paraffin (z.B. Diisopropylnapthalat)
- Hochsiedende Ester (z.B. Dibutylphthalat)
- Polyalkylenglykolether

### **3.4 Haupteinflussgrößen**

Auf den Abscheidegrad eines Absorbers haben folgende Parameter Einfluss [RENTZ 1990, PILHOFER 1990]:

- Art und Konzentration der zu absorbierenden Stoffe (Dampfdruck, Löslichkeit)
- Art des Absorptionsmittels (Dampfdruck, Löslichkeit)
- Gasgeschwindigkeit
- Stoffaustauschfläche (Verteilung Absorbens)
- Verweildauer
- Konzentrationsgefälle zwischen der Gas- und Flüssigphase
- Temperatur und Druck

Im Rohgas enthaltene VOC können bis zu 98 % abgeschieden werden [VDI 2587 Blatt 3]

## 3.5 Anwendung

Die physikalische Absorption wird zur Rückgewinnung von komplexen und wasserlöslichen Lösemittelgemischen bei hohen Abluftkonzentrationen bis 50 g C / Nm<sup>3</sup> eingesetzt. [RENTZ 1993, ADEME 1997]

Das Absorptionsverfahren ist besonders für die Reinigung von kleinen und mittleren Abgasvolumenströmen mit hoher Schadstoffbeladung geeignet. Bei größeren Abgasvolumenströmen ist der Einsatz mehrerer Absorber möglich. Vorteilhaft ist, dass das Verfahren auch bei Schwankungen der Abgasmenge, der Zusammensetzung und der VOC-Konzentration zuverlässig arbeitet und hohe Abgasfeuchten die Reinigungswirkung nicht beeinflussen. Reingaswerte von 30 - 100 mg/m<sup>3</sup> werden erreicht. Probleme können bei der Verwendung von Mehrstoffgemischen auftreten, da es infolge unterschiedlicher Affinität zum Absorbens zu unerwünschten Verdrängungseffekten kommen kann. [RENTZ 1993, 1999] Einige Einsatzdaten für die Anwendung der Absorption werden in Tabelle V-3 gegeben.

Tabelle V-3: Auslegungsbereiche von Absorptionsanlagen

| Abgas-volumenstrom<br>[m <sup>3</sup> /h] | Rohgas-konzentration<br>[g C/Nm <sup>3</sup> ] | Reingas-konzentration<br>[mg C/Nm <sup>3</sup> ] | Wirkungsgrad<br>[%] |
|---|--|--|---------------------|
| < 100.000                                 | 1 – 20   | < 50   | > 95                |

### Vorteile der Absorption

- Rückgewinnung der Lösemittel
- Auch bei hochbeladenen Abgasvolumenströmen (> 20 g/Nm<sup>3</sup>) und Gemischen organischer und anorganischer Verbindungen einsetzbar.
- Unempfindlichkeit des Verfahrens gegenüber schwankenden Schadstoffbeladungen
- Keine Probleme bei der Entfernung von polymerisierbaren Verbindungen
- Mit Wasser gesättigtes Abgas verursacht keine Betriebsstörungen

### Nachteile der Absorption

- Komplexe Anlagentechnik und Handhabung,
- die Anlagenkonzeption ist lösemittelspezifisch; damit steigt der Anpassungsaufwand bei Prozessänderungen. [RENTZ 1993, 1999, ALLEMAND 1990]

## 3.6 Investitionen und Betriebskosten

Die Eigenschaften des Abgases und die zu erreichenden Reingaswerte bestimmen die Investition für die Absorptionsanlage. Betriebskosten fallen vor allem an für:

- 
- Dampferzeugung für das Heizen der Desorptionskolonne,
  - Kühlmittel für die Kondensatoren und die Nachkühlung des Absorptionsmittels,
  - Strom, der überwiegend für die Vakuumpumpe benötigt wird und daher direkt durch den zu entspannenden Volumenstrom beeinflusst wird.

Außerdem hängen die Betriebskosten ganz entscheidend davon ab, in welchem Maße die Wärmerückgewinnung (Wirkungsgrad des Wärmetauschers) zwischen heißem regeneriertem und kaltem beladenem Absorptionsmittel gelingt.

---

## 4 Biologische Verfahren

Neben den verbreiteten Techniken der Abgasreinigung durch thermische Verbrennung, Adsorption und Absorption werden in den Sektoren teilweise **biologische Verfahren** eingesetzt (vgl. Abbildung V-10). Biologische Verfahren sind in den untersuchten Industriebereichen bisher unbedeutend und werden überwiegend zur Minderung von Geruchsemisionen eingesetzt.

### 4.1 Biofilter

Der Marktanteil der Biofiltration ist in Deutschland gering (ca. 5 %). Für die untersuchten Industriebereiche der Lack- und Klebstoffverarbeitung sind einige Anwendungen bekannt.

#### 4.1.1 Verfahrensbeschreibung

Bei der Abluftreinigung durch Biofilter werden Schad- und Geruchsstoffe durch den Stoffwechsel von Mikroorganismen abgebaut. Endprodukte des biologischen Abbaus sind im Idealfall Kohlendioxid, Wasser und Biomasse. Die Schadstoffe werden auf der Oberfläche einer Trägersubstanz sorbiert und durch Mikroorganismen, die in wässriger Phase auf dem Träger (im Wasserfilm der angefeuchteten Filtermaterialpartikel) angesiedelt sind, abgebaut [VDI 3477]. Das Verfahren eignet sich vorwiegend für gut wasserlösliche Lösemittel [BANK 1995]. Bestand und Aktivität der Mikroorganismen sind nur dann optimal gewährleistet, wenn in der Filterschicht bestimmte Milieubedingungen bezüglich Feuchtigkeit, pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Temperatur sowie Nährstoffgehalt, vorliegen. Daher muss das schadstoffhaltige Abgas vor Eintritt in den Biofilter ggf. vorbehandelt werden [SCHNEIDER ET. AL. 1996, WINDSPERGER 1991, RENTZ 1999].

##### 4.1.1.1 Apparativer Aufbau

Eine Biofilteranlage besteht aus:

- Einer vorgeschalteten Konditionierung des Abgases,
- einer Rohgasverteilung zur gleichmäßigen Anströmung des Filterbetts,
- einem Trägermaterial, auf dem das Filtermaterial gleichmäßig verteilt wird und
- einer Filterschicht.

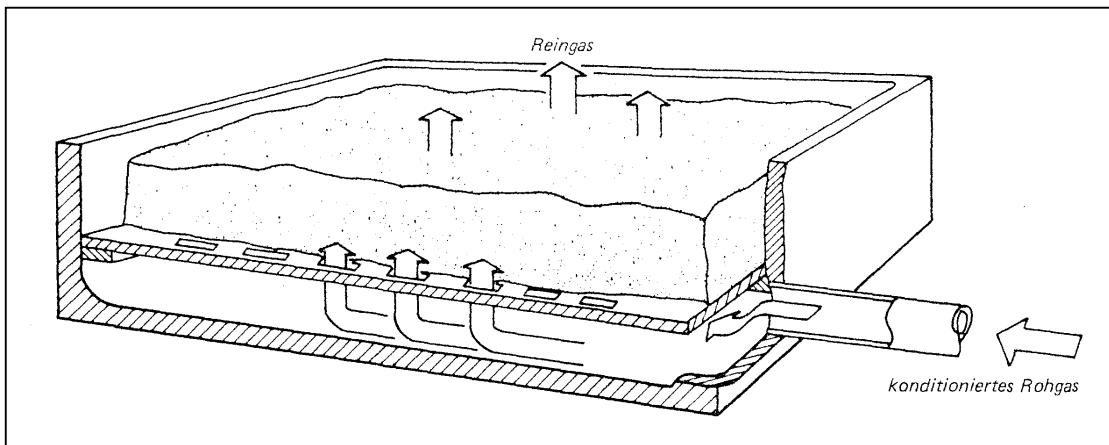


Abbildung V-10: Prinzipskizze eines Flächenfilters [VDI 3477]

### **Abgaskonditionierung**

Einzuhaltende Parameter sind zum einen eine relative Abgasfeuchte über 95% und eine Temperatur von 20 - 30 °C. [BUCHNER 1990] Hierzu wird das Rohgas zuerst je nach Anwendungsfall konditioniert und mit Hilfe eines Ventilators in den Biofilter gefördert. Zur Konditionierung des Abgases müssen in Abhängigkeit von den spezifischen Rohgas-eigenschaften Stäube entfernt und im Falle heißer Abgase ein Wärmetauscher eingesetzt werden (vgl. Abbildung V-11).

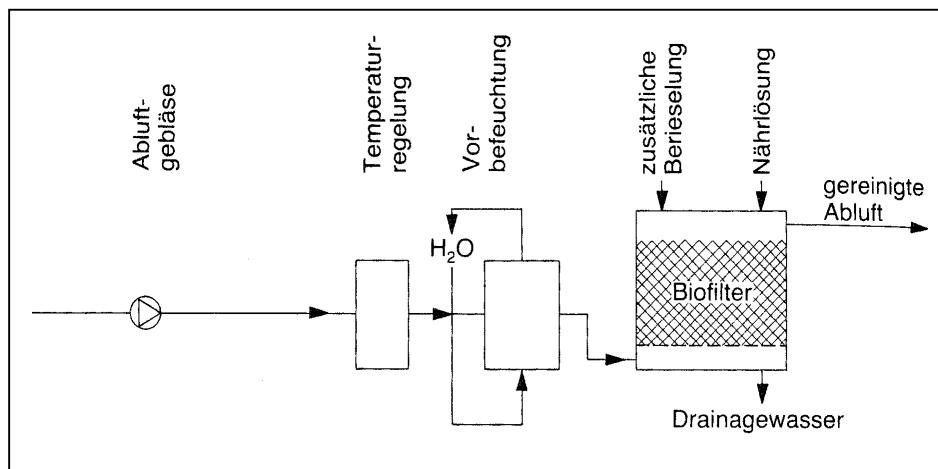


Abbildung V-11: Abgaskonditionierung vor der Behandlung [BANK 1995]

### **Filtermaterial**

Voraussetzung für die Erhaltung der Wirksamkeit des Filters ist ein Trägermaterial, das die Mikroorganismen ausreichend mit Nährstoffen versorgen kann. Daher kommen vorwiegend organische Materialien zum Einsatz. Bei inerten Filtermaterialien ist eine Ergänzung mit Nährlösung erforderlich:

- 
- Torferde und deren Abfallprodukte (z.B. Fasertorf)
  - Kompost (z.B. Müllkompost)
  - Rindenextrakt
  - Geschreddertes Holz
  - Fasertorf
  - Mischungen aus Baumrinde und geschreddertem Holz
  - Inerte Materialien (z.B. Blähton, Lava)

In der Regel sind diese Materialien als Schüttsschichten angeordnet, die von Abgasen durchströmt werden. [LIEBE 1990, BREIHOFER 1991] Bei der Auswahl des Filtermaterials sollten folgende Faktoren, die wesentlich die Leistungsfähigkeit und damit Investition und Betriebskosten beeinflussen, berücksichtigt werden [LIEBE 1990, ANGRICK 1991, VDI 3477]:

- Porenstruktur und -volumen
- Druckverlust
- Anteil von organischen Substanzen (Filterstandzeit)
- Oberfläche des Trägermaterials (ausreichender Mikroorganismenbesatz)
- pH-Wert des Filtermaterials
- Wasserbindungsvermögen (konstante Feuchte)
- Eigengeruch

Eine weitere wichtige Einflussgröße ist die Porengrößenverteilung des Filtermaterials. Das Filtermaterial lässt sich durch Beimischung von gebrochenem, gebranntem Blähton optimieren; dies bewirkt [BARDTKE 1991]:

- Erhöhung des Wasserbindevermögens,
- Erhöhung der Langzeitstabilität,
- Vermeidung kritischer Zustände, so wie z.B. Durchbruchsstörung im Randbereich und unkontrolliertes Austrocknen des Filtermaterials,
- geringe Druckverluste, d.h. höhere Anströmgeschwindigkeiten und Durchsätze, damit kann die erforderliche Filterstärke stark vermindert werden, eventuell auf 1/5,
- die Schütthöhe kann um 30% erhöht werden, dadurch geringerer Flächenbedarf.

Das Filtermaterial wird infolge der biologischen Aktivität der Mikroorganismen kompostiert. Dadurch kann es zu Verdichtungen und Inhomogenitäten kommen, die den Druckverlust in der Filterschicht erhöhen. Zur Aufrechterhaltung der Filterleistung ist ein Ersatz des Filtermaterials alle 3 bis 5 Jahre erforderlich [MCINNES 1995]. Stillstandszeiten von mehreren Wochen sind möglich. Während dieser Zeit dient das organische Filtermaterial als Nahrung

für die Mikroorganismen [LIEBE 1990]. Bei Inbetriebnahme oder bei Veränderungen der Betriebszustände ist unter Umständen mit Anpassungszeiten zu rechnen, da die Mikroorganismen von Änderungen ihrer Lebensbedingungen beeinflusst werden [BREIHOFER 1991, VDI 3477].

Tabelle V-4 gibt eine Übersicht über die Eigenschaften einiger Trägermaterialien. Nähere Angaben zur Filterleistung sind [Herlitzius 1992] zu entnehmen.

Tabelle V-4: *Eigenschaften einiger Trägermaterialien* [HERLITZIUS 1992]

| <b>Filter bzw.<br/>Trägermaterial</b>                           | <b>Zu<br/>behandelndes<br/>Lösemittel</b> | <b>Befeuchtung</b> | <b>Spezifische<br/>Abbauleistung<br/>[g/(m<sup>3</sup>/h)]</b> | <b>Luftvolumen-<br/>strom/Filter-<br/>volumen<br/>[m<sup>3</sup>/(m<sup>3</sup>/h)]</b> |
|---|---|--------------------|--|---|
| Organisches Filtermaterial                                      | Toluol                                    | Wasser             | ≈ 20   | ≈ 80  |
| Inertes Trägermaterial<br>(Schaumstoff)                         | Toluol                                    | Nährlösung         | ≈ 80   | ≈ 400   |
| Inertes Trägermaterial<br>(Schaumglas)                          | Lösemittel-<br>gemisch                    | Wasser             | ≈ 20   | ≈ 300   |
| Inertes Trägermaterial<br>(Schaumglas)<br>(ohne Luftbefeuchter) | Lösemittel-<br>gemisch                    | Nährlösung         | ≈ 80   | ≈ 300   |
| Inertes Trägermaterial<br>(Schaumglas)<br>(ohne Luftbefeuchter) | Toluol                                    | Nährlösung         | ≈ 50   | ≈ 200   |

### ***Konstruktive Ausführung des Biofilters***

Bei ausreichendem Platzangebot werden im allgemeinen Flächenfilter errichtet (vgl. Abbildung V-11). Bei Neuanlagen kommen auch Flächenfilter in Hochbauweise zum Einsatz, so dass der Raum darunter anderweitig nutzbar ist. Bei geringem Platzangebot können auch Filter in Etagenbauweise errichtet werden (vgl. Abbildung V-13) [VDI 3477].

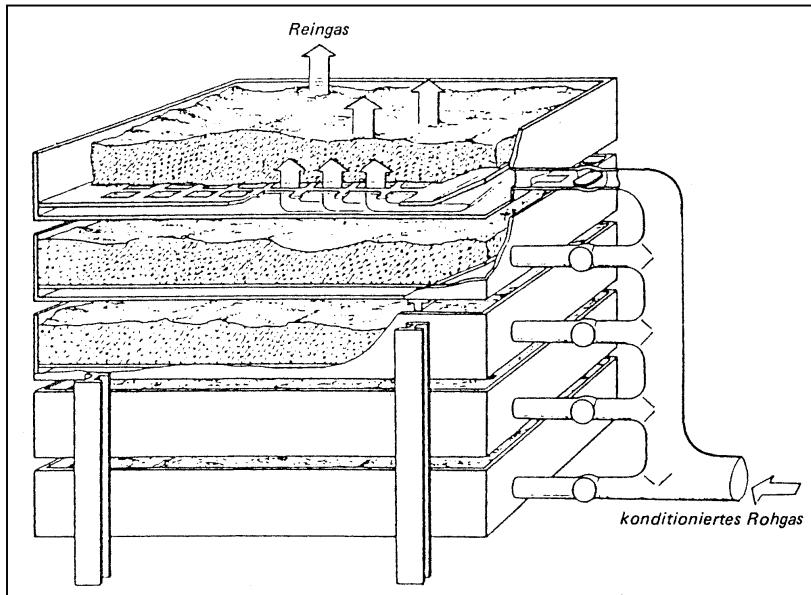


Abbildung V-12: Flächenfilter in Etagenbauweise [VDI 3477]

#### 4.1.2 Behandelbare Stoffe

Das Verfahren ist auf biologisch abbaubare und wasserlösliche organische Verbindungen anwendbar, was für die meisten geruchsintensiven Kohlenwasserstoffe zutrifft. [FISCHER 1990A, ANTKOWIAK 1991] Tabelle V-5 fasst die relative biologische Abbaubarkeit einiger VOC zusammen.

**Tabelle V - 5 Relative Abbaubarkeit von ausgewählten VOC** [MCINNES 1995, VDI 3477]

| Sehr gute Abbaubarkeit | Mittlere Abbaubarkeit | Niedrige Abbaubarkeit |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Toloul                 | Aceton                | Dioxan                |
| Xylol                  | Styrol                |                       |
| Methanol               | Benzol                | Trichlorethen         |
| Butanol                | Phenol                | Tetrachlorethen       |
| Formaldehyd            | Hexan                 |                       |
|                        | Methylethylketon      |                       |

---

Folgende Parameter haben auf den Schadstoffabbau<sup>3</sup> bei der Biofiltration einen wesentlichen Einfluss [LIEBE, 1990, VDI 3477]:

- VOC-Abbaubarkeit und -Konzentration im Abgas
- Filtermaterial,
- Höhe der Filterschicht,
- Strömungsgeschwindigkeit in der Schicht,
- Feuchtigkeit und Temperatur,
- Art, Anzahl und Aktivität der Mikroorganismen,
- Sauerstoffkonzentration im System,
- pH-Wert im Biofilter.

Unter Abwägen technischer und betriebswirtschaftlicher Aspekte wird man biologische Verfahren vor allem dann einsetzen, wenn die Rückgewinnung der Lösemittel ökologisch nicht sinnvoll ist oder die Konzentration im Abgas für eine thermische Nutzung zu niedrig ist. Biofilter werden daher bevorzugt für VOC mit geringer Konzentration (< 1g C/Nm<sup>3</sup>), häufig Geruchskomponenten, eingesetzt [BANK 1995]. Oberhalb dieser Rohgaskonzentrationen werden andere Verfahren eingesetzt, weil für die Filteranlagen zu große Betriebsflächen benötigt werden.

Bei geeigneten Voraussetzungen können Wirkungsgrade von 99 % erreicht werden [ANTKOWIAK 1991]. Folgende Einsatzkriterien sollten eingehalten werden, um zufriedenstellende Ergebnisse zu erhalten:

- Die relative Luftfeuchte bei Eintritt in die Filterfläche muss stets oberhalb von 95 % liegen,
- die Schadstoffe müssen an die Biofiltermasse sorbierbar sein,
- die Rohgastemperaturen sollten entsprechend dem Biofilter konditioniert werden, thermophil 40-60 °C, mesophil 20-40 °C, psycrophil 5-20 °C,
- hohe Partikelkonzentrationen und Aerosolbelastungen müssen vermieden werden,
- weder Säuren noch Basen dürfen ins System eingeleitet werden,
- zur ausreichenden Sauerstoffversorgung ist eine gute Belüftung erforderlich,
- bei inertem Filtermaterial ist eine ausreichende Zudosierung mineralischer Nährstoffe notwendig.

---

<sup>3</sup> Für exemplarische Abbauleistungen existierender Anlagen sei auf [VDI 3477] verwiesen.

---

### **Vorteile der Biofiltration**

- Besonders gut geeignet zur Reinigung von Abgasmengen mit geringen VOC-Konzentrationen.
- Wirkungsgrade –bis 99 % sind realisierbar.
- In der Regel sind geringere spezifische Investitionen als für die anderen Abgasreinigungsverfahren erforderlich [RENTZ 1999].

### **Nachteile der Biofiltration**

- Großer Flächenbedarf, außer z.B. Flächenfilter in Etagenbauweise
- Sauerstoffmangel und Mangel an Nährstoffen fördern die Bildung anaerober Zonen.
- Die Mikroorganismen sind auf den Abbau bestimmter Stoffe spezialisiert, daher kommt es bei Verfahrensumstellungen zu Adoptionszeiten.
- Zwischenprodukte des mikrobiellen Abbaus müssen beim Austausch des Filtermaterials berücksichtigt werden.

### **4.1.3 Anwendung**

In den Industriebereichen des Lösemittelsektors sind Anlagen im Bereich der Holzlackierung (Firma Schimmel, Braunschweig) sowie in der Reibebebelagherstellung zu finden. Ein großes Anwendungsgebiet ist die Abluftreinigung bei der MDF Faserplattenherstellung. Die Biofilteranlagen werden zur Minderung von Geruchsemissionen (VOC, Phenol, u.a.) eingesetzt. [BAUMS 2000, WESSEL-UMWELTTECHNIK 2002].

### **4.1.4 Investitionen und Betriebskosten**

Investitionen hängen vom Abgasvolumenstrom, von der biologischen Abbaubarkeit und der VOC-Konzentration im Abgas sowie vom Volumen und dem Gewicht des Trägermaterials ab. Da das Biofilterverfahren sich durch einen niedrigen Energiebedarf auszeichnet, sind die Betriebskosten relativ gering. Sie steigen mit zunehmender Filterschichthöhe und damit einhergehendem Druckverlust in der Schicht. Neben der Energie ist die einzige weitere bedeutende Kostenkomponente der Austausch des Filtermaterials (durchschnittliche Betriebsdauer: Etwa 3 – 5 Jahre [ADEME 1997]).

## **4.2 Biowäscher**

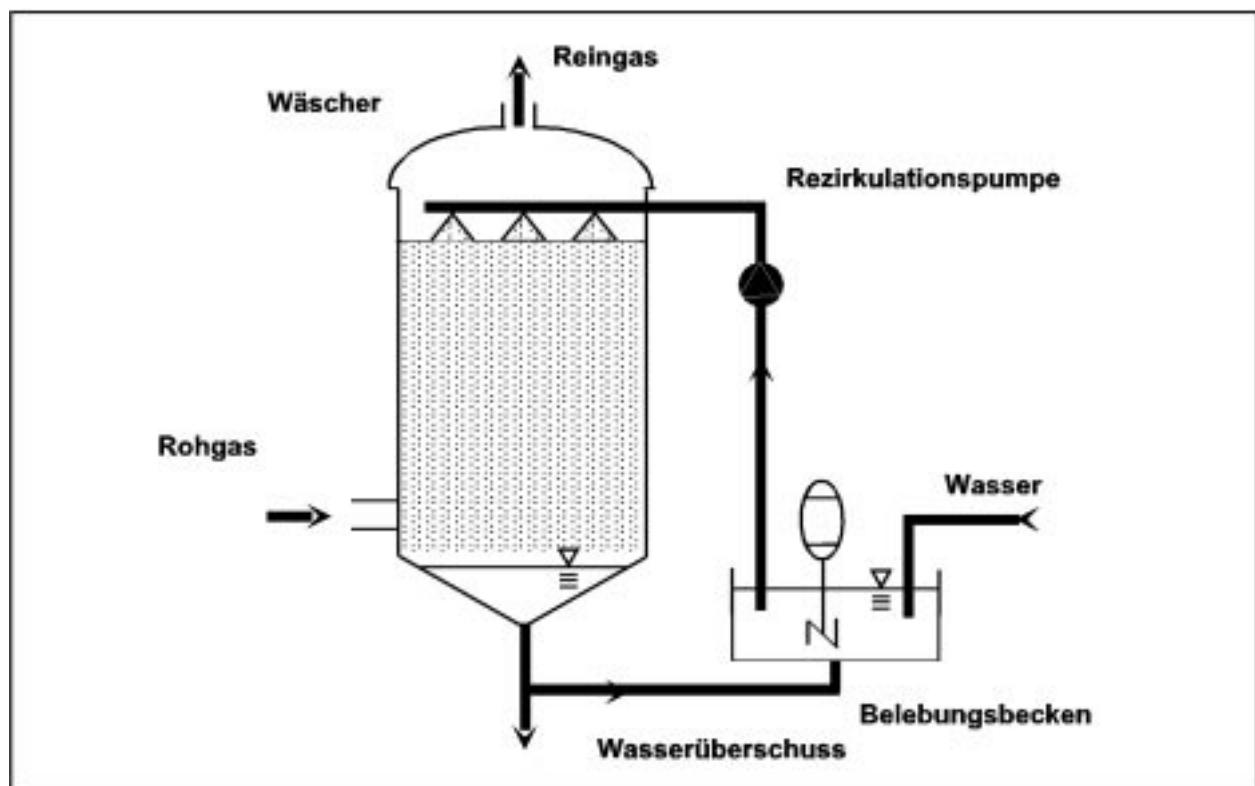
Anwendungen von Biowäschern existieren im Bereich der Beseitigung von Geruchsemissionen, VOC-Emissionen, und im Bereich der Abwasserbehandlung [Mehlis 2001]. Die technische Realisierung des zunächst notwendigen Absorptionsprozesses erfolgt in Absorbern, in denen das Absorbens mit dem zu reinigenden Gasgemisch in Verbindung

gebracht wird. Die aus dem Abgasstrom absorbierten Stoffe werden anschließend im Stoffwechsel von Mikroorganismen abgebaut [VDI 3477].

#### 4.2.1 Apparativer Aufbau

Bei den Biologischen Wäschern können zwei Verfahrensprinzipien unterschieden werden [VDI 3478]:

- Beim **Aktivschlammverfahren** sind die Mikroorganismen im Waschwasser fein verteilt. Der Wäscher wird im Gegenstrom zum Abgas von einer geeigneten Waschflüssigkeit durchströmt. Bei den Konstruktionen kommt es auf die Realisierung einer möglichst großen Phasengrenzfläche an. Man unterscheidet z.B. Füllkörper-, Gasblasen-, Bodenkolonnen-, Sprüh- oder Düsenwäscher [BREIHOFER 1991]. Die im Waschwasser enthaltenen Mikroorganismen nehmen die Schadstoffe auf und bilden mit ihnen den Aktivschlamm. Die Regeneration der Waschflüssigkeit erfolgt in einem Belebungsbecken (s. Abbildung V-14). Das Aktivschlammverfahren wird z.B. verwendet, wenn die Abbauprozesse relativ langsam sind. Damit kann der Regenerationsschritt unabhängig vom Absorptionsschritt auf Schadstoffbelastung und Abbaugeschwindigkeit angepasst werden [BANK 1995].



---

Abbildung V-13: *Schema eines Aktivschlammwäschers* [ADEME 1997]

- Beim **Tropfkörperverfahren** sind die Mikroorganismen auf Einbauten oder Füllkörpern (z.B. aus offenporigem Schaumstoff auf Polyurethanbasis) angesiedelt. Das darüber fließende Absorbens (Wasser) versorgt die Mikroorganismen mit Sauerstoff und Substrat und wird dabei regeneriert. [BREIHOFER 1991]

Eine ausführliche Beschreibung der verschiedener Systeme biologischer Abgasreinigungsverfahren findet sich bei [SCHIRZ 1996, Schneider et. al. 1996].

#### 4.2.2 Waschflüssigkeiten

Die regenerierte Waschflüssigkeit wird im Kreislauf zum Wäscher zurück gepumpt. Die abgeschiedenen Stoffe dienen den Mikroorganismen als Nährsubstrat. Die Waschflüssigkeit muss neben Kohlenstoff auch Stickstoff, Phosphor und Spurenelemente für den Aufbau der Zellsubstanz enthalten. In der Waschflüssigkeit kommt es in Folge von Verdunstung i.a. zu einer Salzanreicherung. Eine Absorbensaufsalzung wird durch das Abziehen von Absorbens und durch Zufuhr von Frischwasser vermieden [VDI 3478]. Zur Verbesserung des Abscheidegrades kann eine Einstellung des pH-Werts der Waschflüssigkeit durch Zugabe von Chemikalien (Natronlauge oder Schwefelsäure) erforderlich sein. Je nach Abgaszusammensetzung kann auch eine zweistufige Absorption notwendig sein, dabei wird ein Wäscher alkalisch (pH-Wert 7 bis 9) und der andere sauer (pH-Wert 4 bis 7) eingestellt [BREIHOFER 1991].

#### 4.2.3 Behandelbare Stoffe

Folgende Lösemittel und deren Gemische lassen sich biologisch abbauen:

- Alkohole: Ethanol, Isopropanol, Methanol,
- Phenole,
- Glykole: Ethylenglykol,
- Glykolether,
- Ester: Essigsäueremethylester,
- Ketone: Aceton, Methylketon,
- Aldehyde: Formaldehyd,
- Schadstoffe, die hinsichtlich Mikroorganismen weniger löslich oder toxisch sind, wie z.B. Benzol, Toluol, Styrol, chlorierte Lösemittel (unter der Bedingung, dass eine Wasser-/Ölmischung als Reinigungsflüssigkeit verwendet wird).

---

#### **4.2.4 Einflussgrößen auf die Anwendbarkeit der Biowäscher**

Der Abbau der Schadstoffe hängt im wesentlichen von folgenden Parametern ab:

- Die Schadstoffe müssen biologisch abbaubar sein.
- Die Schadstoffe müssen mit Wasser oder einem Wasser-Belebtschlamm-Gemisch aus dem Abgas auswaschbar sein.
- VOC-Konzentration im Abgas,
- O<sub>2</sub>-Gehalt, pH-Wert, Temperatur, und Phosphat-Stickstoffverhältnis der Waschflüssigkeit,
- VOC-Beladung der Waschflüssigkeit,
- Konzentration der Mikroorganismen und ihre Adaption an die umzuwandelnden VOC.

#### **4.2.5 Anwendungen**

Wie die Biofiltration sind die Biowäscher ursprünglich hauptsächlich für die Entfernung von Geruchsstoffen verwendet worden. Heutzutage werden Biowäscher z.B. auch zur Emissionsminderung bei Lackierprozessen angewandt [KOHLER 1990]. Der typische Anwendungsbereich von Biowäschern und Rieselbettreaktoren liegt bei Abgasen mit Konzentrationen an organischen Verbindungen bis ca. 2 g /Nm<sup>3</sup> [VDI 3478]. Biowäscher eignen sich besonders für große Abgasvolumenströme (bis 1 000 000 Nm<sup>3</sup>/h ). Es können Reingaskonzentrationen von 90 mg/m<sup>3</sup> und weniger eingehalten werden . [MCINNES 1995, SCHULZE 2002].

In den untersuchten Industriebereichen wird eine Biowäscheranlage (Aktivschlammwäscher) zur Verminderung der VOC-Emissionen bei Lackierprozessen in der Getränkedosenfertigung verwendet. Die Anlage wird dabei im Stand-by Betrieb gefahren, um als Abluftreinigung bei Ausfall der thermisch regenerativen Nachverbrennung als Ersatzanlage zugeschaltet zu werden. Für exemplarische Daten von Biowäschern bei der Getränkedosenlackierung sei auf [VDI 3478] verwiesen.

#### **4.2.6 Investitionen und Betriebskosten**

Die betriebsmittelverbrauchsabhängigen Kosten sind im Vergleich zu nicht biologischen Reinigungsverfahren wesentlich geringer, einschließlich Energie, Wasser und Verbrauch von Chemikalien. Dennoch liegen die Investitionen und Kosten eines Biowäschers aufgrund des zweistufigen Prozesses über denen der Biofiltration.

### **5. Kondensation**

Die Kondensation ist keine eigenständige Emissionsminderungsmaßnahme, sondern wird in den meisten Anwendungen als Verfahren zur Vorabscheidung von Lösemitteln zusammen mit

---

nachgeschalteten Emissionsminderungsverfahren angewendet. Zur Einhaltung von Emissionswerten, wie sie sich aus deutschen und europäischen rechtlichen Vorgaben ergeben, ist die Kondensation auch bei sehr niedrigen Kondensationstemperaturen, i.d.R. nicht ausreichend [BANK 1995]. Die Kondensation wird daher als Verfahren zur **Vorabscheidung** von Lösemitteln aus Abluftströmen, z.B. bei Inertgastrocknern verwendet. Zur Einhaltung der Grenzwerte müssen *Anlagen mit anderen Abgasreinigungsverfahren* nachgeschaltet werden [RINNER 2001].

## 5.1 Verfahrensprinzip

Der lösemittelhaltige Abgasstrom wird auf eine Temperatur unterhalb des Taupunktes der Verbindungen abgekühlt und das Kondensat direkt aufgefangen. Zur Abscheidung leichtflüchtiger Lösemittel sind sehr tiefe Kondensationstemperaturen notwendig. Ein besonderes Problem des Kondensationsverfahrens liegt darin, dass Wasser und andere Stoffe je nach Betriebsweise aus dem Abgas, mit höheren Gefrierpunkten als die organischer Lösemittel, in den Aggregaten zur Vereisung führen. Daher müssen Kondensationsanlagen im allgemeinen mit Abtauvorrichtungen versehen werden. Durch eine Vorkonditionierung des Abgases sollte nach [BANK 1995] eine Luftentfeuchtung stattfinden, um auch eine Kontamination von zurückgewonnenen, wasserlöslichen Lösemitteln zu verhindern [ULRICH 1990, RENTZ 1999]. Für eine ausführliche Beschreibung apparatetechnischer Umsetzungen sei auf [HERZOG, GRABHORN 1996] verwiesen.

Die Verfahren der Kondensation sind aus energetischen Gründen nur wirtschaftlich anwendbar, wenn die Lösemittelkonzentrationen im Abgas / Trägergas im Bereich der Sättigungskonzentration liegen und die Trägergasmengen möglichst gering sind. Ein generelles Problem besteht darin, dass der Lösemittelanteil die Explosionsgrenze überschreiten kann. Daher wird die Anlage mit einem Inertgas (i.a. Stickstoff) anstelle von Luft als Trägergas betrieben.

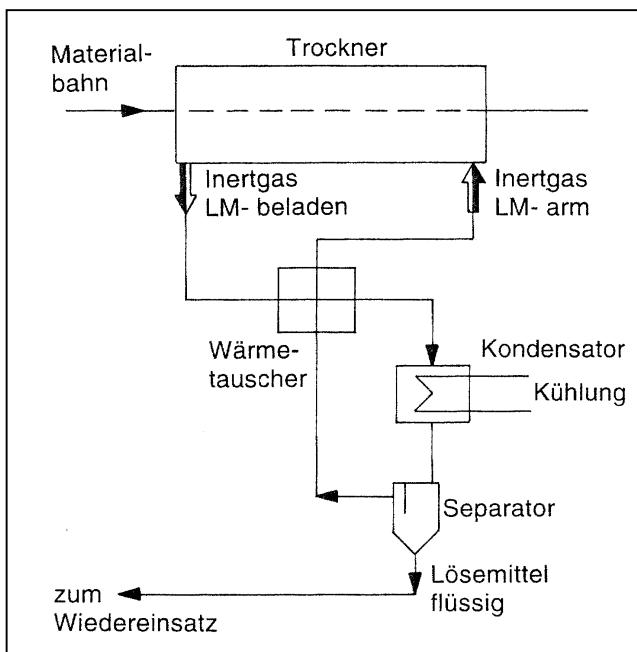


Abbildung V-14: indirekte *Kondensationsverfahren zur Lösemittelabscheidung bei der Lacktrocknung im Inertgastrockner* [Bank 1995].

Grundsätzlich werden die **indirekte** und **direkte Kondensation** unterschieden:

- Bei der **indirekten Kondensation** erfolgt die Kondensation an Kühlflächen (durch Wasser oder Kühlmittel gekühlt).
- Bei der **direkten Kondensation** wird ein Kühlmittel direkt in den beladenen Abgasstrom gegeben.

### 5.1.1 Kondensationsmittel

Als Kühlmittel für Temperaturen unter 0 °C sind Gemische aus Methanol und Wasser oder aus Glykol und Wasser (-15 °C bis 5 °C) sowie in Wasser gelöstes KCl (-30 °C bis 15 °C) in Kältemaschinen im Einsatz. Für den Bereich der Tieftemperatkondensation (sog. Kryokondensationsverfahren) wird flüssiger Stickstoff (Siedepunkt: -196 °C) zur Kühlung verwendet. [BREIHOFER 1991, RINNER 2001]

### 5.1.2 Behandelbare Stoffe

Folgende Parameter werden für die Anwendung des Kondensationsverfahrens als relevant angesehen:

- 
- Art und Konzentration der zu kondensierenden Komponenten
  - Dampfdruckkurven der Komponenten
  - Ausgangstemperatur des Gases
  - Abgasvolumenstrom
  - Art des Kondensationsprozesses
  - Temperatur des Kondensators
  - Eigenschaften des Kühlmittels.

Ein selektives Abtrennen einzelner Gaskomponenten ist bei Mehrstoffgemischen oft nicht möglich, wenn die Dampfdruckkurven verschiedener Komponenten ähnliche Verläufe aufweisen [SCHULTES 1996]. Ein begrenzender Faktor für die Einsetzbarkeit von Kondensationsprozessen ist die notwendige Energie zum Erreichen des Taupunktes der zu kondensierenden Substanzen.

### **5.1.3 Anwendung**

Die Tieftemperaturkondensation eignet sich speziell für Abgasströme mit hohen Konzentrationen an teuren Lösemitteln. Das Verfahren der kryogenen Kondensation wird in der Spezialitätenchemie und der Pharmazeutischen Industrie eingesetzt [TREMBLEY 1998].

Das Kondensationsverfahren wird in den untersuchten Industriebereichen bei der Vortrocknung von Klebstoffbeschichteten Klebebändern verwendet. Dabei kommen Inertgastrockner mit Stickstoff als Trägergas zum Einsatz. Zur weiteren Rückgewinnung der VOC aus dem Abgas und zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte der TA-Luft, wird eine Adsorptionsanlage nachgeschaltet.

#### **Vorteile der Kondensation**

- Das wiedergewonnene Lösemittel kann direkt in den Prozess zurückgeführt werden.
- Die direkte Kondensation hat gegenüber der indirekten den Vorteil, dass ein schnellerer Wärmeaustausch und ein homogeneres Gas/Dampfgemisch mit dem Kühlmittel erreicht werden; somit sind weniger Kühlungshilfsmittel erforderlich [BAUM 1988, SCHIFFBAUER 1990].

---

### **Nachteile der Kondensation**

Das Kondensationsverfahren ist nicht geeignet [SCHIFFBAUER 1990], wenn:

- Niedrige Lösemittel-Konzentrationen vorliegen,
- ein großer Abgasvolumenstrom bewältigt werden muss sowie
- Komponenten im Abgas vorhanden sind, die den Kondensationsprozess behindern.

Außerdem sind zwei weitere entscheidende Nachteile zu verzeichnen:

- Eine selektive Kondensation ist meistens nicht möglich.
- Bei der direkten Kondensation ist zusätzlich ein weiterer Prozessschritt notwendig, um die Flüssigkeit vom wiedergewonnenen Lösemittel zu trennen.

#### **5.1.4 Investitionen und Betriebskosten**

Die Investition hängt v.a. vom Wärmetauscher und den Kühlaggregaten ab. Die Betriebskosten sind v.a. an den Energiebedarf und den Kühlmittelverbrauch gebunden.

## **6 Kriterien zur Auswahl der Emissionsminderungsmaßnahmen**

Für die Anwendbarkeit der beschriebenen Emissionsminderungsmaßnahmen sind die folgenden technischen Parameter zu untersuchen [RENTZ 1996, VDI 3476, VDI 3477]:

- Erforderlicher VOC-Minderungsgrad;
- Eigenschaften des Abgases: Komplexität der Gaszusammensetzung, Abgasvolumenstrom, VOC-Konzentration im Abgas;
- räumliche Betrachtung: benötigter Platz für die Koppelung der Anlage, für die Einführung eines geschlossenen Kreislaufsystems, für die Nachrüstung;
- technisch-wirtschaftliche Nutzungsdauer;
- zusätzlich benötigte technische Anlagen, z.B. zum Erzeugen von Wasserdampf oder Stickstoff;
- Qualitätsanspruch in Bezug auf wiedergewonnene Lösemittel.

Relevante Kriterien für die Anwendbarkeit von VOC-Minderungsmaßnahmen sind in Tabelle V-1 dargestellt.

**Tabelle I-1:** Überblick über relevante Parameter für die Einsetzbarkeit von sekundären Maßnahmen nach:

[KOCH, 2002, SCHULZE, EISENMANN 2001, BANK 1995, SCHULTES 1996, BAUMBACH 1993]

| Parameter                                       | Kondensation<br>Nur als<br>Vorabscheidung | Adsorption <sup>(1)</sup> | Absorption | Thermische<br>rekuperative<br>Nachver-<br>brennung | Katalytische<br>rekuperative<br>Nachver-<br>brennung | Thermische<br>regenerative<br>Nachver-<br>brennung | Katalytische<br>regenerative<br>Nachver-<br>brennung | Biofilter     | Biowäscher    |
|---|---|---------------------------|------------|--|--|--|--|---------------|---------------|
| <b>Beladung (L) [g C/Nm<sup>3</sup>]</b>        |   |                           |            |  |  |  |  |               |               |
| > 10  | ++  | +                         | ++         | ++   | -  | -  | -  | -             | -             |
| 5 – 10  | o   | ++                        | +          | ++   | o  | +  | o  | -             | -             |
| 1 – 5   | -   | ++ <sup>4</sup>           | +          | +  | ++   | ++   | ++   | o             | ++            |
| < 1   | -   | ++                        | 0          | 0  | o  | 0  | +  | ++            | ++            |
| <b>Abgasvolumenstrom<br/>[Nm<sup>3</sup>/h]</b> |   |                           |            |  |  |  |  |               |               |
| 50.000 – 100.000                                | -   | ++++ <sup>)</sup>         | ++         | +  | -  | +  | +  | +             | ++            |
| 5.000 bis 50.000                                | o   | +                         | ++         | ++   | ++   | ++   | ++   | ++            | ++            |
| bis 5000  | ++  |                           | +          | ++   | ++   | +  | ++   | ++            | +             |
| <b>Lösemittelrück-<br/>gewinnung</b>            | möglich                                   | Möglich                   | möglich    | nicht möglich                                      | nicht möglich  | nicht möglich                                      | nicht möglich  | nicht möglich | nicht möglich |

++ = besonders geeignet

+ = geeignet

o = weniger geeignet

- = ungeeignet

<sup>1</sup> Bei mittleren bis großen Abgasvolumenströmen mit VOC-Beladung von < 1 – 5 g/Nm<sup>3</sup> wird häufig die Adsorption als Konzentrationsstufe für TNV verwendet [EISENMANN 2001, BANK 1995].



---

## **Quellenverzeichnis**

**[ADEME 1997]**

ADEME, MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT: *La Réduction des Emissions de Composés Organiques Volatils dans l'Industrie*, Februar 1997

**[ALLEMAND 1990]**

ALLEMAND, N.: *Control of Emissions of Volatile Organic Compounds from Printing Industries*, CITEPA; Final Report, Paris, October 1990

**[ANTKOWIAK 1991]**

ANTKOWIAK, R.: *Schadstoffe zum Fressen gern*: VDI-Nachrichten, (1991)

**[ANGRICK 1991]**

ANGRICK, M.: *Verfahrenstechnische Grundlagen und Probleme der biologischen Abgasreinigung mittels Biofilter*, Proceedings UTECH '91, Berlin, 08.02.1991

**[BAUDU 1990]**

BAUDU, M.; MARTIN, G.; LE CLOIREC, P.; FRITSCH, G.; GELY, P.: *La régénération de tissu de charbon actif (TCA) à l'air chaud, développement semi-industriel*, Pollution Atmosphérique, (1990) 3, S. 298 – 305

**[BANK 1995]**

BANK M. : *Basiswissen Umwelttechnik*, Vogelverlag 1995

**[BAUMS 2001]**

BAUMS, A.: *Persönliche Mitteilungen*, 01.2001

**[BAUM 1988]**

BAUM, F.: *Luftreinhaltung in der Praxis*, München, 1988

**[BAUMBACH 1993]**

BAUMBACH G.: Luftreinhaltung, 3. Auflage, Springer Verlag 1993

**[BÖRGER 1989]**

BÖRGER, G.-G.: *Luftreinhaltung auf der Envitec '89* , in: Chem.-Ing.-Tech., 61 (1989) 7, S. 328 – 334

**[BÖRGER 1992]**

BÖRGER, G.-G.: *Geringere Emissionen aus Aktivkohle-Adsorbern durch verbesserte Dampf-Regeneration*, in: Chem.-Ing.-Tech., 64 (1992) 2, S. 200 – 201

**[BREIHOFER 1991]**

BREIHOFER, D.; MIELENZ, A., RENTZ, O.: *Maßnahmen zur Minderung der Emissionen von SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und VOC bei stationären Quellen in der Bundesrepublik Deutschland*, Karlsruhe, Mai 1991

**[BUCHNER 1990]**

BUCHNER, R.; SCHMIDT, A.; STEFAN, K.; WINDSPERGER, A.: *Einsatz von Biofiltern, Einsatzmöglichkeiten und praktischer Betrieb*, Institut für Verfahrenstechnik, Brennstofftechnik und Umwelttechnik, Wien, 1990

**[BRUIJNES 1996]**

BRUIJNES, C.; DUESMANN, H.: *Progress in Implementing Volatile Organic Compound Control*

---

*Measures*, in: Sixth Seminar on Control Technology for Emissions from Stationary Sources, Budapest, Hungary, 14. – 17.10.1996

**[CARLOWITZ 2001]**

CARLOWITZ O., CLAUSTAHLER UMWELTTECHNIK-INSTITUT GMBH, CLAUSTHAL-ZELLERFELD, Mitteilungen August 2001

**[CARLOWITZ 1996]**

CARLOWITZ O.: *Thermische Verbrennung mit regenerativer Abgasvorwärmung*, VDI-BERICHTE 124, VDI-VERLAG 1996

**[DUESO 1996]**

DUESO, N.: *State of the Art on VOC Control Options and Best Available Technologies for VOC Treatment*, in: Sixth Seminar on Control Technology for Emissions from Stationary Sources, Budapest, Hungary, 14. – 17.10.1996

**[EIGENBERGER 1988]**

EIGENBERGER, G.: *Abluftreinigung – Schadgase und Gerüche, Jahresbericht*, ALS-Kolloquium, Universität Stuttgart, Deutschland, 1988

**[EISENMANN 2001]**

Eisenmann Maschinenbau KG, Böblingen: Umwelttechnik: Abluftreinigung, 2001

**[EITNER 1990]**

EITNER, D.: *Biofilter in der Praxis*, in: Fischer, K. et al.: Biologische Abluftreinigung, Tübingen, 1990

**[FRITZ 1990]**

FRITZ, W.; KERN, H.: *Reinigung von Abgasen*, Würzburg, 1990

**[GRASHOF 1987]**

GRASHOF, J.; NOPPEN, R.: *Emissionsminderung bei Spritzkabinen von Automobilackieranlagen*, Abschlußbericht, Stuttgart, Dezember 1987

**[GOLIBRZUCH 1990]**

GOLIBRZUCH, W.: *Thermische Abluftreinigungsanlagen; Produktinformation der IUW Ingenieurgesellschaft für Wärme- und Umwelttechnik mbH*, Bad Neuenahr-Ahrweiler, 1990

**[HERLITZIUS 1992]**

HERLITZIUS, H.: *Lösemittelabscheidung in einer Druckfarbenfabrik*, Vortragsunterlagen UTECH '92, Berlin, 18.02.1992

**[HERZOG, GRABHORN 1996]**

HERZOG F., GRABHORN, H.: *Abgasreinigung mit kryotechnischen Verfahren*, VDI-Berichte Nr. 1241, VDI-Verlag 1996

**[HESSE 1988]**

HESSE, T.; LIEBSCH, U.; LANGE, L.; SUßMANN, K.: *Großtechnische Erprobung der Lösemittelrückgewinnung an Spritzkabinen der Automobilindustrie*, Final Report BMFT-Project 145038117 at Mercedes-Benz, Sindelfingen, Deutschland, Dezember 1988

**[HERZOG 1997]**

HERZOG, H.; THISSEN, N.: *Biologische Abluftreinigung am Beispiel der Lackherstellung*, in: Wasser, Luft und Boden (1997) 3

---

**[HOFMANN 1991]**

HOFMANN, R.: *Sonderabfälle verwerten*, in: Umwelt, 21 (1991) 5, S. 266 – 267

**[JAUNS-SEYFRIED]****1995]**

JAUNS-SEYFRIED, S.: *Simulation des Betriebsverhaltens von Festbettregeneratoren in thermischen und katalytischen Abgasreinigungsanlagen*, Dissertation, Technische Universität Claustahl-Zellerfeld

**[KITTRELL]**

KITTRELL, J. R.; QUINLAN, C. W.; ELDRIDGE, J. W.: *Direct Catalytic Oxidation of Halogenated Hydrocarbons*, in: Air Waste Management Association, 41 (1991) 8, S. 1129 – 1133

**[KRILL 1996]**

KRILL, H.: *VOC Control technology - An Overview*, in: Sixth Seminar on Control Technology for Emissions from Stationary Sources, Budapest, Hungary, 14. – 17.10.1996

[Koch 2002]

Umweltbundesamt, persönliche Mitteilung

**[KOHLER 1990]**

KOHLER, H.: *Biowässer - Aufbau, Verfahrensvarianten, Dimensionierung*, in: Fischer K. (ed.): Biologische Abluftreinigung, Ehningen, 1990

**[LESON 1991]**

LESON, G.; WINER, A.M.: *Biofiltration: An Innovative Air Pollution Control Technology for VOC Emissions*, in: Journal of Air Waste Management Association, 41 (1991) 8

**[LIEBE 1990]**

LIEBE, H.-G.: *Biofilter, hohe Leistung bei niedrigen Kosten*, in: Chemische Industrie, (1990) 5

**[MACHEJ]**

MACHEJ, T. (INSTITUTE OF CATALYSIS AND SURFACE CHEMISTRY, POLISH ACADEMY OF SCIENCES): *Persönliche Mitteilung*, Juli 1997

**[Mehlis 2001]**

Mehlis, H.: Eisenmann Maschinenbau KG, Böblingen; persönliche Mitteilungen, August

**[MERSMANN 1990]**

MERSMANN, A.; BÖRGER, G. G.; SCHOLL, S.: *Abtrennung von gasförmigen Stoffen durch Adsorption*, in: Proceedings GVC-VDI-Seminar ‘Stofftrennverfahren in der Umwelttechnik’, Köln, Deutschland, 4. - 5.12.1990

**[MCINNES 1995]**

MCINNES, R. G.: *Explore New Options for Hazardous Air Pollutant Control*, in: Chemical Engineering Progress, November 1995

**[PHILIPPE 1997]**

Philippe, J. L: *Lösemittelrückgewinnung aus Abluftströmen aus Abluftströmen durch Absorption und Pervaporation*, Fortschrittsberichte Nr. 192, 1997

**[PILHOFER 1990]**

PILHOFER, T.: *Abtrennung und Rückgewinnung von organischen Stoffen durch Absorption*, in:

---

Proceedings GVC-VDI-Seminar ‘Stofftrennverfahren in der Umwelttechnik’, Köln, 4 - 5.12.1990

**[RENTZ 1999]**

RENTZ, O.; NUNGE, S.; LAFORSCH, M.; HOLTMANN, T.: *Technical Background Document for the Actualisation and Assessment of UN/ECE Protocols related to the Abatement of the Transboundary Transport of Volatile Organic Compounds from Stationary Sources*; Report of the Task Force on the Assessment of the Abatement of the Transboundary Transport of Volatile Organic Compounds from Stationary Sources, Karlsruhe, September 1999

**[RENTZ 1993]**

RENTZ, O.; HOLTMANN, T.; OERTEL, D.; RÖLL, C.: *Konzeption zur Minderung der VOC-Emissionen in Baden-Württemberg*, Bericht der VOC-Kommission der Landesregierung von Baden-Württemberg an das Umweltministerium Baden-Württemberg, Karlsruhe, Januar 1993

**[RENTZ 1996]**

RENTZ, O.; KIPPELEN-MOLLENKOPF, C.; WIETSCHEL, M.; ZUNDEL, T.: *A Review of the Options to Reduce VOC Emissions Due to the Use of Organic Solvents - Technical and Economical Aspects*, in: Sixth Seminar on Control Technology for Emissions from Stationary Sources, Budapest, Hungary, 14.-17.10.1996

**[RINNER 2001]**

RINNER, M.: *Kryokondensation* Shaker Verlag 2001

**[SCHIFFBAUER 1990]**

SCHIFFBAUER, R.: WITTY, W.: *Abtrennung und Rückgewinnung von Stoffen durch Tieftemperaturkondensation*, in: Proceedings GVC-VDI-Seminar ‘Stofftrennverfahren in der Umwelttechnik’, Köln, Germany, 4. – 5.12.1990

**[SCHIFFBAUER 1988]**

SCHIFFBAUER, R.: *Abluftreinigung durch Lösungsmittelrückgewinnung*, in: Chemieanlagen + Verfahren, (1988) 9, S. 30 – 39

**[SHAPIRO 1997]**

SHAPIRO & ASSOCIATES: *Options for Standards and Guidelines for Reduction of VOC Emissions from Canadian Woodfinishing Operations*, Project Number K2218–6–0027, to Environment Canada, April 1997

**[SCHULTES 1996]**

SCHULTES M.: *Abgasreinigung: Verfahrensprinzipien, Berechnungsgrundlagen, Verfahrensvergleich*, Springer Verlag 1996

**[SCHNEIDER ET.AL. 1996]**

SCHNEIDER M, Margesin R., Schinner F.: *Praxis der biotechnologischen Abluftreinigung*, Springer-Verlag 1996

**[Schulze 2002]**

Wessel - Umwelttechnik , persönliche Mitteilung

**[TREMBLEY 1998]**

TREMBLEY, J.; MONROE, C.: *Cryogenic Solvent Recovery in the Pharmaceutical/Fine Chemical Industry*, in: Conference Documentation, Volatile Organic Compounds, London, 9. - 10.03.1998

---

**[ULRICH 1990]**

ULRICH, M.; MÜLLER, G.: *Abtrennung und Rückgewinnung von Stoffen aus Abluftströmen*, in: Proceedings GVC-VDI-Seminar ‘Stofftrennverfahren in der Umwelttechnik’, Köln, Germany, 4 – 5.12.1990

**[VDI 3674]**

VDI (ED.): *VDI-Richtlinie 3674, Abgasreinigung durch Adsorption: Prozessgas und Abgasreinigung Lösemittel*, Düsseldorf, Mai 1998

**[VDI 2442]**

VDI (ED.): VDI-RICHTLINIE 2442: *Abgasreinigung durch thermische Verbrennung*, Juni 1987

**[VDI 3476]**

VDI (ED.): VDI-RICHTLINIE 3476: *Katalytische Verfahren der Abgasreinigung*, Juni 1990

**[VDI 3477]**

VDI (ED.): VDI-Richtlinie 3477: *Biologische Abluftreinigung, Biofilter*, Düsseldorf, 1985

**[VIGNERON 1996]**

VIGNERON, S.: *Recent Progress in VOC Control Techniques*, in: Workshop on Harmonization of Legal Frameworks for VOC Abatement and Available Control Options, Zagreb, 13.-14.06.1996

**[VOGEL 1991]**

VOGEL, U.; CEDRASCHI, P.: *Verfahren zur Verminderung der Kohlenwasserstoffemissionen in der Industrie im Überblick*, Produktinformation, 1991

**[ULRICH 1990]**

ULRICH, M.; MÜLLER, G.: *Abtrennung und Rückgewinnung von Stoffen aus Abluftströmen*, in: Proceedings GVC-VDI-Seminar ‘Stofftrennverfahren in der Umwelttechnik’, Köln, Deutschland, 4. – 5.12.1990

**[WINDSPERGER 1991]**

WINDSPERGER, A.: *Reinigung lösungsmittelhaltiger Abluft mit Biofiltern, Teil 2: Modellrechnung zur Bestimmung des Abbauverhaltens*, in: Staub – Reinhaltung der Luft, (1991) 51

---

## **Anhang VI:**

### **Fallstudien**

---

## **VI.1 Fallstudie zur Serienlackierung von Pkws bei der Volkswagen AG**

Im Rahmen der Fallstudie bei der Volkswagen AG zur Dokumentierung der Serienlackierung von Pkws wurden folgende Anlagen untersucht:

- die Grundstrasse F zur Vorbehandlung/KTL in Halle 12 (Werk Wolfsburg)
- der 5a Prozess zur Decklackierung in Halle 9 (Werk Wolfsburg), und
- die Grundstrasse zur Vorbehandlung/KTL in Halle 17 (Werk Emden)

In der Automobilindustrie wird in Zukunft der Trend weiterhin darin bestehen, den Treibstoffverbrauch von Fahrzeugen zu senken, was zur Herstellung von leichteren Autos durch Erhöhung des Anteils der Kunststoff- bzw. Aluminiumteile führen wird. Die Lackieranlagen müssen deshalb künftig so konzipiert werden, dass unterschiedliche Substrate behandelt bzw. beschichtet werden können. In diesem Zusammenhang stellt die Lackierung des LUPO ein besonders gutes Beispiel dar.

### **Grundstrasse zur Vorbehandlung/KTL in Halle 17 (Werk Emden)**

Diese Grundstrasse wurde 1996 neu errichtet und gewährleistet die neuen umweltschutztechnischen und verfahrenstechnischen Erkenntnisse.

### **Grundstrasse F zur Vorbehandlung/KTL in Halle 12 (Werk Wolfsburg)**

Die 1978 errichtete Grundstrasse F wurde 1998 maßgeblich verändert: Sie wurde nach neuen umweltschutztechnischen und verfahrenstechnischen Erkenntnissen umgebaut und zum Teil neu errichtet.

In dieser Grundstrasse werden die LUPO-Karossen vorbehandelt. Ihre gewichtssparende Konstruktion (Mischbauweise Stahl/Aluminium) stellt besondere Anforderungen an die Vorbehandlung und Tauchlackierung. Anzumerken ist, dass z.B. die Phosphatierung wesentlich schwieriger für Aluminium als für Stahl ist. Zur Erfüllung der Qualitätsanforderungen muss deshalb die Phosphatierungslösung angepasst werden.

### **Decklackierstrasse 5a Prozess in Halle 9 (Werk Wolfsburg)**

Diese Strasse wurde 1996 zur Decklackierung der LUPO-Karossen neu errichtet.

---

## VI.1.1 GRUNDSTRASSE Halle 17 (Vorbehandlung/KTL) Volkswagen AG Werk Emden

### Allgemeine Informationen zur Anlage

|   |   |
|---|---|
| Name und Ort der Anlage   | Wolksvagen AG, Werk Emden<br>Vorbehandlungsanlage/KTL   |
| Jährliche Kapazität   | 330 000 Fahrzeuge/a (1998)<br>Kapazität: 1 350 Fzg/Tag (Auslegung)<br>1100 Fzg/Tag (derzeit genutzt)<br>(Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000)   |
| Jahresbetriebsstunden   | 5 Tage/Woche, 3 Schichten/Tag +<br>1 Schicht Sonntag nachts<br>(Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000)  |
| Jahr der Inbetriebnahme   | 1996  |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher Änderungen   | Filtration, Entölung  |
| Kurzbeschreibung des Produktionsverfahrens:<br><br>Abfolge der wesentlichen Prozessschritte | <i>Vorbehandlung</i><br>Zone 1: Vorwärmen und reinigen<br>Zone 2: Spritzentfetten<br>Zone 3: Tauchentfetten<br>Zone 4: Spritzspülen<br>Zone 5: Tauchspülen<br>Zone 6: Tauchphosphatieren<br>Zone 7: Spritzspülen<br>Zone 8: Tauchspülen<br>Zone 9: Tauchreaktion<br>Zone 10: Spülen<br><br><i>Kataphoretische Tauchlackierung (KTL)</i><br>Zone 1: KTL-Tauchbecken<br>Zone 2: Rezirkulat<br>Zone 3: Reinfiltrat-Tauchen<br>Zone 4: VEW-Spülen |
| Karosse   | Zu behandelnde Fahrzeugoberfläche: 90 m <sup>2</sup><br>(Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000)   |

### Daten zu ausgewählten eingesetzten Maßnahmen

#### *Ultrafiltration*

- Höhere Qualität der Bäder
- Verlängerung der Standzeit, höhere Anlagenverfügbarkeit

---

***Ionenaustauscher***

15 m<sup>3</sup> Spülwasser, Entkeimungsanlage, Kiesfilter, 1 Woche Standzeit, 2 Straßen

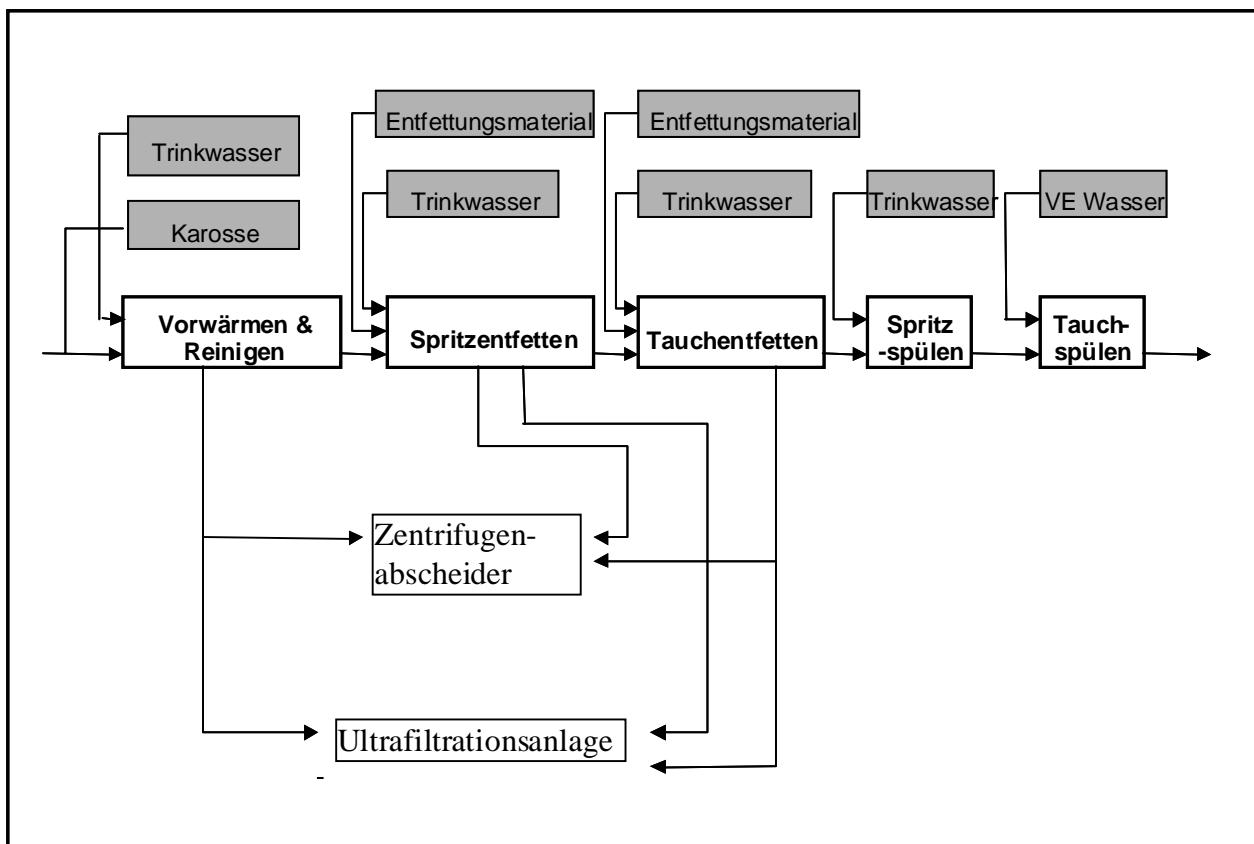
***Zentrale Abwasserbehandlungsanlage***

***Thermische Nachverbrennung***

50 % Energierückgewinnungsrate, Verwendung der rückgewonnenen Energie zur Erwärmung der Trocknerluft

(Bezugsjahr der Angaben: 1999, falls nicht anders angegeben)

## Nr.1 Arbeitsschritt: Entfetten und aktivieren



### Anmerkung:

- Die Tauchspülung dient der Aktivierung der Oberfläche für die Haftung von Chrom VI auf der Oberfläche.
- Schritt I ist mit einem Separator für Öl ausgestattet.
- Es ist beabsichtigt, die Spritzspülung mit einer Recyclinganlage auszustatten.  
*(Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000)*

### Maßnahmen

Kaskadenführung, Kreislaufführung des Wassers (*Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000*)

Ultrafiltrationsanlage (*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

---

## **Verbräuche**

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Entfettungsmaterial                  | 0,85 Liter/Kar. ( <i>Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995</i> )             |
| Trinkwasser                          | 5,5 m <sup>3</sup> /h ( <i>Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995</i> )       |
| VE-Wasser                            | 1 m <sup>3</sup> /h ( <i>Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995</i> )         |
| Verschleppung                        | 500 Liter Wasser/h ( <i>Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000</i> )                  |
| Verdunstung                          | 200 – 300 Liter Wasser/h ( <i>Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000</i> )            |
| <b>Standzeit:</b>                    | 1 Mal pro Woche in Gegenbehälter<br>( <i>Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000</i> ) |
|                                      | Verwurf nach ca. 1,5 Jahre ( <i>Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000</i> )          |
| <b>Entfettungsbecken:</b>            |  |
| Anteil Entfettungsmittel / VE-Wasser | 1: 9 ( <i>Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000</i> )                                |
| Verbrauch:                           | 5 m <sup>3</sup> /h ( <i>Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000</i> )                 |
| Kosten                               | 7 DM/m <sup>3</sup> ( <i>Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000</i> )                 |

## **Umweltaspekte**

Abwasser: Zentrale Abwasserreinigungsanlage (→ Schlamm)

Abfall: Entfettungsschlamm

### **Abwasser:**

1 m<sup>3</sup>/h (*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

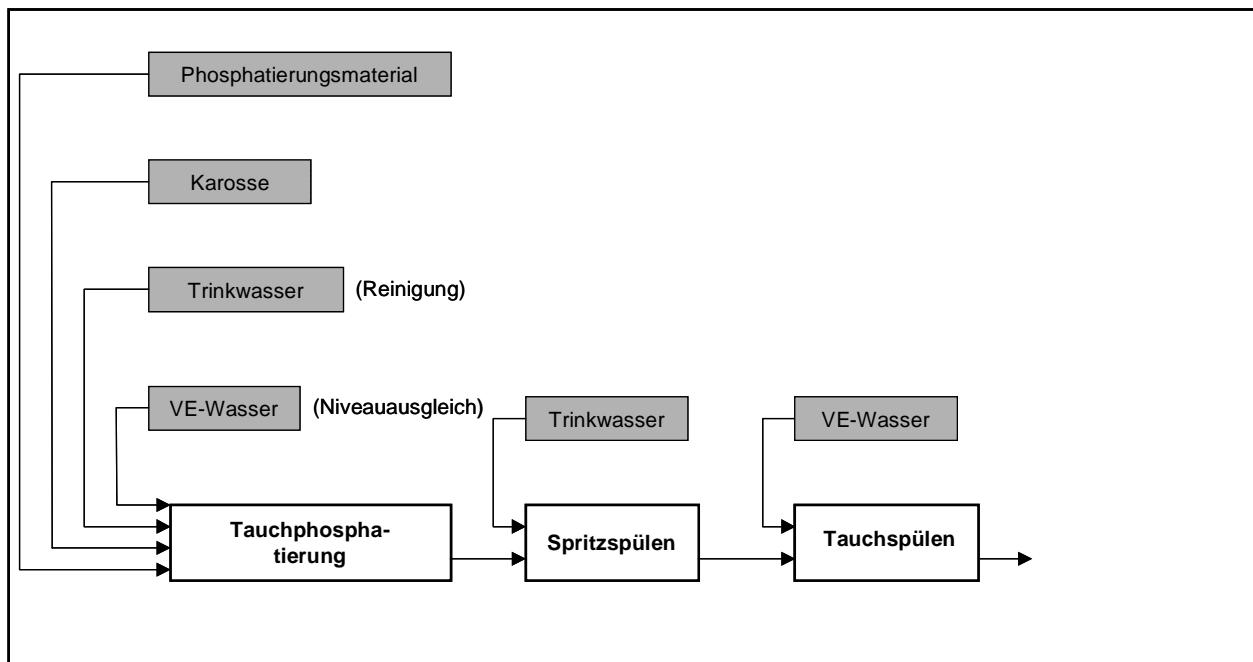
### **Abfall**

besonders überwachungsbedürftige Abfälle:

Entfettungsschlamm (⇒ Deponie): 24 m<sup>3</sup>/a  
(*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

Öl aus Separator (⇒ Mitverbrennung in Kraftwerke): 18 t im Vierteljahr  
(*Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000*)

## Nr. 2 Arbeitsschritt: *Phosphatieren*



Eine Filterpresse ist nicht erforderlich, da ein geringer Eisengehalt und somit ein geringer Schlammanfall vorhanden ist. (Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000)

### Maßnahmen

Kaskadenführung (Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000)

Ionenaustauscher (Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995)

### Verbräuche

|                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| <b>Phosphatierungsmaterial:</b> | 1,3 Liter/Kar.      |
| <b>Ionenaustauscher:</b>        |                     |
| VE-Wasser                       | 4 m <sup>3</sup> /h |
| HCl                             | 5-12,5 Liter/h      |
| NaOH                            | 14 Liter/h          |

(Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995)

---

## **Umweltaspekte**

Abwasser: Zentrale Abwasserreinigungsanlage (→ Schlamm)

Abfall: Phosphatierschlamm

### **Abwasser:**

8 m<sup>3</sup>/h (*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

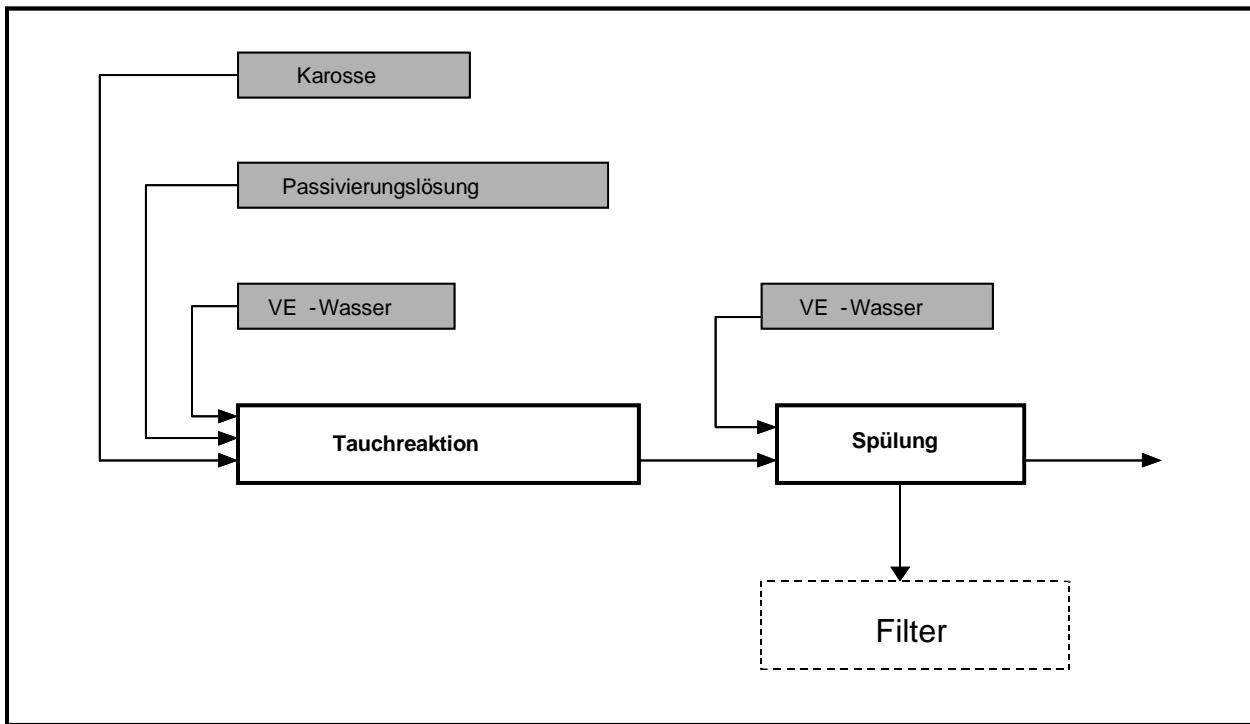
### **Abfall:**

besonders überwachungsbedürftige Abfälle:

Schlamm (stoffliche Wiederverwertung): 283 t/a

(*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

## Nr.3 Arbeitsschritt: Passivieren



### Maßnahmen

Ionenaustauscher (*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

### Verbräuche

|   |                       |
|---|-----------------------|
| <b>Passivierungsmaterial (Chromat):</b> | 0,025 kg/Kar.         |
| <b>Ionenaustauscher:</b>                |                       |
| VE-Wasser                               | 2,5 m <sup>3</sup> /h |
| Reg. Salz                               | 2000 Liter/h          |
| NaHSO <sub>3</sub>                      | 9-12,5 Liter/h        |
| NaOH                                    | 10-24,5 Liter/h       |
| HCl                                     | 10-25 Liter/h         |

(*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

### Umweltaspekte

Abwasser: Zentrale Abwasserreinigungsanlage (→ Schlamm)

Abfall: Verschmutzte Filter

#### **Abwasser:**

2,5 m<sup>3</sup>/h (*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

---

**Abfall:**

nicht überwachungsbedürftige Abfälle:

Filter  $\Rightarrow$  Hausmüll

## Nr.4 Arbeitsschritt: *Kataphoretische Tauchlackierung (KTL) + Trocknung*

### **Maßnahmen**

Ultrafiltrationsanlage, Reinigung der Trocknerabluft (2 TNV) (*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*), bleifreie KTL-Lösung (*Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000*)

### **Verbräuche**

|                                |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| <b>Elektrotauchlack:</b>       |                     |
| Lösemittelgehalt               | 4,35 Gew.-%         |
| Festkörpergehalt               | k.A.                |
| Verbrauchsmenge                | 8 kg / Karosse      |
| <b>VE-Wasser:</b>              | 7 m <sup>3</sup> /h |
| <b>Energie:</b>                | k.A.                |
| <b>Ultrafiltrationsanlage:</b> |                     |
| Al-SO <sub>4</sub>             | 9 kg/h              |

(*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

### **Umweltaspekte**

Abluft: VOC-Emissionen

Abwasser: Zentrale Abwasserreinigungsanlage ( $\rightarrow$  Schlamm)

Abfall: Lackschlamm (vernachlässigbare Menge), Filter

### **Abluft:**

|                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| <b>Abluftmenge:</b>         | 22 000 Nm <sup>3</sup> /h (Trockner) |
| <b>Emissionswerte:</b>      |                                      |
| VOC (KTL)                   | 1,66 g/m <sup>2</sup>                |
| VOC (Trockner)              | 0,09 g/m <sup>2</sup>                |
| C <sub>ges</sub> (Trockner) | 50 mg/m <sup>3</sup>                 |

(*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

---

**Abwasser:**

5,5 m<sup>3</sup>/h (*Quelle: Antrag auf Änderungsgenehmigung, 1995*)

**Abfall:**

besonders überwachungsbedürftige Abfälle

KTL-Schlamm (⇒ Deponie): 20 t/a (*Quelle: Werksbesichtigung, 08.06.2000*)

---

## VI.1.2 GRUNDSTRASSE F Halle 12 (Vorbehandlung/KTL)

### Volkswagen AG, Werk Wolfsburg

#### Allgemeine Informationen zur Anlage

|   |   |
|---|---|
| Name und Ort der Anlage   | Wolksvagen AG, Werk Wolfsburg<br>Halle 12: Vorbehandlungsanlage/KTL   |
| Jährliche Kapazität   | 11 500 Fahrzeuge/a<br><br>Kapazität: 250 Fzg/Tag (Auslegung)<br><br>50 Fzg/Tag (derzeit genutzt)<br><br>(Quelle: Werksbesichtigung, 02.-04.05.2000)   |
| Jährlicher Lösemittelverbrauch [t/a]  | 5 t/a   |
| Jahresbetriebsstunden   | 3 680 h/a<br><br>230 Tage/a, 5 Tage/Woche, 2 Schichten/Tag  |
| Jahr der Inbetriebnahme   | 1978  |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher Änderungen   | Umrüstung der gesamten Vorbehandlungsanlage, 1998   |
| Anzeigen nach § 15 BImSchG  | Umbau und anschließende Wiederinbetriebnahme  |
| Kurzbeschreibung des Produktionsverfahrens:<br><br>Abfolge der wesentlichen Prozessschritte | <i>Vorbehandlung</i><br>Zone 1: Spritzvorreinigen I<br>Zone 2: Spritzvorreinigen II<br>Zone 3: Tauchentfettung / Aktivierung<br>Zone 6: Tauchspülen<br>Zone 7: Tauchphosphatierung<br>Zone 8: Tauchspülen<br>Zone 9: Tauchpassivierung<br>Zone 10: Spritzspülen<br><i>Kataphoretische Tauchlackierung (KTL)</i><br>Zone 1.0: KTL-Tauchbecken<br>Zone 2.0: Rezirkulat<br>Zone 3.0: Reinfiltrat-Tauchen<br>Zone 4.0: VEW-Spülen |

## **Daten zu ausgewählten eingesetzten Maßnahmen**

**Feststoffabscheider (Hydrozyklon) + Ultrafiltration - in Testphase**

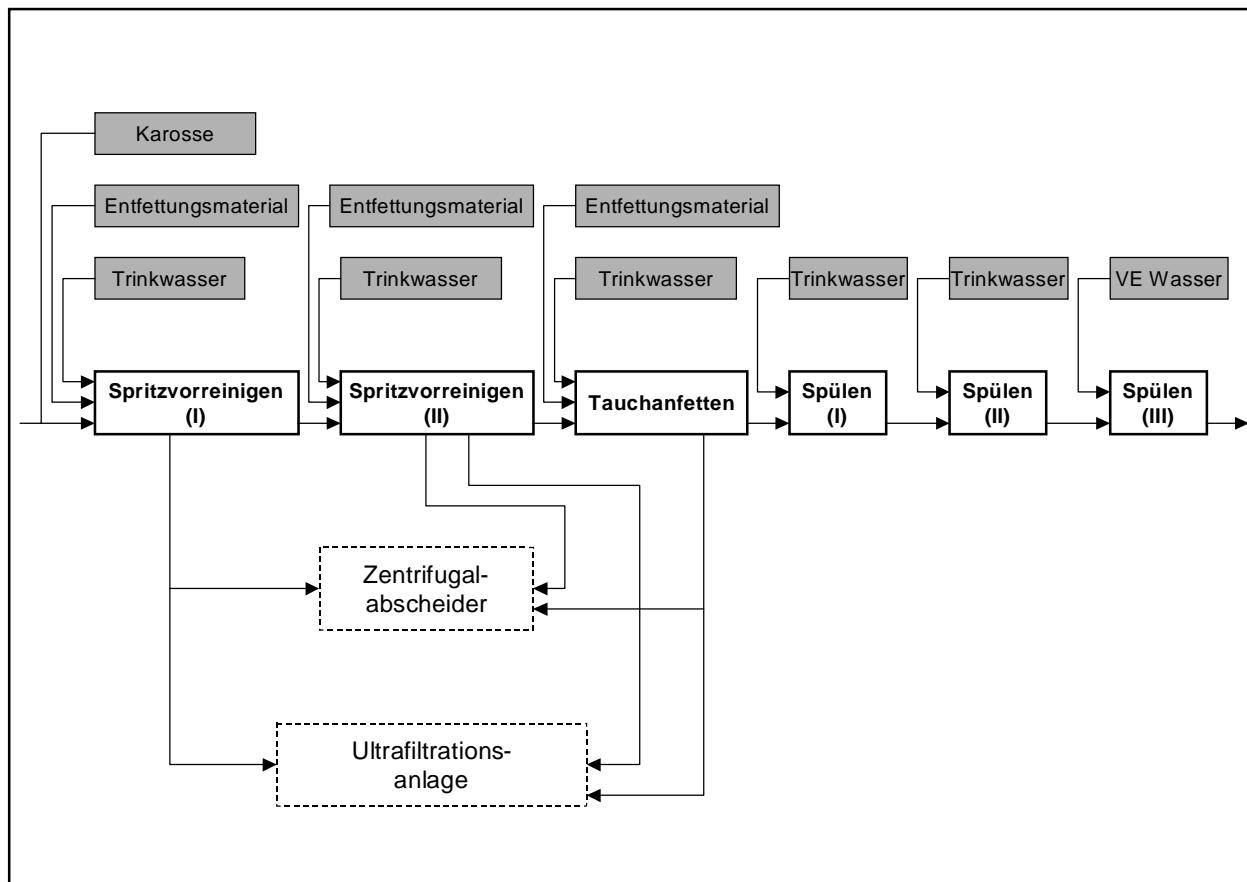
- Höhere Qualität des Entfettungsbades
- Verlängerung der Standzeit, höhere Anlagenverfügbarkeit

### **Thermische Nachverbrennung**

50 % Energierückgewinnungsrate, Verwendung der rückgewonnenen Energie zur Erwärmung der Trocknerluft

(Bezugsjahr der Angaben: 1999, falls nicht anders angegeben)

### **Nr. 1 Arbeitsschritt: Entfetten und aktivieren**



Kreislaufführung des Entfettungsmaterials, Kaskadenspülung, Zentrifugalabscheider, Bandfilter, Ultrafiltrationsanlage

Entfettungsmaterial: k.A.

Trinkwasser: 0.3 m<sup>3</sup>/Kar.

VE-Wasser: 0.6 m<sup>3</sup>/Kar.

Abwasser: Zentrale Abwasserreinigungsanlage (→ Hydroxyschlamm)

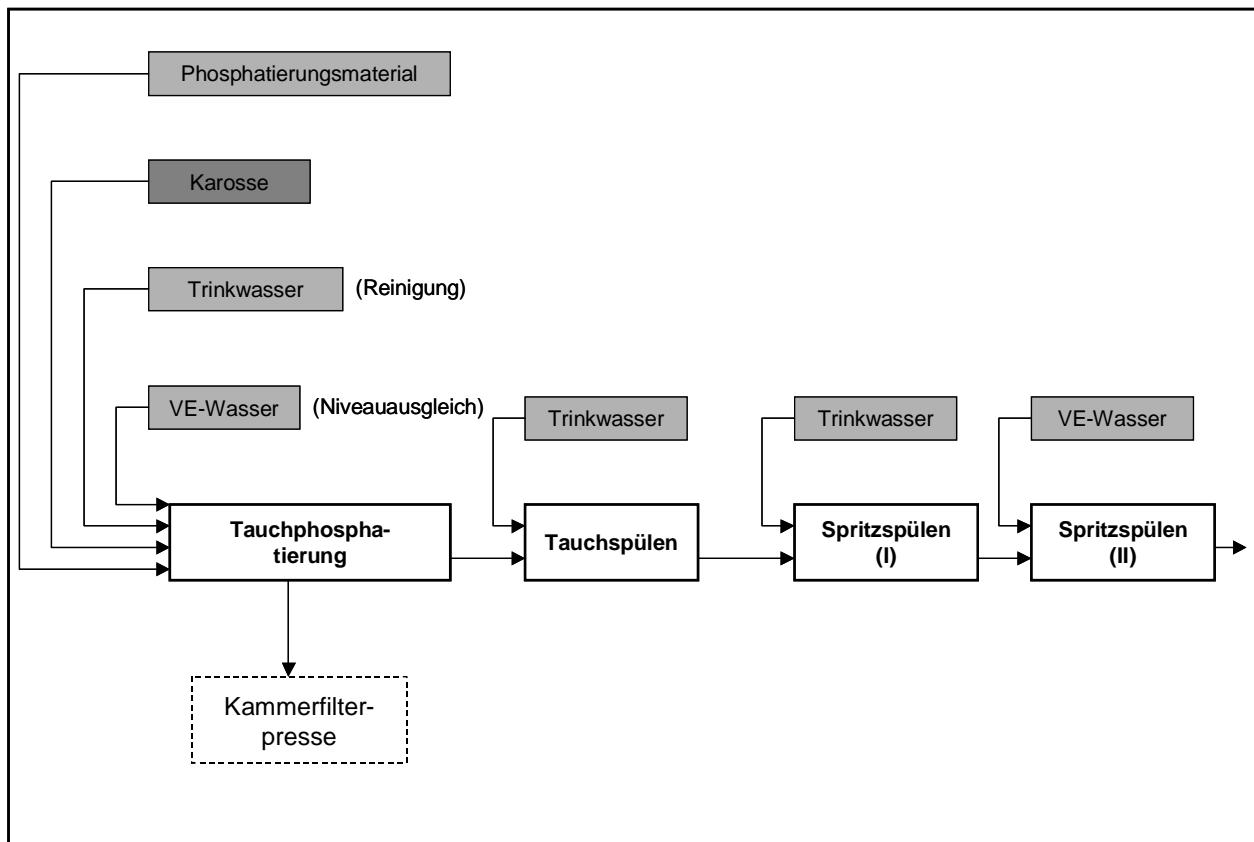
Abfall: Entfettungsschlamm, Altölemulsion, Filter

Abwasser: 0.78 m<sup>3</sup>/Kar. (Quelle: Fließbild Halle 12)

Abfall:

| Besonders überwachungsbedürftige Abfälle: |   |           |
|---|---|-----------|
| Entfettungsschlamm                        | 1,25 kg/Kar.                                  | beseitigt |
| Altölemulsion:                            | k.A.  |           |
| Hydroxyschlamm                            | k.A.  | Deponie   |
| Filter, verschmutzt                       | 1 Filter/10 Kar.<br>(Vorbehandlung insgesamt) | beseitigt |

## Nr.2 Arbeitsschritt: *Phosphatieren*



(Ni, Cu, Mn) Trikation-Phosphatierungslösung, Kreislaufführung der Phosphatierungslösung, Kaskadenspülung, Kammerfilterpresse

## Verbräuche

Phosphatierungsmaterial: k.A.

Trinkwasser:  $0.85 \text{ m}^3/\text{Kar.}$

VE-Wasser:  $0.06 \text{ m}^3/\text{Kar.}$

## Umweltaspekte

Abwasser: Zentrale Abwasserreinigungsanlage ( $\rightarrow$  Hydroxyschlamm)

Abfall: Phosphatierschlamm

**Abwasser:**  $0.85 \text{ m}^3/\text{Kar.}$  (Quelle: Fließbild Halle 12)

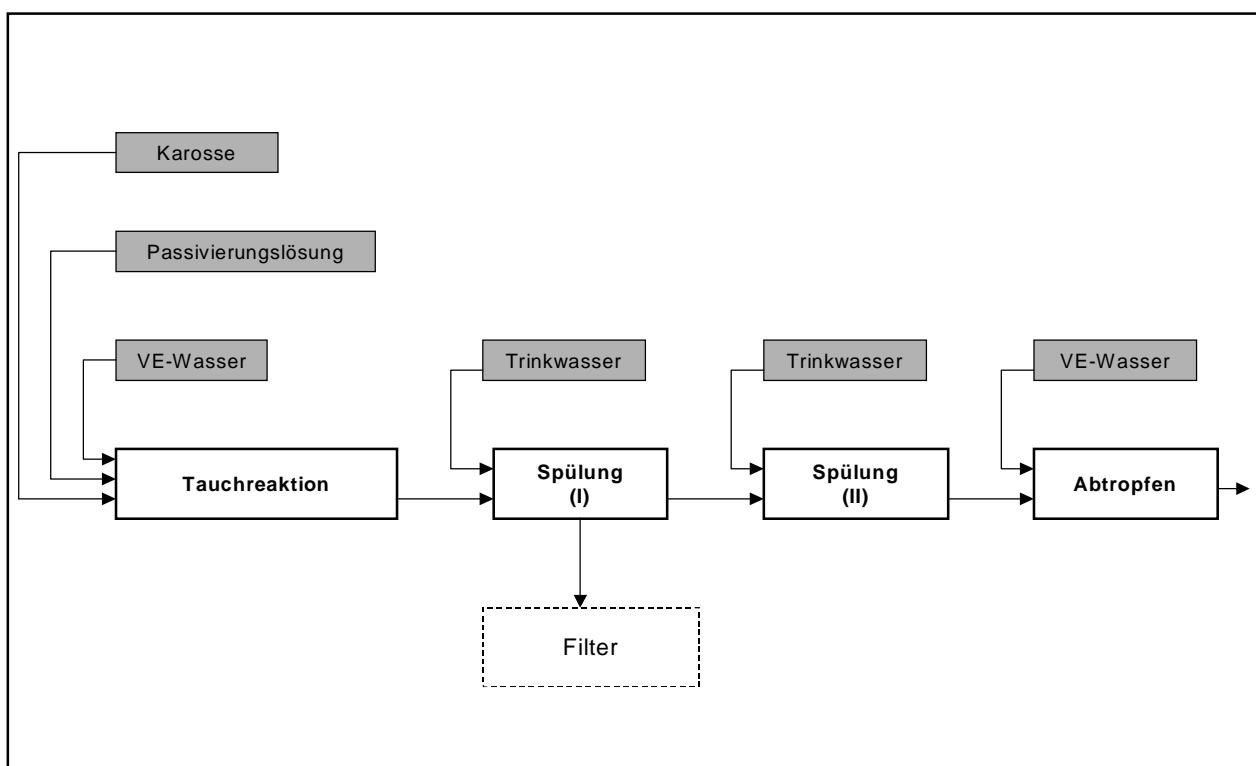
### **Abfall:**

besonders überwachungsbedürftige Abfälle:

Phosphatierschlamm (Deponie):  $0.005 \text{ m}^3/\text{Kar.}$

Hydroxyschlamm (Deponie): k.A.

## Nr.3 Arbeitsschritt: *Passivieren*



## Maßnahmen

Chromat-freie Passivierungslösung, Kaskadenspülung, Filter

## Verbräuche

Passivierungsmaterial: k.A.

VE-Wasser: 0.26 m<sup>3</sup>/Kar.

## Umweltaspekte

Abwasser: Zentrale Abwasserreinigungsanlage (→ Hydroxyschlamm)

**Abwasser:** 0.26 m<sup>3</sup>/Kar. (Quelle: Fließbild Halle 12)

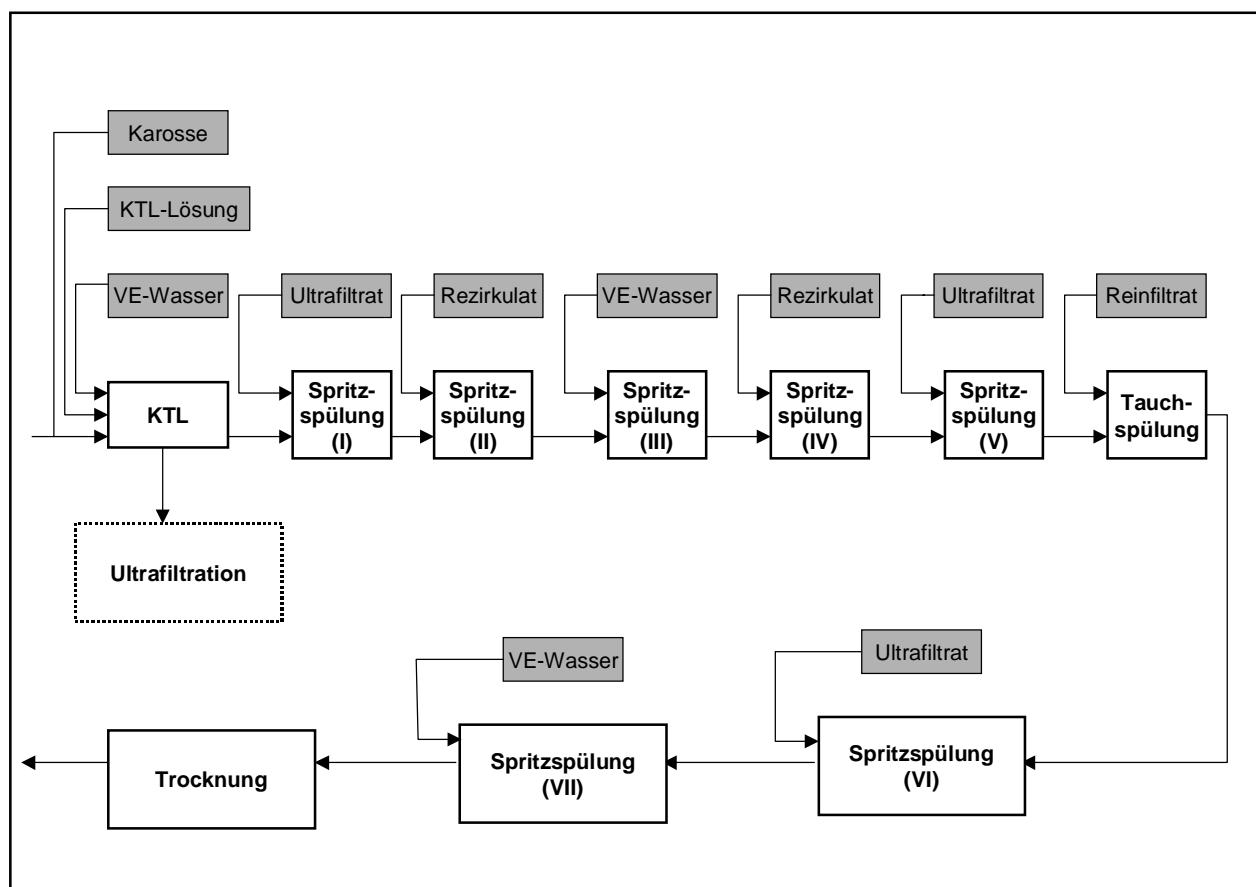
## **Abfall:**

besonders überwachungsbedürftige Abfälle

Hydroxyschlamm (Deponie): k.A.

Filter, verschmutzt (beseitigt): 1 Filter/10 Kar. (Vorbehandlung insgesamt)

## **Nr.4 Arbeitsschritt: Elektrotauchlackierung (KTL) +Trocknung**



---

## **Maßnahmen**

Ultrafiltrationsanlage für Material- und VE-Wasser-Recycling, Filter; Lackschlammverwertung, Reinigung der Trocknerabluft (TNV)

## **Verbräuche**

Elektrotauchlack:

Lösemittelgehalt: 3 - 4 Gew.-%

Festkörpergehalt: 45 Gew.-%

Verbrauchsmenge: 75 g/m<sup>2</sup> (*Quelle: Umweltschutzbericht, 1999*)

VE-Wasser: 0.5 m<sup>3</sup>/Kar.

Energie: k.A.

## **Umweltaspekte**

Abluft: Lösemittelemissionen, Schwermetallemissionen (Blei)

Abwasser: Zentrale Abwasserreinigungsanlage (→ Hydroxyschlamm)

Abfall: Lackschlamm (vernachlässigbare Menge), Filter

## **Abluft:**

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Abluftmenge:</b>    | 10 000 - 20 000 Nm <sup>3</sup> /h (Trockner) |
| <b>Emissionswerte:</b> |   |
| VOC                    | 2,5 g / m <sup>2</sup>                        |
| Schwermetalle (Blei)   | Vernachlässigbar                              |

(*Quelle: Umweltschutzbericht, 1999*)

**Abwasser:** 0.5 m<sup>3</sup>/Kar. (*Quelle: Fließbild Halle 12*)

## **Abfall:**

besonders überwachungsbedürftige Abfälle

Hydroxyschlamm (Deponie): k.A.

Filter, verschmutzt (beseitigt): 1 Filter/10 Kar. (Vorbehandlung insgesamt)

Lackschlamm (thermisch verwertet): 1 t/a

---

## VI.1.3 DECKLACKIERSTRASSE (5a Prozess, Halle 9) Volkswagen AG Werk Wolfsburg

### Allgemeine Informationen zur Anlage

|   |   |
|---|---|
| Name und Ort der Anlage                                       | Volkswagen AG, Werk Wolfsburg<br>Halle 9: Lackieranlage   |
| Jährliche Kapazität   | 138 000 Fahrzeuge/a<br><br>Kapazität: 720 Fzg/Tag (Auslegung)<br><br>600 Fzg/Tag (derzeit genutzt)  |
| Jährlicher Lösemittelverbrauch [t/a]                          | 160 t/a ( <i>Quelle: Emissionsmessung</i> )   |
| Jahresbetriebsstunden   | 4 600 h/a<br><br>230 Tage/a, 5 Tage/Woche, 2,5 Schichten/Tag  |
| Jahr der Inbetriebnahme                                       | Neuanlage, 1996   |
| Anzeigen nach § 15 BImSchG                                    | Reduzierter PVC-Auftrag und Füllerbeschichtung am Unterboden der LUPO-Karossen, 1999  |
| Kurzbeschreibung des Ablaufs der wesentlichen Prozessschritte | Unterbodenschutz & Nahtabdichtung<br>↓<br>Füller Applikation & Trocknung (TNV)<br>↓<br>Basislack Applikation & Trocknung (TNV)<br>↓<br>Klarlack Applikation & Trocknung (TNV)<br>↓<br>Hohlraumkonservierung |
| Karosse   | Zu beschichtende Fläche: 69 m <sup>2</sup> (LUPO)<br><br>Außen-/Innenbereich: 80 / 20 %   |

### Daten zu ausgewählten eingesetzten Maßnahmen

---

### ***Thermische Nachverbrennung***

50 % Energierückgewinnungsrate, Verwendung der rückgewonnenen Energie zur Erwärmung der Trocknerluft

### ***Elektrostatisches Spritzverfahren***

- 85 % Auftragswirkungsgrad (im Vergleich zur pneumatischen Unterstützung: 50 %)
- Kosteneinsparungen durch Verminderung des Lackverbrauchs von ca. 30 % (von 13 auf 9 kg/Karosse für den Bereich Füller bis Klarlack)
- Verminderung des Lackschlammfallen (von 5.5 auf 4 kg/Karosse)

### ***Lackschlammverwertung***

Lackschlammfall: ca. 4 kg/Karosse

Verbrauch an Material für die Koagulierung: ca. 0.47 kg/Karosse

(Quelle: Dr. GRUBER, Persönliche Mitteilung, Mai 2000)

### ***Molchtechnik***

Reduzierung des Verbrauchs an Lackmaterial durch die Molchtechnik:

300 g/Karosse im Decklackbereich

150 g/Karosse im Füllerbereich

(Bezugsjahr der Angaben: 1999, falls nicht anders angegeben)

## **Nr. 1 Arbeitsschritt: *Unterbodenschutz und Nahtabdichtung***

### **Verfahren**

Applikation: Roboter und manuell

- 90 % der Fahrzeuge, Beschichtungsmaterial: 100 % PVC
- < 10 % der Fahrzeuge (ca. 50 Fzg/Tag, Lupo 3 Liter Autos), Beschichtungsmaterial: z.T. PVC, z.T. Restfüller

### **Maßnahmen**

PVC-Reduzierung, Applikation auf gedrehte Karosse (Drehung der Karosse um 180°) <sup>a</sup>

(Verminderung des Oversprays, Arbeitsschutz: Vermeidung von Überkopfarbeit)

---

<sup>a</sup> die Fahrzeugkarosse muss so konzipiert werden, dass eine derartige Applikation auch durchgeführt werden kann.

## Verbräuche

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| <b>Mehrheit der Fahrzeuge:</b> |                      |
| Menge PVC                      | 8,5 kg / Karosse     |
| <b>3 Liter Fahrzeuge:</b>      |                      |
| Menge PVC                      | 6,5 - 7 kg / Karosse |
| Menge Füller                   | 100 g / Karosse      |
| Lösemittel-Gehalt Füller       | 7 Gew.-%             |
| Einsparung PVC                 | 1,5 - 2 kg / Karosse |

(Quelle: Dr. Gruber, Mai 2000)

Energieverbrauch: k.A.

## Umweltaspekte

Abluft: Minimale Belastung (Maßnahme: Filter zum Mitarbeiterschutz)

Abfall: PVC, verschmutzte PVC-Abdeckschablonen, Abdeckpapier, Zellstofftücher, Pinsel, Handschuhe

### **Abluft:**

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Abluftmenge:</b>    | 100 000 Nm <sup>3</sup> /h (Applikationskabine) |
| <b>Emissionswerte:</b> |   |
| Staub                  | 0.4 g / Karosse                                 |
| VOC                    | 0.19 g / m <sup>2</sup>                         |

(Quelle: Messbericht (Emissionen) für 1998)

### **Abfall:**

|  |                              |           |
|--|------------------------------|-----------|
| <b>besonders überwachungsbedürftige Abfälle:</b>                         |                              |           |
| PVC  | 66 t / a (ca. 480 g / Kar.)  | beseitigt |
| PVC-Abdeckschablonen   | 247 t / a (ca. 1,8 kg / Kar) | beseitigt |
| <b>nicht überwachungsbedürftige Abfälle:<br/>Hausmüll-/Gewerbeabfall</b> |                              |           |
| Abdeckpapier   | k.A.                         | → Deponie |
| Zellstofftücher  | k.A.                         | → Deponie |
| Pinsel   | k.A.                         | → Deponie |
| Handschuhe   | k.A.                         | → Deponie |

k.A. = keine Angaben

---

## Nr. 2 Arbeitsschritt: *Naßreinigung in Waschanlage + Trocknung*

### Verfahren

(bei Bedarf: Schleifvorgang mit Wasser), Nassreinigung mit VE-Wasser (Wasser im Kreislauf), Trocknung

### Verbräuche

VE-Wasserverbrauch: k.A.

Energieverbrauch (Trockner): k.A.

## Nr. 3 Arbeitsschritt: *Füllerauftrag und -trocknung*

### Verfahren

- (1) Füllerauftrag auf Fahrzeugschwellen mit 2 Robotern (Spritzverfahren)
- (2) Fahrzeugaußenbereich: Spritzverfahren mit elektrostatischer Unterstützung (ESTA)
- {(3) bei gelber Farbe: manueller Auftrag mit Druckluft zur Qualitätsprüfung}

### Maßnahmen

Füller auf Wasserbasis, elektrostatische Applikation, Auffangen von Spülverdünner, Molchtechnik, Lackschlammverwertung, Reinigung der Trocknerabluft (TNV)

### Verbräuche

#### Füller:

|                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| Lösemittel-Gehalt: | 7 Gew.-%              |
| Festkörpergehalt:  | 69 Gew.-%             |
| Mengenverbrauch:   | 2.8 kg Füller/Karosse |

(Quelle: Dr. Gruber, persönliche Mitteilung, Juli 2000)

#### Wasser:

5 m<sup>3</sup> / Tag (ca. 8 Liter / Karosse)

#### Energie:

|                               |   |                               |
|-------------------------------|---|-------------------------------|
| <b>Füller-Linie:</b>          | elektrischer Strom:<br>Wärme (Zuluftwärmung): | 25 kWh / Kar<br>150 kWh / Kar |
| <b>Trockner mit Kühlzone:</b> | elektrischer Strom:<br>Erdgas (TNV):          | 33 kWh / Kar<br>7 kWh / Kar   |

(Quelle: 5a Prozessfolge)

---

### **Spülverdünner:**

Lösemittelgehalt: 10 Gew.-%

Verbrauchsmenge: ca. 0,8 kg / Karosse

(Quelle: Dr. Gruber, persönliche Mitteilung, Juli 2000)

### **Zuluftvolumen:**

|                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| Schleuse            | 20 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Manuell             | 160 000 m <sup>3</sup> /h      |
| ESTA                | 40 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Kontrolle Abdunsten | 70 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Abdunsten           | 30 000 m <sup>3</sup> /h       |
| <i>Summe</i>        | <i>320 000 m<sup>3</sup>/h</i> |

(Quelle: 5a Prozessfolge)

### **Hilfsstoffe:**

#### Koaguliermittel:

Verbrauchsmenge: ca. 75,5 g / Karosse

#### Flockungsmittel:

Verbrauchsmenge: ca. 13,4 g / Karosse (Füller-, Basis- und Klarlackauftrag)

#### Entschäumer:

Verbrauchsmenge: ca. 190,3 g / Karosse (Füller-, Basis- und Klarlackauftrag)

(Quelle: Dr. Gruber, persönliche Mitteilung, Juli 2000)

### **Umweltaspekte**

Abluft: Lösemittel, Partikel (Applikation); CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Gesamt-C (Trockner/TNV)

Abfall: Farb- & Lackschlamm, lackhaltige Spülverdünnung, Zellstofftücher, feste Restlacke, Papierfilter, (Lackierhandschuhe, -anzüge, etc.)

---

### Abluft:

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Abluftmenge:</b>    | 100 000 Nm <sup>3</sup> /h (Applikationskabine)<br>10 000 Nm <sup>3</sup> /h (Trockner) |
| <b>Emissionswerte:</b> | Staub<br>VOC<br>CO<br>NOx   |

(Quelle: Messbericht (Emissionen) für 1998)

### Abfall:

| <b>Besonders überwachungsbedürftige Abfälle:</b>                         |  |                                 |
|--|--|---------------------------------|
| Farb- & Lackschlamm  | 208 t / a<br>(Füller, Basis- und Klarlack) | thermische Verwertung beseitigt |
| Lackhaltige Spülverdünnung   | k.A.                                       |                                 |
| Zellstofftücher  | k.A.                                       |                                 |
| <b>Nicht überwachungsbedürftige Abfälle:<br/>Hausmüll-/Gewerbeabfall</b> |  |                                 |
| Feste Restlacke  | k.A.                                       | → Deponie                       |
| Papierfilter   | k.A.                                       | → Deponie                       |
| Lackierhandschuhe und -anzüge  | k.A.                                       | → Deponie                       |

k.A. = keine Angaben

(Quelle: Umweltschutzbericht, 1999)

## Nr. 4 Arbeitsschritt: Basislackauftrag, Zwischentrocknung (IR-Trockner)

### Verfahren

- (1) Applikation mit Druckluft mittels 2 Robotern für den Innenbau (20 %)
- (2) Applikation mit ESTA für den Außenbau (80 %)
- (3) Falls Metallic/Perleffekt: Auftrag mittels Automat mit Druckluft ("Spraymate")

### Maßnahmen

Basislack auf Wasserbasis, elektrostatische Applikation, Auffangen von Spülverdünner, Molchtechnik, Lackschlammverwertung, Reinigung der Trocknerabluft (TNV)

## **Verbräuche**

### **Basislack:**

|                   |   |
|-------------------|---|
| Lösemittel-Gehalt | 10 - 20 Gew.-%                            |
| Festkörpergehalt  | 19 - 25 Gew.-%                            |
| Mengenverbrauch   | 5,47 kg /Karosse (Uni- und Metallic-Lack) |

(Quelle: Dr. Gruber, persönliche Mitteilung, Juli 2000)

### **Wasser:**

10 m<sup>3</sup> / Tag (ca. 17 Liter / Karosse)

### **Energie:**

|                          |  |   |
|--------------------------|--|---|
| <b>Basislack-Kabine:</b> | elektrischer Strom:<br>Wärme (Zuluftwärmung)           | 31 kWh / Kar<br>160 kWh / Kar               |
| <b>Zwischentrockner:</b> | elektrischer Strom:<br>Erdgas (TNV):<br>Kälteleistung: | 10 kWh / Kar<br>3 kWh / Kar<br>15 kWh / Kar |

(Quelle: 5a Prozessfolge)

### **Spülverdünner:**

Lösemittelgehalt: 8 Gew.-%

Verbrauchsmenge: ca. 1,8 kg / Karosse

(Quelle: Dr. Gruber, persönliche Mitteilung, Juli 2000)

### **Zuluftvolumen:**

| <b>Basislackauftrag:</b> |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| Schleuse                 | 20 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Manuell                  | 160 000 m <sup>3</sup> /h      |
| ESTA                     | 40 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Abdunsten                | 20 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Spraymate                | 45 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Kontrolle                | 55 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Abdunsten                | 5 000 m <sup>3</sup> /h        |
| <i>Summe</i>             | <i>345 000 m<sup>3</sup>/h</i> |

---

| <b>Zwischentrocknung:</b>    |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| Schleuse + Zwischenabdunsten | 30 000 m <sup>3</sup> /h |
| Kühlzone                     | 45 000 m <sup>3</sup> /h |

(Quelle: 5a Prozessfolge)

### **Hilfsstoffe:**

Koaguliermittel:

Verbrauchsmenge: ca. 74,9 g / Karosse

Flockungsmittel:

Verbrauchsmenge: ca. 13,4 g / Karosse (Füller-, Basis- und Klarlackauftrag)

Entschäumer:

Verbrauchsmenge: ca. 190,3 g / Karosse (Füller-, Basis- und Klarlackauftrag)

(Quelle: Dr. Gruber, persönliche Mitteilung, Juli 2000)

### **Umweltaspekte**

Abluft: Lösemittel, Partikel (Applikation); CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Gesamt-C (Trockner/TNV)

Abfall: Farb- & Lackschlamm, lackhaltige Spülverdünnung, Zellstofftücher, feste Restlacke, Papierfilter, (Lackierhandschuhe, -anzüge, etc.)

### **Abluft:**

|                        |  |       |                 |     |                         |    |               |     |                |
|------------------------|--|-------|-----------------|-----|-------------------------|----|---------------|-----|----------------|
| <b>Abluftmenge:</b>    | 260 000 Nm <sup>3</sup> /h (Applikationskabine)<br>10 000 Nm <sup>3</sup> /h (Trockner)  |       |                 |     |                         |    |               |     |                |
| <b>Emissionswerte:</b> | <table> <tbody> <tr> <td>Staub</td> <td>4.2 g / Karosse</td> </tr> <tr> <td>VOC</td> <td>2.16 g / m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>9 g / Karosse</td> </tr> <tr> <td>NOx</td> <td>33 g / Karosse</td> </tr> </tbody> </table> | Staub | 4.2 g / Karosse | VOC | 2.16 g / m <sup>2</sup> | CO | 9 g / Karosse | NOx | 33 g / Karosse |
| Staub                  | 4.2 g / Karosse  |       |                 |     |                         |    |               |     |                |
| VOC                    | 2.16 g / m <sup>2</sup>  |       |                 |     |                         |    |               |     |                |
| CO                     | 9 g / Karosse  |       |                 |     |                         |    |               |     |                |
| NOx                    | 33 g / Karosse   |       |                 |     |                         |    |               |     |                |

(Quelle: Messbericht (Emissionen) für 1998)

---

**Abfall:**

| <b>Besonders überwachungsbedürftige Abfälle:</b>                         |  | thermische Verwertung beseitigt |
|--|--|---------------------------------|
| Farb- & Lackschlamm  | 208 t / a<br>(Füller, Basis- und Klarlack) |                                 |
| Lackhaltige Spülverdünnung   | k.A.                                       |                                 |
| <b>Nicht überwachungsbedürftige Abfälle:<br/>Hausmüll-/Gewerbeabfall</b> |  |                                 |
| Feste Restlacke  | k.A.                                       | → Deponie                       |
| Papierfilter   | k.A.                                       | → Deponie                       |
| Lackierhandschuhe und -anzüge  | k.A.                                       | → Deponie                       |

k.A. = keine Angaben

(Quelle: Umweltschutzbericht, 1999)

---

## Nr. 5 Arbeitsschritt: Klarlackauftrag und -trocknung

### Verfahren

- (1) Applikation mit Druckluft mittels 2 Robotern für den Innenbau (20 %)
- (2) Applikation mit ESTA für den Außenbau (80 %)

### Maßnahmen

elektrostatische Applikation, Auffangen von Spülverdünner, Molchtechnik, Lackschlammverwertung, Reinigung der Trocknerabluft (TNV)

### Verbräuche

**Klarlack** (Stammlack und Härter):

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| Lösemittel-Gehalt | 40 Gew.-%       |
| Festkörpergehalt  | 60 Gew.-%       |
| Mengenverbrauch   |                 |
| Stammlack         | 2,3 kg /Karosse |
| Härter            | 0,8 kg /Karosse |

(Quelle: Dr. Gruber, persönliche Mitteilung, Juli 2000)

### **Wasser:**

7-8 m<sup>3</sup> / Tag (ca. 12,5 Liter / Karosse)

### **Energie:**

|                               |  |   |
|-------------------------------|--|---|
| <b>Klarlack-Kabine:</b>       | elektrischer Strom:<br>Wärme (Zuluftwärmung)           | 27 kWh / Kar<br>143 kWh / Kar               |
| <b>Trockner mit Kühlzone:</b> | elektrischer Strom:<br>Erdgas (TNV):<br>Kälteleistung: | 28 kWh / Kar<br>7 kWh / Kar<br>13 kWh / Kar |

(Quelle: 5a Prozessfolge)

---

### **Spülverdünner:**

reines Lösemittel

Verbrauchsmenge: ca. 1 kg / Karosse

(Quelle: Dr. Gruber, persönliche Mitteilung, Juli 2000)

### **Zuluftvolumen:**

|              |                                |
|--------------|--------------------------------|
| Schleuse     | 13 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Manuell      | 160 000 m <sup>3</sup> /h      |
| ESTA         | 40 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Kontrolle    | 70 000 m <sup>3</sup> /h       |
| Abdunsten    | 17 000 m <sup>3</sup> /h       |
| <i>Summe</i> | <i>300 000 m<sup>3</sup>/h</i> |

(Quelle: 5a Prozessfolge)

### **Hilfsstoffe:**

Koaguliermittel:

Verbrauchsmenge: ca. 184,3 g / Karosse

Flockungsmittel:

Verbrauchsmenge: ca. 13,4 g / Karosse (Füller-, Basis- und Klarlackauftrag)

Entschäumer:

Verbrauchsmenge: ca. 190,3 g / Karosse (Füller-, Basis- und Klarlackauftrag)

(Quelle: Dr. Gruber, persönliche Mitteilung, Juli 2000)

### **Umweltaspekte**

Abluft: Lösemittel, Partikel (Applikation); CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Gesamt-C (Trockner/ TNV)

Abfall: Farb- & Lackschlamm, lackhaltige Spülverdünnung, Zellstofftücher, feste Restlacke, Papierfilter, (Lackierhandschuhe, -anzüge, etc.)

---

**Abluft:**

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Abluftmenge:</b>    | 210 000 Nm <sup>3</sup> /h (Applikationskabine)<br>10 000 Nm <sup>3</sup> /h (Trockner) |
| <b>Emissionswerte:</b> | Staub<br>VOC<br>CO<br>NOx   |

(Quelle: Messbericht (Emissionen) für 1998)

**Abfall:**

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>Besonders überwachungsbedürftige Abfälle:</b><br>Farb- & Lackschlamm<br>Lackhaltige Spülverdünnung<br>Zellstofftücher                     | 208 t / a<br>(Füller, Basis- und Klarlack)<br>k.A.<br>k.A. | thermische Verwertung<br>Verwertung:<br>Aufdestillierung |
| <b>Nicht überwachungsbedürftige Abfälle:<br/>Hausmüll-/Gewerbeabfall</b><br>Feste Restlacke<br>Papierfilter<br>Lackierhandschuhe und -anzüge | k.A.<br>k.A.<br>k.A.                                       | → Deponie<br>→ Deponie<br>→ Deponie                      |

k.A. = keine Angaben

(Quelle: Umweltschutzbericht, 1999)

## Nr. 6 Arbeitsschritt: *Hohlraumkonservierung*

### Verfahren

- (1) Erwärmten des lösemittelfreien Paraffins und der Karosse
- (2) Applikation

### Maßnahmen

Lösemittelfreies Hohlraumkonservierungsmaterial

### Verbräuche

Hohlraumkonservierungsmaterial:

Festkörpergehalt: 100 Gew.-%

Mengenverbrauch: k.A.

Energie: k.A.

---

## VI.2 Fallstudie bei der BMW AG Werk Dingolfing

### Einige allgemeine Daten zum Werk

#### Gesamtwerk:

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Anzahl Mitarbeiter:            | 20 000  |
| Gefertigte Fahrzeuge pro Jahr: | 285 000   |
| Werkzusammensetzung:           | Presswerk, Rohbau, Lackiererei, Montage, Ersatzteileversorgung, Herstellung von Antriebsstangen und Fahrwerksteilen |

#### Lackiererei:

|                                     |                              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Anzahl Mitarbeiter:                 | 1 500                        |
| Anzahl lackierte Fahrzeuge pro Tag: | bis 1 200 Einheiten und mehr |

#### Produkt:

|                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Gefertigte Modelle:                 | 3er Serie, 5er Serie, 7er Serie, Z8 |
| Fertigungszeit:                     | 7 Stunden                           |
| Karosseriefläche (innen und außen): | 92 m <sup>2</sup>                   |
| Anzahl Serienfarben / Sonderfarben: | 41 / 210                            |

### Informationen zum gesamten Lackierprozess

#### Vorbehandlung:

Derzeit befindet sich noch eine fünfundzwanzig Jahre alte Vorbehandlungsanlage, in der die Automobilkarossen senkrecht durch die Vorbehandlungsbäder geführt werden (sog. VERTAK-Verfahren), im Einsatz. Aber eine neue Vorbehandlungsanlage ist bereits geplant und soll planmäßig im Oktober 2001 in Betrieb genommen werden. Diese neue Anlage wird nach dem Prinzip des Rotationstauchverfahrens funktionieren. Für sämtliche Bäder von der Entfettung bis zur kataphoretischen Tauchlackierung werden die Karossen nahezu senkrecht in die Bäder ein- und ausgetaucht und drehen sich in den Bädern um 360 °C. Da die Karossen senkrecht ein- und ausgedreht und nicht schräg in das Becken abgesenkt werden, können Ein- und Auslaufbereiche entfallen, was zur einer deutlichen Platz einsparung führt. Die Drehbewegung beim Eintauchen bewirkt eine gleichmäßige Verteilung der Chemikalien auf der Karosse und daher eine verbesserte Vorbehandlungs- und Beschichtungsqualität. Zudem können die Materialverbräuche deutlich gesenkt werden: Eine Reduzierung der Menge an Chemikalien von etwa 50 % gegenüber der sich derzeitig im Einsatz befindenden Vorbehandlungsanlage wird erwartet. Die Wasser-, Abwasser- und Abfallmengen (aus der Abwasseraufbereitung) werden dem gleichen Trend folgen. Mit steigenden Standzeiten der Bäder und sinkender Chemikalien Verschleppung ist ferner zu rechnen.

#### Kataphoretische Tauchlackierung:

---

Die bestehende KTL-Anlage wird beibehalten. Dabei handelt es sich um eine konventionelle Anlage, in der die Karossen waagerecht durch das KTL-Bad geführt werden. Der KTL-Trockner ist mit einer TNV ausgestattet.

*Unterbodenschutz:*

Der Unterbodenschutz erfolgt ebenfalls auf konventioneller Weise mit dem Einsatz von PVC und z.T. mit einem Unterboden-Lack auf PUR-Basis aus Gründen der Gewichtsreduzierung.

*Füllerschicht:*

Bei der BMW AG sind seit einigen Jahren farbgebende Füller im Einsatz. Für einige Oberflächen des Fahrzeuginnenraums (z.B. Motor, Kofferraum, Türen) kann demzufolge auf die Lackschichten Basis- und Klarlack verzichtet werden. Neben der Ressourcenschonung ist auch der Beitrag zum Umweltschutz hervorzuheben. Es werden vier Füller für die Außenfläche und sechzehn Füller für den Innenraum eingesetzt. Die Außenfüller werden extern recycelt. Die Füllerapplikation erfolgt zu 100 % nach dem ESTA-Verfahren.

Derzeit ist die gesamte Füllerpalette noch auf konventionell lösemittelhaltiger Basis. In zwei Jahren ist unter Beibehaltung des Vielfarbenfüllerkonzeptes geplant, auf wasserverdünnbare Systeme in Verbindung mit einer Prozessschrittreduzierung umgestellt werden.

*Basislackschicht:*

Der Auftrag der Basislackschicht erfolgt mit einem Basislack auf Wasserbasis und einer Kombination von ESTA mittels Hochrotationsglocken und Druckluft und entspricht dem derzeitigen Stand der Technik.

## Pulverlackanlage

### Allgemeine Informationen zur Anlage

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Name und Ort der Anlage              | BMW AG, Werk Dingolfing<br>Pulverklarlackanlage  |
| Jährliche Kapazität                  | 200 000 Fahrzeuge/a<br>Kapazität: 900 Fzg/Tag (Auslegung)<br>905 Fzg/Tag (derzeit genutzt)                 |
| Jährlicher Lösemittelverbrauch [t/a] | “Null”   |
| Jahresbetriebsstunden                | 3 536 h/a (2-Schichtbetrieb, 221 Arbeitstage)  |
| Jahr der Inbetriebnahme              | 1998   |
| Anzeigen nach § 15 BImSchG           | Anlage wurde nach dem heutigen §16 in einem förmlichen Verfahren beantragt.                                |
| Kurzbeschreibung des Prozesses       | Nach der Zwischentrocknung des Basislacks, werden zunächst die Türen und Türeneinstiege mit Pulverklarlack |

|                         |   |
|-------------------------|---|
|                         | <p>im ESTA-Verfahren beschichtet (4 Roboter, je eine Pistole).</p> <p>Anschließend werden die waagrechten Flächen (mit 10 Pistolen) und die senkrechten Flächen (mit 12 Pistolen) im ESTA-Verfahren beschichtet.</p> <p>Schließlich wird die pulvrig weiße Klarlackschicht eingearbeitet: die Karosse wird in 6 min aufgeheizt und die Lackschicht in 24 min ausgehärtet.</p> |
| Karosse (3er, 5er, 7er) | Zu beschichtende Fläche: 13,5 m <sup>2</sup> (Durchschnittswert)  |

(Bezugsjahr der Angaben: 1999, falls nicht anders angegeben)

## Technische Parameter zur Pulverklarlackanlage

|                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| Kabinenlänge:            | 40 m                      |
| Luftsinkgeschwindigkeit: | 0,2 m/s                   |
| Temperatur:              | 20 ± 2 °C                 |
| Relative Feuchte:        | 45 ± 5 %                  |
| Bandgeschwindigkeit:     | 4 m/min                   |
| Gesamtluftmenge:         | 227 000 m <sup>3</sup> /h |
| Frischluftmenge:         | 50 000 m <sup>3</sup> /h  |

### Ausgewählten eingesetzten Maßnahmen

1. Pulverklarlack auf Acrylatbasis mit 100 % Festkörpersegehalt
2. Recycling des Pulverklarlocks  
Das bei der Applikation entstehende Overspray wird gesammelt und dem Lackierprozess direkt wieder Zugeführt. Die Materialbenutzung beträgt 95 %.
3. Das bei der Pulverherstellung entstehende Feinkorn wird reextrudiert (beim Hersteller).
4. 80 % der Kabinenluft wird im Kreislauf geführt.
5. Wärmerückgewinnung des Abluftstromes mittels Wärmeräder.

## Verbräuche

Lackmaterial:

Verbrauch an Pulverlack pro Karosse: 1,63 kg/Karosse (Wert 2001: 1,45 kg/Karosse)

Jahresverbrauch: 343 Tonnen

Wasser: Kein Verbrauch“

Sonstige Hilfsstoffe: Keine

Energie: Energieeinsparungen um 12 % im Vergleich zu einer konventionellen 2K-Anlage

---

## **Umweltbelastungen**

Emissionswerte

VOC:

Keine Emission an VOC

Staub:

< 0,1 mg/m<sup>3</sup>

Weitere Schadstoffe:

Keine; Einbrennverluste (< 1%) werden in der TNV verbrannt  
⇒ Gesamt-C < 1 mg/m<sup>3</sup>

Abfälle:

Besonders überwachungsbedürftige Abfälle: Keine

Überwachungsbedürftige Abfälle:

17 Tonnen/a; 102 g/Karosse  
(wird z.T. als Porosierungsmittel in der Ziegel-industrie eingesetzt und z.T. energetisch verwertet)

nicht überwachungsbedürftige Abfälle:

Keine

---

## VI.3 Fallstudie zur Serienlackierung von Pkws bei der DaimlerChrysler AG im Werk Rastatt

Im Rahmen dieser Fallstudie wurde die Anlage zur Vorbehandlung/KTL/Decklackierung der A-Klasse im DaimlerChrysler AG Werk Rastatt untersucht. Die Umsetzung der Lackierung entstand durch die Kooperation von DaimlerChrysler mit BASF und Dürr: Die Rohkarossen kommen von DaimlerChrysler, die Lackmaterialien von BASF Coatings und die Anlagetechnik wurde von der Firma Dürr Systems erstellt.

### Allgemeine Informationen zur Anlage

|   |  |
|---|--|
| Name und Ort der Anlage   | DaimlerChrysler AG, Werk Rastatt<br>Lackierung der A-Klasse  |
| Jährliche Kapazität   | Auslegung: 200 000 Fzg/a<br>Genutzte Kapazität: 192 769 Fzg/a (1999)   |
| Jährlicher Lösemittelverbrauch [t/a]  |  |
| Jahresbetriebsstunden   | 5 460 h/a<br>105 h/Woche   |
| Jahr der Inbetriebnahme   | 1997   |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher Änderungen   | /  |
| Anzeigen nach § 15 BImSchG  | /  |
| Kurzbeschreibung des Produktionsverfahrens:<br>Abfolge der wesentlichen Prozessschritte | <p><u>Vorbehandlung</u><br/>Entfettung und Aktivierung</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Phosphatierung</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>KTL und Trocknung</p> <p><u>Decklackierung</u></p> <p>Applikation 1. Basislack und Zwischentrocknung</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Applikation 2. Basislack und Zwischentrocknung</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Applikation Klarlack und Trocknung</p> |
| Karosse   | Zu beschichtende Fläche: 70 m <sup>2</sup>   |

---

## **Daten zu ausgewählte eingesetzte Maßnahmen**

### ***Nickel- und nitritfreie Vorbehandlung***

### ***Chromfreie Vorbehandlung***

Aus Umweltschutzgründen zur Vermeidung von Schwermetallen

### ***Bleifreie KTL***

Aus Umweltschutzgründen zur Vermeidung von kritischen Schwermetallen

### ***Pendelförder-Technik***

außerhalb der Behandlungsbäder (nur der Pendel ist innen)

⇒ Vermeidung der Karosserienverschmutzung

### ***Elektrostatisches Spritzverfahren***

- verbesserter Auftragswirkungsgrad
- Verminderung des Lackverbrauchs um 20 %
- Verminderung des Lackschlammfalls

### ***Unterbodenverkleidung statt -beschichtung***

- Applikations- und Trocknungskosten entfallen
- Einsparung von Energie und Personal

(Verfahren: Der Fahrzeug-Unterboden wird mit Kunststoff-Formteilen verkleidet, die eine Verbesserung des  $c_w$ -Wertes bewirken und gleichzeitig als Spritzschutz dienen. Zusammen mit den organisch vorbeschichteten Karosserieblechen ist ein guter Korrosionsschutz gewährleistet.)

### ***In-Line Lackierung der Kunststoff-Kotflügel***

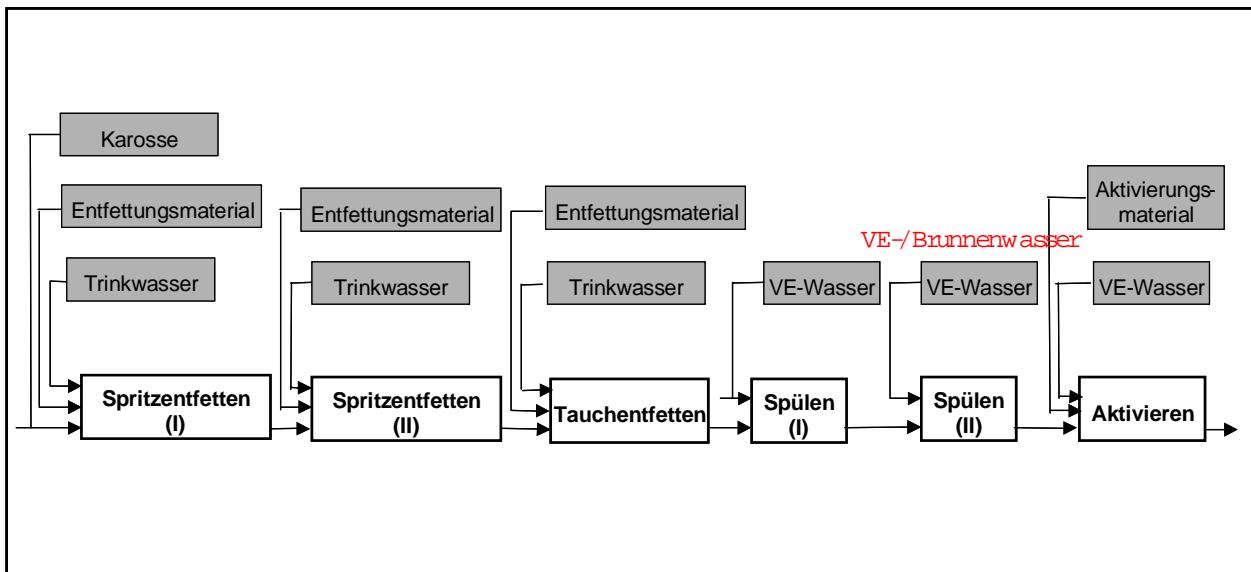
Garantie der Farbtongleichheit zwischen Kotflügel und Karosse

### ***Verzicht auf Wachs-Hohlraumkonservierung und Unterbodenschutz***

Dies wird durch den Einsatz von organisch vorbeschichteten Blechen gewährleistet.

**(Bezugsjahr der Angaben: 1999, falls nicht anders angegeben)**

## Nr. 1 Arbeitsschritt: Entfetten und aktivieren



### Maßnahmen

Hydrozyklone, Bandfilter, Ultrafiltrationsanlage

### Verbräuche

Material zur Vorbehandlung: 2,6 kg / Karosse

(Entfettung, Aktivierung und Phosphatierung)

Trinkwasser / VE-Wasser: s. Seite 398

### Umweltaspekte

Abfall: Öl-Wassergemische, verschmutzte Filter, Metallhydroxid

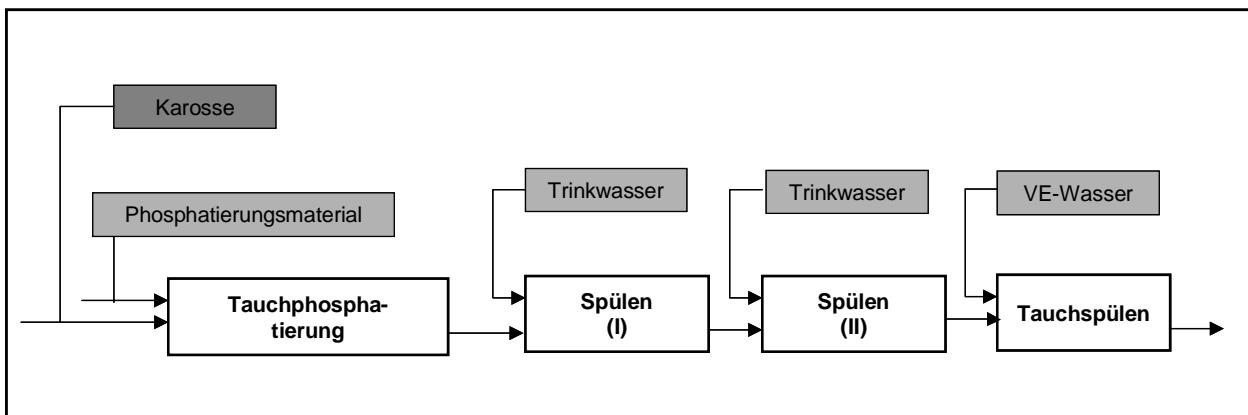
Abwasser:.. Seite 379

### **Abfall:**

Öl-Wassergemische (⇒ Verwertung): 153,1 t - 0,77 kg/Karosse

Filter (⇒ Beseitigung)

## Nr. 2 Arbeitsschritt: *Phosphatieren*



### Maßnahmen

Nickel- und nitritfreie Phosphatierung, Filterpresse

### Verbräuche

Material zur Vorbehandlung: 2,6 kg / Karosse  
(Entfettung, Aktivierung und Phosphatierung)

Trinkwasser / VE-Wasser: s. Seite 378

### Umweltaspekte

Abwasser: Abwasserbehandlung

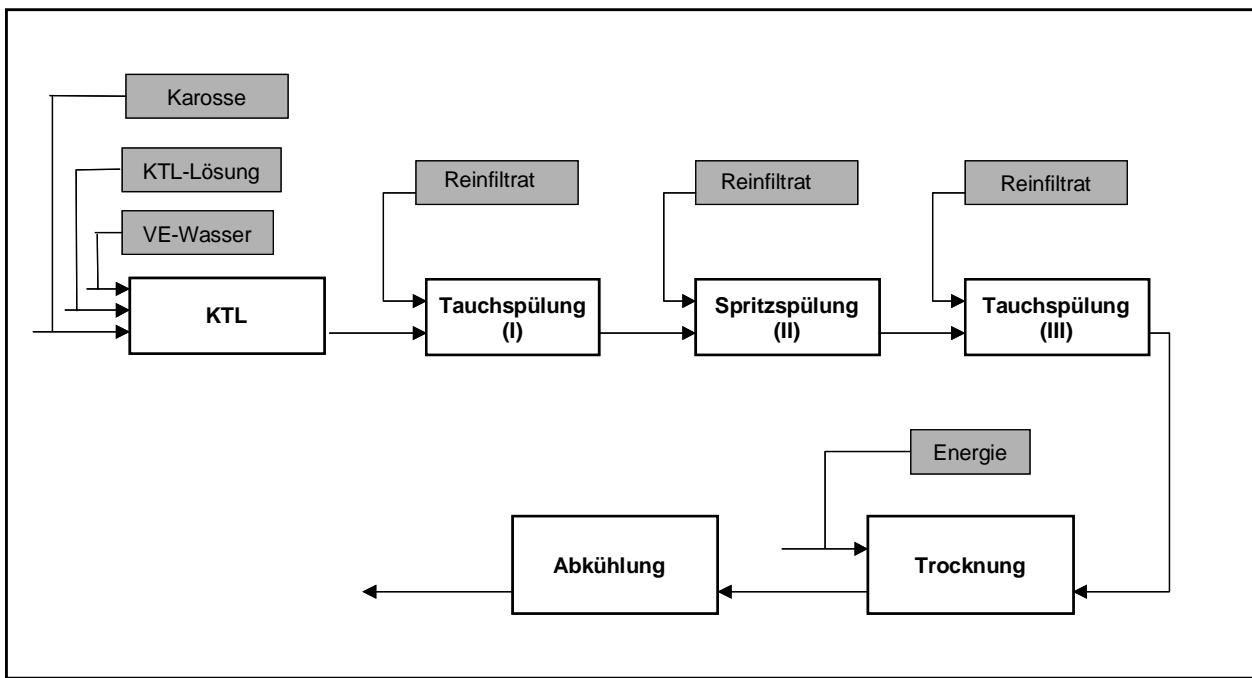
Abfall: Phosphatierschlamm,

**Abwasser:** s. Seite 378

#### **Abfall:**

Phosphatierschlamm ( $\Rightarrow$  Verwertung: Verhüttung Eisen und Stahl): 89,5 t - 0,5 kg/Kar.

## Nr. 3 Arbeitsschritt: Elektrotauchlackierung (KTL) + Trocknung



### Maßnahmen

Bleifreie KTLacke, TNV auf Trockner, Umkehrosmose

### Verbräuche

Elektrotauchlack:

Lösemittelgehalt: < 1 Gew.-%

Festkörpergehalt: k.A.

Verbrauchsmenge: 5,3 kg / Karosse

### Umweltaspekte

Abluft: VOC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO (Trocknung & Nachverbrennung)

Abwasser

Abfall: KTL-Schlamm

---

**Abluft:**      10 000 Nm<sup>3</sup>/h (Tauchkabine)  
                12 000 Nm<sup>3</sup>/h (Trockner)  
                100 000 Nm<sup>3</sup>/h (Kühlzone)

Emissionen: s. Seite 378

**Abwasser:** s. Seite 378

**Abfall:**

KTL-Schlamm ( $\Rightarrow$  Verwertung, Beseitigung in Ausnahmefällen): 23,7 t/a - 123 g/Karosse

Nr. 4 v Arbeitsschritt: Applikation und Zwischentrocknung des Basislack

**Verfahren**

1. Staub-Entfernung automatisiert (Luftdüsen), anschließend in einer EMU-Anlage (bei Störungen: manuell)
2. Applikation Basislack 1, ESTA (Außenbereich)
3. Abdunsten, Zwischentrocknen mit entfeuchter Umluft, Abkühlen

**Maßnahmen**

Basislack 1 auf Wasserbasis (inkl. Füllereigenschaften), elektrostatische Applikation

**Verbräuche**

Basislack 1:

Lösemittel-Gehalt:      10,5 Gew.-% (Farbtonabhängig)

Festkörpergehalt: 33 Gew.-%

Mengenverbrauch:      1,1 kg / Karosse

Wasser : s. Seite 378

Energie (Zuluftwärmung, Zwischentrockner): s. Seite 378

Spülflüssigkeit: s. Seite 378

**Umweltaspekte**

Abluft: VOC

Abfall: Lackschlamm, Spülflüssigkeit

**Abluft:**

Abluftmenge: 198 000 Nm<sup>3</sup>/h (Applikationskabine für WBL 1 und WBL 2)

Emissionen: s. Seite 378

**Abfall:** s. Seite 378

- 
- besonders überwachungsbedürftige Abfälle: Spülflüssigkeit
  - nicht überwachungsbedürftige Abfälle: Lackschlamm, Hausmüll-/Gewerbeabfall

## Nr. 5 Arbeitsschritt: *Applikation und Zwischentrocknung des Basislack 2*

### Verfahren

1. Applikation Basislack 2, Roboter (Innenbereich)
2. Applikation Basislack 2, ESTA (Außenbereich)
3. Abdunsten, Zwischentrocknen und Abkühlen

### Maßnahmen

Basislack 2 auf Wasserbasis, elektrostatische Applikation

### Verbräuche

Basislack 2:

Lösemittel-Gehalt: ca. 6,5 Gew.-% (je nach Farbton)

Festkörpergehalt: 29 Gew.-%

Mengenverbrauch: 2,7 kg /Karosse

Wasser: s. Seite 378

Energie (Zuluftwärmung, Zwischentrockner): s. Seite 378

Spülflüssigkeit: s. Seite 378

### Umweltaspekte

Abluft: VOC

Abfall: Lackschlamm, Spülflüssigkeit

### **Abluft:**

Abluftmenge: 198 000 Nm<sup>3</sup>/h (Applikationskabine für WBL 1 und WBL 2)

Emissionen: s. Seite 378

### **Abfall:** s. Seite 378

- besonders überwachungsbedürftige Abfälle: Spülflüssigkeit
- nicht überwachungsbedürftige Abfälle: Lackschlamm, Hausmüll-/Gewerbeabfall

## Nr. 6 Arbeitsschritt: *Klarlackauftrag und -trocknung*

### Verfahren

1. Applikation Klarlack, Roboter (Innenbereich)

- 
2. Applikation Klarlack, ESTA (Außenbereich)
  3. Trocknen und Abkühlen

### **Maßnahmen**

Pulver-Slurry, elektrostatische Applikation, TNV auf Trockner

### **Verbräuche**

Klarlack:

Lösemittel-Gehalt: < 1 Gew.-%

Festkörpergehalt: k.A.

Mengenverbrauch: 3,1 kg /Karosse

Wasser:

Energie (Zuluftwärmung, Trockner): s. Seite 378

Spülflüssigkeit: s. Seite 378

### **Umweltaspekte**

Abluft: VOC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO

Abfall: Lackschlamm, Spülflüssigkeit

#### **Abluft:**

Abluftmenge: 161 000 Nm<sup>3</sup>/h (Applikationskabine)  
9 500 Nm<sup>3</sup>/h (Trockner für Decklalinie)

Emissionen: s. Seite 378

#### **Abfall:** s. Seite 378

- besonders überwachungsbedürftige Abfälle: Spülflüssigkeit
- nicht überwachungsbedürftige Abfälle: Lackschlamm, Hausmüll-/Gewerbeabfall

## **Nr. 7 Arbeitsschritt: Nahtabdichtung**

### **Verfahren**

robotisierte Applikation (falls Störungen: manuell)

### **Maßnahmen, Verbräuche**

Nahtabdichtungsmaterial (Lösemittelfrei): PUR

Festkörpergehalt: k.A.

Mengenverbrauch: 0,8 kg/Karosse (Nur die in der Lackierung aufgebrachte Nahtabdichtung; die größere Menge wird im Rohbau aufgebracht)

Energie: s. Seite 378

---

## **Umweltaspekte**

Abfall: Kleberabfall

**Abfall:** s. unten

## **Verbrauchs- und umweltbezogene Daten für den gesamten Prozess**

### **Energie- und KälteVerbräuche**

Lackierprozess: 47 622 MWh/a

Lackiergebäude: 5 706 MWh/a

Kälte: 4 198 MWh/a

### **Spülflüssigkeit**

Lösemittelgehalt: 5 bis 20 % (Anwendungskonz.)

Verbrauch: 1,2 kg/Karosse (Konzentrat)

### **Emissionen (gesamtes Werk)**

organische Lösemittel: 60,3 t/a - 313 g/Karosse - 4,5 g/m<sup>2</sup>

Schwefeldioxid: 1,5 t/a

Stickoxide: 15,0 t/a

Kohlenmonoxid: 6,7 t/a

Staubmessungen werden in den nächsten Monaten erfolgen

### **Abfälle**

Lack- und Farbschlamm zur Verwertung (Decklack): 327 t/a - 1,7 kg/Karosse

Lösemittel und Spülverdünner zur Beseitigung: 1 118,1 t/a - 5,8 kg/Karosse

Metallhydroxid- und Phosphatierschlamm 640 t- 3,3 kg/Karosse

### **Abwasser für die Vorbehandlung**

Abwasser: 44 600 m<sup>3</sup>/a - 230 Liter/Karosse

### **Wasserverbrauch für den gesamten Prozess**

Frischwasser und VE-Wasser: 87 000 m<sup>3</sup> - 450 Liter/Karosse

## VI.4 Fallstudie bei der Dynamit Nobel Kunststoff GmbH Werk Sterbfritz

### Allgemeine Informationen zur Anlage

|  |   |
|--|---|
| Name und Ort der Anlage                    | Dynamit Nobel Kunststoff GmbH, Werk Sterbfritz<br>Anlage: Lack 2000   |
| Bezeichnung der zu lackierenden Werkstücke | Stoßfänger und Seitenschweller  |
| Materialart                                | Thermoplastische Kunststoffe und Polyurethan-Formteile  |
| Größe der Werkstücke                       | 1,2 - 1,4 m <sup>2</sup> für die Stoßfänger   |
| Geforderte Oberflächenqualität             | Sehr hoch (Automobilindustrie)  |
| Häufigkeit von Farbtonwechsel              | 80 - 90 pro Tag   |
| Jährlicher Lösemittelverbrauch             | 240 t/a   |
| Jahresbetriebsstunden                      | 4 389 h/a (3-Schichtbetrieb)  |
| Jahr der Inbetriebnahme                    | 1996  |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher Änderungen  | 1998: <ul style="list-style-type: none"><li>• Anteil Wasserlack</li><li>• Lackansatzraum/-lager</li><li>• Dampfkessel, TNV</li></ul>  |
| Kurzbeschreibung des Prozesses             | <u>Vorbehandlung</u><br>Entfettung, Spülung, Trocknung<br>↓<br>Beflammen<br>↓<br>Grundierung<br><u>Decklackierung</u><br>Basislackapplikation und Trocknung<br>↓<br>Klarlackapplikation und Trocknung |

**(Bezugsjahr der Angaben: 1999, falls nicht anders angegeben)**

---

## **Beschreibung des Lackierprozesses**

Zunächst werden die Kunststoffteile manuell auf Halterungen aufgebracht, damit sie mittels eines Kettenbandförderers durch die anschließenden Zonen (Power-Wash-Anlage, Beflämmstation, Lackerkabinen, Maskerkabine, Abdunst- und Trockenzenen) geführt werden können.

### **Vorbehandlung:**

Die Kunststoff-Formteile werden in der Power-Wash-Anlage von anhaftendem Staub, Fett und weitere Produktionsrückständen nassgereinigt und anschließend getrocknet. Dabei durchlaufen die Teile fünf verschiedene Zonen:

- 1) Entfetten 1 mit einer wässrigen Reinigungslösung bei einer Temperatur von 70 °C
- 2) Spülen 1 mit Wasser
- 3) Entfetten 2 mit einer wässrigen Reinigungslösung bei einer Temperatur von 70 °C
- 4) Spülen 2 mit Wasser
- 5) Spülen mit VE-Wasser

In allen fünf Zonen wird die Reinigung bzw. die Spülung im Spritzverfahren durchgeführt.

Das anfallende Abwasser wird in die werkseigene biologische Kläranlage eingeleitet und gereinigt.

Die gereinigten Formteile werden anschließend durch eine Blas-, Trocken- und Kühlzone gefahren.

Für ein Teil der Formteile folgt das Beflämmen, um eine möglichst optimale Lackhaftung zu erreichen. Die Polyurethan-Teile benötigen keine Vorbehandlung und werden daher ohne Beflämmung durch die Station geführt. Eine automatische Artikelkennung ordnet die Teile zu.

Der Beflämmvorgang wird mittels zwei Robotern durchgeführt, an deren Arm jeweils ein Brenner mit einer ca. 20 cm breiten Flamme montiert ist. Der Roboterarm fährt die Konturen des Teils ab und erhitzt die Materialoberfläche auf eine Temperatur von maximal 70 °C. Die Flammen werden mit Erdgas als Brennstoff betrieben; der Brennstoffbedarf beträgt 4,5 m<sup>3</sup>/h. Während der Verbrennung entstehen die Schadstoffe CO, NOx und SO<sub>2</sub>, allerdings in sehr geringen Mengen.

### **Grundierung:**

In einer Lackerkabine werden die Formteile je nach Bedarf entweder manuell oder mittels Robotern grundiert. In der Regel wird beim Ausfall eines Roboters auf die manuelle Applikation zurückgegriffen. Die entsprechenden Overspray-Anteile betragen etwa 70 % bei der manuellen Grundierung und ca. 50 % bei dem Einsatz der Roboter. Die eingesetzten Grundierungen sind 1K- und 2K-Lacksysteme. Derzeit werden nahezu 100 % der Teile mit wasserverdünnbarem Lack grundiert.

Die Lackerkabine wird durch einen Lackraum, der sich in unmittelbarer Nähe der Spritzkabine befindet, mit Lack versorgt. Die Lackkomponenten werden mittels Druckluftpumpe über eine Ringleitung in zwei Pumpenschränke geführt; dabei fließt der nicht benötigte Lack über eine Ringleitung in der Farbansatzraum zurück. Im Falle von 2K-Lacksystemen wird der Härter im Lackraum vorgehalten und von dort mit Stickstoff bzw. Druckluft in die 2K-Pumpenschränke gedrückt.

Diese Lackerkabine ist mit einer Nassauswaschung versehen: Frischluft wird von oben in die Lackerkabine geblasen. Das entstehende Overspray wird durch ein Venturi-System mit dem Wasser gemischt und ausgewaschen. Das Waschwasser wird in einem Auffang-Koagulierungsbecken unterhalb der Kabine gesammelt.

Die grundierte Kunststoff-Teile werden durch eine Abdunstzone geführt, anschließend in der Trockenzone bei einer Temperatur von etwa 80 °C im Umluftstrom getrocknet und schließlich auf Umgebungstemperatur heruntergekühlt.

### **Kontrolle und ggf. Maskierung:**

Zunehmend werden von den Kunden zwei- oder sogar mehrfarbige Lackierungen gewünscht. In derartigen Fällen muss deshalb nach der Grundierung ein Teil der Teilloberfläche mit Klebefolie abgedeckt werden.

Dieser Vorgang erfolgt manuell in der Kontroll- und Maskerkabine. Diese Kabine wird mit konditionierter Frischluft beaufschlagt.

### *Decklackierung:*

Der Basislackauftrag erfolgt in zwei verschiedenen Lackierkabinen im gleichen Verfahren wie die Grundierung, d.h. je nach Bedarf manuell oder mit Robotern und die Kabinen sind mit Overspray-Auswaschung mittels Venturi-System ausgerüstet. Als Basislacke werden 1K-Lacksysteme (wasser-verdünntbar und lösemittelhaltig) eingesetzt. Nach Möglichkeit werden Farbblöcke gebildet. Es folgen die Abdunstung, Trocknung bei 70 °C im Umluftverfahren und Abkühlung der Kunststoffteile. Die Trocknerabluft wird einer TNV zugeführt.

Bei der Klarlack-Applikation ist ein analoger Bearbeitungsprozess zu verzeichnen. Als Klarlack wird ein 2K-System verwendet. Die Lack- und Härterversorgung erfolgt ebenfalls ähnlich wie bei der Grundierung. Die lackierten Teile werden zum Schluss durch eine Abdunstzone geleitet, bei etwa 90 °C getrocknet und auf Umgebungstemperatur abgekühlt.

### *Qualitätskontrolle und ggf. Zwischenlagerung:*

Es folgt eine Qualitätskontrolle der lackierten Kunststoff-Teile. Danach werden die Teile von dem Förderband entfernt und bei Bedarf bis zum Versand an den Auftraggeber zwischengelagert. Die Vorrichtungen zum Aufsatz der Teile werden in regelmäßigen Zeitabständen entlackt.

Tabelle 2: *Emissionen in die Luft*

|                        |  |
|------------------------|--|
| Herkunft der Daten     | Betriebsdaten von Zukauf und Entsorgung von Lacken und Lösemitteln |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000   |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen:  
produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme<br>(s. beigefügte Liste mit Beispielen)  | Prozessschritt                                | Weitere Angaben                               |
|---|---|---|
| Robotereinsatz                                    | Grundieren<br>Basislackieren<br>Klarlackieren | Anteil von ca. 50 %                           |
| Erhöhter Einsatz von Hydro-Lacken                 | Grundieren<br>Basislackieren                  | nahezu 100 % Hydrolack<br>ca. 45 % Hadro-Lack |
| Lackversorgung über Rohrleitungen<br>im Kreislauf | Grundieren<br>Basislackieren<br>Klarlackieren | Beitrag zur Ressourcen-<br>s schonung         |
| Anlieferung von Lacken in<br>Großbinden           | Grundieren<br>Basislackieren<br>Klarlackieren | Beitrag zur Ressourcen-<br>s schonung         |
| Recycling von Reinigungslösemitteln               | Grundieren<br>Basislackieren<br>Klarlackieren | Beitrag zur Ressourcen-<br>s schonung         |

Tabelle 2b: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen:  
nachgeschaltete Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme<br>(s. Liste mit Beispielen)         | Prozessschritt                                | Erreichter Wirkungsgrad |
|---|---|-------------------------|
| Venturi-Auswaschung zur Overspray-Abscheidung | Grundieren<br>Basislackieren<br>Klarlackieren |                         |
| Thermische Nachverbrennung für die Trockner   | Grundieren<br>Basislackieren<br>Klarlackieren |                         |

Tabelle 2c: *Angaben zum Rohgas vor Abgasreinigung bzw. Ableitung nach Schornstein*

| Prozessschritt | Abgasvolumenstrom [Nm <sup>3</sup> /h] |
|----------------|--|
| Grundieren     | 295 000                                |
| Basislackieren |  |
| Klarlackieren  |  |
| Trockner       | 2 500                                  |

Tabelle 2d: *Emissionswerte - gefasste Emissionen (Reingas nach Abgasreinigung)*

| Parameter              | Massenstrom in<br>[kg/h] | Massenstrom in<br>[kg/a] | Tätigkeiten bzw. Anlagenbereiche,<br>in denen gefasste Emissionen<br>auftreten |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| VOC                    | 46,8                     | 205 500                  |  |
| Gesamt-C <sup>1)</sup> | 0,070                    | 307                      | Abdunst- und Trocknungszone  |
| Staub                  | 0,145                    | 637,28                   |  |
|                        | 0,13                     | 570,57                   |  |

<sup>1)</sup> nach TNV

Tabelle 2e: *Emissionswerte - diffuse Emissionen und Ableitung über Tore und Türen  
ohne Abgasreinigung*

| Parameter | geschätzte oder berechnete<br>Emissionsmengen | Tätigkeiten bzw. Anlagenbereiche,<br>in denen gefasste Emissionen<br>auftreten |
|-----------|---|--|
| VOC       | 1,5 kg/h - 6 600 kg/a                         |  |

Tabelle 3: *Wasserseitige Emissionen*

|                        |                    |
|------------------------|--------------------|
| Herkunft der Daten     | Interne Protokolle |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000               |

Tabelle 3a: *Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs*

| Maßnahme<br>(s. beigelegte Liste mit Beispielen)                            | Prozessschritt                                | Erreichter Wirkungsgrad  |
|---|---|--|
| Ersatz des rechteckigen Koagulierungsbeckens durch einen runden Becken      | Decklackierung                                | Längere Verweilzeiten des Wassers  |
| Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage durch Wärmeräder (in naher Zukunft) | Grundieren<br>Basislackieren<br>Klarlackieren | Ist-Stand: 1,7 m <sup>3</sup> /h<br>Zukünftig: 1,3 m <sup>3</sup> /h<br>Frischwasser |
| Kaskadenführung   | Entfetten, Spülen                             |  |

Tabelle 3b: *Angewandte Maßnahmen zur Abwasserbehandlung*

| Maßnahme<br>(s. beigelegte Liste mit Beispielen) | Erreichter Wirkungsgrad*                               |
|--|--|
| Biologische Kläranlage                           | CSB-Zulauf: ca. 4 500 mg/l<br>CSB-Ablauf: ca. 250 mg/l |
| Neutralisation                                   |  |
| Fällung/Flockung                                 |  |

Tabelle 3c: *Angaben zum Abwassermengenstrom*

| Produktionsabwasser  | Wert [mg/l] |     |     |                        |      |
|--|-------------|-----|-----|------------------------|------|
|  | CSB         | TOC | AOX | Kohlenwasserstoffindex | LHKW |
| Behandeltes Abwasser<br>(inkl. Abwasser aus der VE-Wasseraufbereitung) | 250 mg/l    |     |     |                        |      |

Tabelle 4: Abfälle

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Herkunft der Daten     | Abfallbericht Jahr 2000 |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000                    |

Tabelle 4a: Angewandte Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung

| Maßnahme<br>(s. beigefügte Liste mit Beispielen)  | Prozessschritt                                | Erreichter Wirkungsgrad                          |
|---|---|--|
| Robotereinsatz  | Grundieren<br>Basislackieren<br>Klarlackieren | Verminderung von Overspray und daher Lackschlamm |
| - Ringleitungen für die Lackzuführung<br>- Einsatz von Mehrweggebinde<br>- Stoffliche Verwertung von Altłacken (extern)<br>- Einsatzstoffe in Mehrwegverpackungen beziehen<br>- Externe Destillation der verschmutzten Reinigungslösemittel | Grundieren<br>Basislackieren<br>Klarlackieren | Ressourcenschonung                               |
| Dosenpresse für Blecheimer und Verwertung als Metallschrott   | Grundieren<br>Basislackieren<br>Klarlackieren | Kosteneinsparungen                               |

(Eine Abfallvorbehandlung findet nicht statt.)

Tabelle 4b: *Abfallmengen und Verwertungs- bzw. Beseitigungsverfahren*

| <b>Abfallbezeichnung</b>              | <b>Abfallschlüssel-Nr.<br/>(EAK)<sup>1)</sup></b> | <b>Abfallmenge<sup>2)</sup></b> | <b>Einheit</b> | <b>Verwertungs- oder<br/>Beseitigungs-<br/>Verfahren</b> | <b>Charakteristische<br/>Eigenschaften<sup>3)</sup> /<br/>Anmerkungen</b> | <b>Abfallart</b>                                |
|---------------------------------------|---|---------------------------------|----------------|--|---|---|
| Lackschlamm                           | 080107  | 315                             | T/a            | Stoffliche Verwertung                                    | Wasseranteil: ca. 50 %<br>Heizwert > 11 000 kJ/kg                         | ⊕ besonders überwa-<br>chungsbedürftige Abfälle |
| Altlacke                              | 080102  | 12                              | T/a            | Stoffliche Verwertung                                    | -   | ⊕ besonders überwa-<br>chungsbedürftige Abfälle |
| Reststoffe aus Butyl-<br>Destillation | 070304  | -                               | -              | Stoffliche Verwertung                                    | ca. 35 % Abfall   | ⊕ besonders überwa-<br>chungsbedürftige Abfälle |

<sup>1)</sup> ggf. auch EAK-Bezeichnung

<sup>2)</sup> absolute Abfallmenge (z.B. in t/a) oder spezifische Abfallmenge (z.B. pro Produktmenge)

<sup>3)</sup> z.B. Heizwert, Wasseranteil

Tabelle 5: Verbrauch an Einsatzstoffen und Energie

| Prozessschritt: | Einsatzstoffe           | Verbrauchsmenge <sup>1)</sup> | Einheit  | Charakteristische Eigenschaften |
|-----------------|-------------------------|-------------------------------|----------|---------------------------------|
| Grundierung     | konventionell LM-haltig | 450                           | kg/Monat | LM-Gehalt: 50 Gew.-%            |
|                 | Hydro-Primer            | 10 200                        | kg/Monat | LM-Gehalt: 15 Gew.-%            |
| Basislackierung | konventionell LM-haltig | 10 000                        | kg/Monat | LM-Gehalt: 50 Gew.-%            |
|                 | Hydro-Primer            | 8 200                         | kg/Monat | LM-Gehalt: 15 Gew.-%            |
| Klarlackierung  | konventionell LM-haltig | 8 100                         | kg/Monat | LM-Gehalt: 50 Gew.-%            |
| Härter          | LM-haltig               | 4 500                         | kg/Monat | LM-Gehalt: 30 Gew.-%            |
| Verdünnungen    | Butylacetat             | 6 500                         | kg/Monat | LM-Gehalt: 100 Gew.-%           |
|                 | Lösemittelgemisch       | 7 800                         | kg/Monat | LM-Gehalt: 10 Gew.-%            |

<sup>1)</sup> absolute Menge (z.B. jährliche Gesamtmenge an verwendeter Klarlack [t/a])

| Prozessschritt: | Hilfsstoffe   | Verbrauchsmenge <sup>1)</sup> | Einheit | Charakteristische Eigenschaften |
|-----------------|---|-------------------------------|---------|---------------------------------|
| Grundieren      | - Koagulierungsmittel   |                               |         | Entklebt den Lack               |
| Basislackieren  | - Salzsäure 30 %  |                               |         | Neutralisierung                 |
| Klarlackieren   | - Natriumhydroxid-Lösung 45 %<br>- Flockungsmittel<br>- Entschäumer |                               |         | Neutralisierung                 |

<sup>1)</sup> absolute Menge (z.B. jährliche Gesamtmenge [t/a]) oder spezifische Menge (z.B. pro lackiertes Produkt)

| Prozess/Anlage: | Stoff/Energie | Verbrauchsmenge <sup>1)</sup> | Einheit | Charakteristische Eigenschaften         |
|-----------------|---------------|-------------------------------|---------|---|
| Energieeinsatz  |               |                               |         | Keine separate Erfassung für die Anlage |

<sup>1)</sup> absolute Menge (z.B. jährliche Gesamtmenge [MJ/a]) oder spezifische Menge [kJ/lackiertes Produkt])

---

Tabelle 6: *Angaben über Kosten (soweit bekannt)*

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| <b>Techniken und Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minderung von Umweltbelastungen</b> | Wärmerückgewinnungsanlage         |
| <b>Investitionen:</b>  | ca. 0,9 Mio. EUR                  |
| <b>Techniken und Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minderung von Umweltbelastungen</b> | Änderung des Koagulierungsbeckens |
| <b>Investitionen:</b>  | ca. 30 000 EUR                    |

## VI.5 Fallstudie zur Lackierung von Getränkedosen

Für die Lackierung von Getränkedosen wurden Daten von den Werken A, B, C erhoben bzw. vom Verband Metallverpackungen zusammen-gestellt

### VI.5.1 Werk A

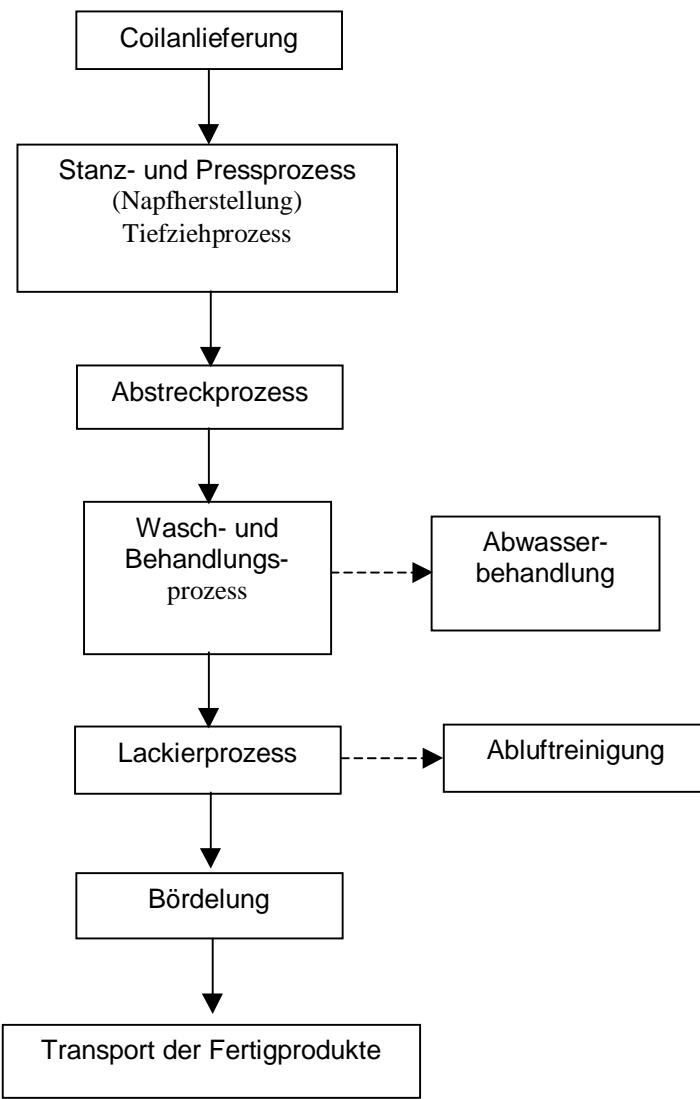
#### Allgemeine Informationen zur Anlage

|  |   |
|--|---|
| Name und Ort der Anlage  | Werk A  |
| Ansprechpartner für Rückfragen:<br>Anschrift:<br>Telefon:<br>Fax:<br>E-mail:             | Claudia Weber<br>Verband Metallverpackungen e.V. (VMV)<br>Düsseldorf<br>Kaiserswertherstr.137<br>40474 Düsseldorf<br>0211/45 46 525<br>0211/45 46 531<br>cweber@metallverpackungen.de |
| zu lackierenden Werkstücke   | Getränkedosen   |
| Materialart  | Weißblech   |
| Größe und Geometrie der Werkstücke   | 33 / 50 cl  |
| Geforderte Oberflächenqualität   | Lebensmittelrechtliche Anforderungen  |
| Häufigkeit von Farbtonwechsel  | Ca. 500 Dekorwechsel pro Jahr auf der 33 cl und<br>1.100 Dekorwechsel auf der 50 cl Produktionslinie  |
| Jährliche Kapazität im Bezugsjahr 2000   | Ca. 120.000.000 m <sup>2</sup>  |
| Lösemittelverbrauch  | Maximal 0,0072 kg LM/m <sup>2</sup> (maximal 864 t)   |
| Jahresbetriebsstunden  | 6.500 - 8.400 h   |
| Jahr der Inbetriebnahme  | 1978  |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher Änderungen, die für die nachfolgenden Daten relevant sind | Modernisierung und Umbau auf 2 Hochleistungslinien, 1999 Installation einer regenerativen Nachverbrennungs-Anlage, 1995 Modernisierung  |
| Anzeigen nach § 15 BImSchG   | Lackieranlagen mit Lacklager, Staubfilter mit Adsorptionsanlage und regenerativer, thermischer Abluftreinigungsanlage   |

Urzbeschreibung des  
Produktionsverfahrens

(Abfolge der wesentlichen  
Prozessschritte, Anlagen-  
teile/Anlagenkonfiguration,  
relevante Nebeneinrichtungen)

### Vereinfachtes Verfahrensfließbild Dosenproduktion



---

**Tabelle 2: Emissionen in die Luft**

|                        |   |
|------------------------|---|
| Herkunft der Daten*    | Produktdatenblätter, Emissionserklärung, Messberichte |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000  |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen  
produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme<br>(s. beigefügte Liste mit Beispielen) | Prozessschritt                              | Erreichter<br>Wirkungsgrad |
|--|---|----------------------------|
| Wasserbasierende Lacke                           | Basislack<br>Innenspritzlack<br>Druckfarben |                            |
| Lackeinsparung bei der<br>Innenspritzlackierung  | Innenlackierung                             | k. A.                      |
| Reduzierung der Lackgewichte                     | Gesamter Lackierprozess                     |                            |
| Recycling des Oversprays                         | Innen- und Bodenlackierung                  |                            |
| Recycling von<br>Reinigungslösemittel            | Gesamter Lackierprozess                     | k. A.                      |

Tabelle 2b: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen:  
nachgeschaltete Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme  | Prozessschritt  | Erreichter Wirkungsgrad* |
|---|-----------------|--------------------------|
| Thermisch regenerative<br>Nachverbrennung,<br>Adsorptionsanlage zur Aufkonzen-<br>tration der Lösemittel aus kalter<br>Abluft | Abluftreinigung | > 99 %                   |

\* z.B. Emissionserklärung

Tabelle 2c: Angaben zum Rohgas vor Abgasreinigung bzw. Ableitung nach Schornstein

| Prozessschritt               | Abgasvolumenstrom [Nm <sup>3</sup> /h] |
|------------------------------|--|
| Thermo-Reaktor, Messung 2000 | 76 000 bei 2 Linien                    |
| Adsorptionsrad, Messung 2000 | 90 000 bei 2 Linien                    |

Tabelle 2d: Emissionswerte - gefasste Emissionen (Reingas nach Abgasreinigung)

| Parameter              | Massenstrom in<br>[kg/h] | Massenstrom in<br>[kg/a] | Anmerkungen         |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| VOC                    | keine Angaben            | keine Angaben            |                     |
| Gesamt-C <sup>1)</sup> | 0,61                     | 5.075                    | Nach Thermo-Reaktor |
|                        | 1,2                      | 10.080                   | Nach Adsorptionsrad |
| Staub                  | 0,00015                  | 1,27                     | Nach Thermo-Reaktor |
| CO                     | 1,37                     | 11.400                   | Nach Thermo-Reaktor |
| NO <sub>x</sub>        | 1,52                     | 12.600                   | Nach Thermo-Reaktor |

<sup>1)</sup> z.B. nach einer thermischen Nachverbrennung

---

**Tabelle 3: Wasserseitige Emissionen**

|                        |  |
|------------------------|--|
| Herkunft der Daten     | Umweltbericht, Jahresabschluss, Wasserwerke , Betriebstagebuch |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000   |

Tabelle 3a: *Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs*

| Maßnahme<br>(s. beigefügte Liste mit Beispielen)  | Prozessschritt |
|---|----------------|
| Reduzierung Overflow an den Waschern<br>Verfahrensoptimierung Wascher<br>Kaskadenoptimierung<br>Düsenoptimierung<br>Geschlossene Kreislaufführung | Waschen        |

Tabelle 3c: *Angaben zum Abwassermengenstrom*

| Produktionsabwasser   | Wert [mg/l] |      |     |       |                |
|---|-------------|------|-----|-------|----------------|
| Differenziert nach:   | Sn          | MKW  | AOX | PH    | Temp.          |
| ▪ Rohabwasser (nach Wasch-<br>▪ Maschinen<br>▪ Behandeltes Abwasser<br>(Neutralisation) | 4,0         | < 20 | 0,5 | 6,5-9 | <30°C<br><35°C |

(Angaben sind behördlich festgelegte Grenzwerte)

**Tabelle 4: Abfälle**

|                      |  |
|----------------------|--|
| Herkunft der Daten*  | Abfallwirtschaftsbilanz,<br>Abfallwirtschaftskonzept |
| Bezugsjahr der Daten | 2000   |

\* z. B. Abfallbilanz, betriebliche Abfallwirtschaftskonzepte

Tabelle 4a: *Angewandte Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung*

| Maßnahme<br>(s. beigelegte Liste mit Beispielen)   | Prozessschritt   |
|--|------------------|
| Mehrwegverpackungen (Lacke, Farben, Öle Fette)<br>Verringerung der Einsatzmaterialstärke | Ausgangsmaterial |

Tabelle 4b: *Abfälle*

| Abfallstoff   | Schlüsselnummer EAK | Menge t | Menge pro Fläche G/m <sup>2</sup> |
|---|---------------------|---------|-----------------------------------|
| Organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen (Overspray)                                | 70304               | 56,79   | 0,473                             |
| Schlämme a. d. Farb und Lackentfernung die keine halogenierten Lösemittel enthalten (ASF)             | 080107              | 2,95    | 0,025                             |
| Lösemittel und Lösemittelgemische   | 140103              | 42,15   | 0,351                             |
| Aufsaug- und Filtermaterialien, Wischtücher und Schutzkleidung mit schädlichen Verunreinigungen (ASP) | 150299D1            | 61,66   | 0,514                             |

**Tabelle 5: Verbrauch an Einsatzstoffen und Energie (Werk A)**

| Prozessschritt:                 | Einsatzstoffe  | Verbrauchsmenge <sup>1)</sup><br>T/a | Verbrauchsmenge<br>g/m <sup>2</sup> | Charakteristische<br>Eigenschaften<br>[%<br>Lösungsmittel] | Festkörper<br>[%] |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------|
| Lackieren<br>innen und<br>außen | Lacke (gesamt) | 1.200                                | 10                                  | 15-45  | 35-60 %           |
|                                 | Innenlack      | 2.300                                | 19,17                               | 10-15  | 20-22 %           |
|                                 | Druckfarbe     | 60                                   | 0,5                                 | 18-38  | 62-82 %           |

<sup>1)</sup> absolute Menge

| Prozess-schritt: | Einsatzstoffe   | Menge <sup>1)</sup>       | Einheit           |
|------------------|---|---------------------------|-------------------|
| Energie-einsatz  | Erdgas,<br>elektrischer<br>Strom,<br>energetisch<br>genutzte<br>Abwärme | 67.000<br>43.000<br>4.000 | MWh<br>MWh<br>MWh |

1) absolute Menge (z.B. jährliche Gesamtmenge [MJ/a]) bezogen auf das gesamte Werk

**Tabelle 6: Angaben über Kosten**

|   |   |
|---|---|
| Techniken und Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minderung von Umweltbelastungen | 1. Wasser:<br>a. Einbau einer Umkehrosmose<br>2. Farben/Lacke<br>a. Recycling Overspray bei der Innenlackierung<br>b. Erweiterter Einsatz wasserbasierender Lacke<br>3. Metall<br>a. Blechdickenreduzierung<br>4. ISO 14001<br>5. Reduzierung des Werksverkehrs |
| Investitionen:  | Zu 1:ca. 255.754 EUR<br>Zu 3: ca. 767.000 – 1.023.000 Mio EUR<br>Zu 4: ca. 76726 EUR<br>Zu 5: ca. 409.207 EUR   |
| Bezugsjahr  | 2000  |

## VI.5.2 Werk B

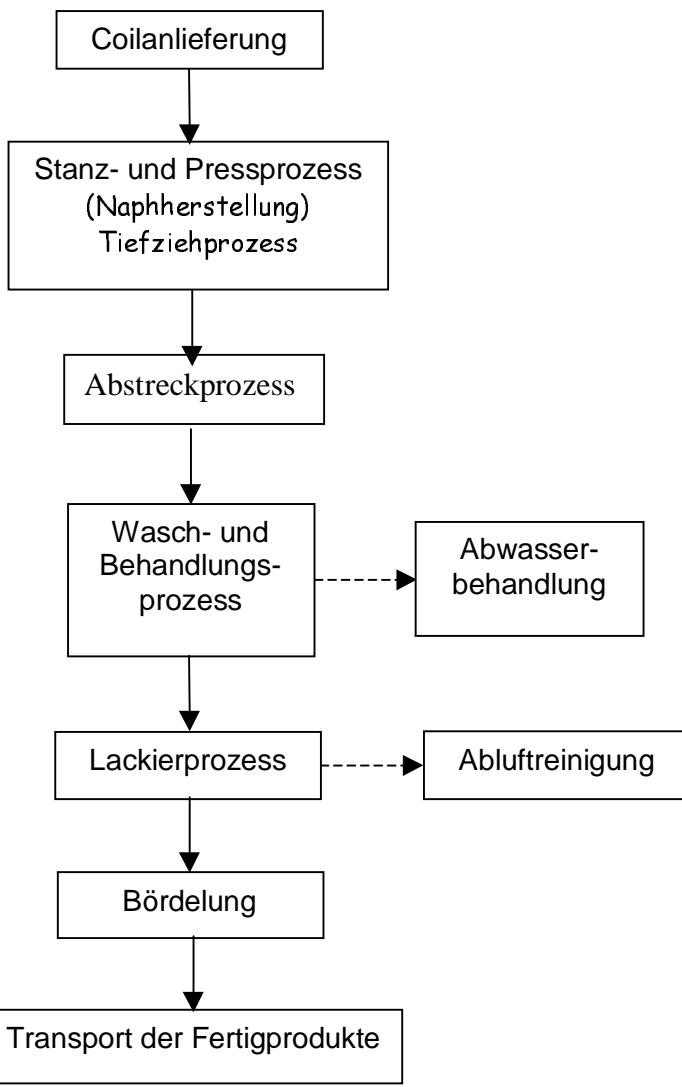
**Tabelle 1: Allgemeine Informationen zur Anlage**

|  |  |
|--|--|
| Name und Ort der Anlage  | Werk B   |
| Ansprechpartner für Rückfragen:<br>Anschrift:<br>Telefon:<br>Fax:<br>E-mail:                   | Claudia Weber<br>Verband Metallverpackungen e.V. (VMV) Düsseldorf<br>Kaiserswertherstr.137<br>40474 Düsseldorf<br>0211/45 46 525<br>0211/45 46 531<br>cweber@metallverpackungen.de                   |
| Bezeichnung der zu lackierenden<br>Werkstücke (z.B. Stoßfänger, Türen)                         | Getränkedosen  |
| Materialart (Metall, Holz, Kunststoff)   | Weißblech  |
| Größe und Geometrie der Werkstücke   | 33 /50 cl  |
| Geforderte Oberflächenqualität   | Lebensmittelrechtliche Anforderungen   |
| Häufigkeit von Farbtonwechsel  | Ca. 400 Dekorwechsel pro Jahr und Produktionslinie   |
| Jährliche Kapazität im Bezugsjahr 2000   | <b>Ca. 100.000.000 m<sup>2</sup></b>   |
| Lösemittelverbrauch  | maximal 0,0067 kg LM/m <sup>2</sup><br><b>maximal 670 t</b>  |
| Jahresbetriebsstunden  | 6500-8400 h  |
| Jahr der Inbetriebnahme  | 1984   |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher Änderungen,<br>die für die nachfolgenden Daten relevant<br>sind | Installation einer 3. Produktionslinie / 1991<br>Installation einer Regenerativen Thermischen Oxidations<br>Anlage / 1991  |
| Anzeigen nach § 15 BImSchG   | Aktivkohlefilter an Lackiereinheiten / Sicherheitsmaß-<br>nahmen u. Außerbetriebnahme –Propangasanlage. Installation<br>einer 3. Produktionslinie.<br>Installation von Absaughauben – Innenlacköfen- |

Kurzbeschreibung des  
Produktionsverfahrens

(

### Vereinfachtes Verfahrensfließbild Dosenproduktion



**Tabelle 2: Emissionen in die Luft**

|                        |  |
|------------------------|--|
| Herkunft der Daten*    | Produktdatenblätter, Emissionserklärung, Meßberichte |
| Bezugsjahr der Angaben | 1999 / 2000  |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen:  
produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme  | Prozessschritt                              | Erreichter Wirkungsgrad |
|---|---|-------------------------|
| Wasserbasierte Lacke  | Basislack<br>Innenspritzlack<br>Druckfarben |                         |
| Installation von Absaughauben an den Innenlackieröfen       | Innenlackierung                             |                         |
| Lackeinsparung bei der Innenlackierung                      | Innenlackierung                             |                         |
| Reduzierung der Lackgewichte durch Einsatz von Gravurwalzen | Druckprozess                                |                         |
| Produktion in Overvarnish                                   | Druckfarbenschutz                           |                         |
| Recycling von Reinigungslösemittel                          | Gesamter Lackierprozess                     |                         |

Tabelle 2b: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen:  
nachgeschaltete Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme<br>(s. Liste mit Beispielen)                              | Prozessschritt  | Erreichter Wirkungsgrad |
|--|-----------------|-------------------------|
| Thermische Nachverbrennung,<br>Biowäscher,<br>Oversprayabscheidung | Abluftreinigung | > 99%                   |

- z.B. Emissionserklärung, Produktdatenblätter

Tabelle 2c: *Angaben zum Rohgas vor Abgasreinigung bzw. Ableitung nach Schornstein*

| Prozessschritt                | Abgasvolumenstrom [Nm <sup>3</sup> /h] |
|-------------------------------|--|
| Trocknen , TNV , Messung 1998 | 71.240 bei 3 Linien u.IC-Absaugung     |
| Biowäscher , Messung 1999     | 31.820 bei 2 Linien                    |

Tabelle 2d: *Emissionswerte - gefasste Emissionen (Reingas nach Abgasreinigung)*

| Parameter              | Massenstrom in [kg/h] | Massenstrom in [kg/a] | Tätigkeiten bzw. Anlagenbereiche, in denen gefasste Emissionen auftreten |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| VOC                    | k .A.                 | k. A.                 |  |
| Gesamt-C <sup>1)</sup> | 1,19                  | 6.764                 | TNV (danach)   |
|                        | 0,3                   | 252                   | Biowäscher (danach)  |
| Staub                  | 0,03                  | 202                   | TNV (danach)   |
| CO                     | 0,69                  | 3.929                 | TNV ( danach)  |
| NO <sub>x</sub>        | 1,71                  | 9.721                 | TNV (danach)   |

<sup>1)</sup> z.B. nach einer thermischen Nachverbrennung

**Tabelle 3: Wasserseitige Emissionen**

|                        |  |
|------------------------|--|
| Herkunft der Daten     | Umweltbericht , Jahresabschluß ,Wasserwerke , Betriebstagebuch |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000   |

Tabelle 3a: *Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs*

| Maßnahme   | Prozessschritt | Erreichter Wirkungsgrad* |
|--|----------------|--------------------------|
| Reduzierung Overflow an den Waschern<br>Verfahrensoptimierung Wascher II<br>Zu Wascher III<br>Kaskadenoptimierung<br>Düsenoptimierung<br>Geschlossene Kreislaufführung | Waschen        |                          |

Tabelle 3b: *Angewandte Maßnahmen zur Abwasserbehandlung*

| Maßnahme<br>(s. beigefügte Liste mit Beispielen)       | Prozessschritt     | Erreichter Wirkungsgrad |
|--|--------------------|-------------------------|
| z.Zt. Installation einer Fällungs – u. Flockungsanlage | Abwasserbehandlung |                         |

Tabelle 3c: *Angaben zum Abwassermengenstrom*

| Produktionsabwasser | Wert [mg/l] |     |     |    |       |
|---------------------|-------------|-----|-----|----|-------|
|                     | Sn          | MKW | AOX | pH | Temp. |
|                     |             |     |     |    |       |

| Produktionsabwasser         | Wert [mg/l] |     |    |        |       |
|-----------------------------|-------------|-----|----|--------|-------|
| Fällungs-u.Flockungsanlage) | < 2         | <20 | <1 | 6,5-10 | <30°C |

Angaben sind behördlich festgelegte Grenzwerte (Ortssatzung).

**Tabelle 4: Abfallmengen im Jahr 2000**

| Abfallstoff   | Schlüsselnummer<br>EAK | Menge<br>[t] | Menge /<br>Fläche<br>[g/m <sup>2</sup> ] |
|---|------------------------|--------------|--|
| Farbfilter  | 150201                 | 6            | 0,06                                     |
| Schlämme a. d. Farb und Lackentfernung<br>die keine halogenierten Lösemittel<br>enthalten (ASF)             | 080108                 | 87,00        | 0,87                                     |
| Verpackungen mit schädlichen<br>Verunreinigungen  | 150199 D1              | 8            | 0,08                                     |
| Aufsaug- und Filtermaterialien,<br>Wischtücher und Schutzkleidung mit<br>schädlichen Verunreinigungen (ASP) | 150299D1               | 43           | 0,43                                     |

Anmerkung:

Die Einordnung der Abfälle nach EAK-Nr. wird durch die jeweilige Behörde eines jeden Bundeslandes vorgenommen, können also unterschiedlich sein.  
(siehe Rexam Berlin und Schmalbach Hassloch)

**Tabelle 5: Verbrauch an Einsatzstoffen und Energie**

| Prozess-schritt: | Einsatz-stoffe                                       | Verbrauchs-menge<br>[T/a]    | Verbrauchsmenge<br>[g/m <sup>2</sup> ] | Charakteristische<br>Eigenschaften<br>[Lösemittel in %] | Anmerkungen<br>Festkörper<br>[%]      |
|------------------|--|------------------------------|--|---|---------------------------------------|
| Lackieren        | Lacke<br>(gesamt)<br><br>Innenlack<br><br>Druckfarbe | 1.200<br><br>2.200<br><br>74 | 12,00<br><br>22,00<br><br>0,74         | 15-45<br><br>10-15<br><br>18-38                         | 35-60 %<br><br>20-22 %<br><br>62-82 % |

| Prozess-schritt: | Einsatzstoffe | Verbrauchs-<br>menge<br>1)<br>[MWh] |
|------------------|---------------|-------------------------------------|
| Energie-einsatz  | Erdgas        | 60.000                              |
|                  | Strom         | 55.000                              |

<sup>1)</sup> absolute Menge bezogen auf das gesamte Werk

**Tabelle 6: Angaben über Kosten**

|   |  |
|---|--|
| Techniken und Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minderung von Umweltbelastungen | 1. Wasser :<br>b. Wascher II zu Wascher III<br>c. Abwasserbehandlungsanlage<br>2. Farben/Lacke<br>c. Overvarnish<br>3. Luft / Geruch<br>a. Absaugungen an den Innenlackieöfen<br>4. Metall<br>a. Metalldickenreduzierung<br>5. ISO 14001 |
| Investitionen:  | Zu 1.: ca. 1.023.017 EUR<br>Zu 2.: ca. 56.265 EUR<br>Zu 3: ca. 153.452 EUR<br>Zu 4.: ca. 767.263 – 1.023.000 EUR<br>Zu 5.: ca. 51.150 – 76726 EUR  |
| Bezugsjahr  | 2000/01  |

## VI.5.3 Werk C

**Tabelle 1: Allgemeine Informationen zur Anlage**

|  |  |
|--|--|
| Name und Ort der Anlage  | Werk C   |
| Ansprechpartner für Rückfragen:<br>Anschrift:<br>Telefon:<br>Fax:<br>E-mail: | Claudia Weber<br>Verband Metallverpackungen e.V. (VMV) Düsseldorf<br>Kaiserswertherstr.137<br>40474 Düsseldorf<br>0211/45 46 525<br>0211/45 46 531<br>cweber@metallverpackungen.de |
| Bezeichnung der zu lackierenden<br>Werkstücke (z.B. Stoßfänger, Türen)       | Getränkedosen  |
| Materialart (Metall, Holz, Kunststoff)                                       | Aluminium  |
| Größe und Geometrie der Werkstücke   | 0,15; 0,20; 0,25; 0,296; 0,33; 0,35 l Dosen  |
| Geforderte Oberflächenqualität   | Lebensmittelrechtliche Anforderungen   |
| Häufigkeit von Farbtonwechsel  | Dekorwechsel: 2.200 in 1999  |
| Jährliche Kapazität im Bezugsjahr*   | Produzierte Menge: 1.453.000.000 Stück;<br>lackierte Fläche: 72.090.000 m <sup>2</sup>   |
| Jährlicher Lösemittelverbrauch [t/a] im<br>Bezugsjahr 1999                   | <b>0,0032 Kg / m<sup>2</sup>, 250 – 300 t/a</b>  |
| Jahresbetriebsstunden im Bezugsjahr 1999<br>[h/a]                            | 8.300  |
| Jahr der Inbetriebnahme  | 1968   |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher   | Einbau einer neuen Abluftreinigungsanlage (TNV und   |

|   |  |
|---|--|
| Änderungen,                                     | ADR) 1993  |
| Anzeigen nach § 15 BImSchG                      | Anzeigepflichtig: Abluftreinigungsanlage, Lackier-bereich, Wascher; Anzeigen in letzter Zeit: Änderung Befüllplatz und Tankanlage für Innenlack  |
| Kurzbeschreibung des Produktionsverfahrens<br>( | <p style="text-align: center;"><b>Vereinfachtes Verfahrensfließbild Dosenproduktion</b></p> <pre> graph TD     A[Coilanlieferung] --&gt; B[Stanz- und Pressprozess<br/>Tiefziehprozess<br/>(Napfherstellung)]     B --&gt; C[Abstreckprozess]     C --&gt; D[Wasch- und Behandlungsprozess]     D --&gt; E[Lackierprozeß]     E --&gt; F[Bördelung]     F --&gt; G[Transport der Fertigprodukte]     D -.-&gt; H[Abwasserbehandlung]     E -.-&gt; I[Abluftreinigung]   </pre> |

---

**Tabelle 2: Emissionen in die Luft**

|                        |   |
|------------------------|---|
| Herkunft der Daten*    | S: Schätzwerte (überschlägig rechnerisch ermittelt)<br>M: Messwerte durch unabhängiges Institut |
| Bezugsjahr der Angaben | 1999 (betrachteter Zeitraum 1990 – 2000)  |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen:  
produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme   | Prozessschritt   | Erreichter Wirkungsgrad   |
|--|------------------|---|
| Umwstieg auf wasserbasierte Lacke (ca. 1994)   | Lackauftrag      | Ca. 50 % Verminderung des Lösungsmittelgehalts für alle Lacke   |
| Reduzierung der Lackgewichte durch bessere Düsenstellungen der Innenspritzen (1993 – 1999) | Innenlackierung  | 10 bis 20 % Einsparung Innenlack  |
| Umwstieg von Grundlack (Basecoat) auf Überlack (Overvarnish) ab 1995                       | Aussenlackierung | Einsparung von ca. 30 % Lösungsmitteln (Lack) und von einem hinter die Basecoat-Einheit geschalteten Ofen |
| Umstellung auf Gravurwalzen für OV und BC (1996)   | Lackapplikation  | Einsparung von ca. 50 % Lösungsmitteln (Lack)   |

Tabelle 2b: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen:  
nachgeschaltete Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme<br>(s. Liste mit Beispielen) | Prozessschritt              | Erreichter Wirkungsgrad                                     |
|---------------------------------------|-----------------------------|---|
| TNV                                   | Trocknen                    | 99,9 %  |
| ADR auf Aktivkohle                    | Grundieren<br>Decklackieren | 54,4 % für Buthoxyethanol<br>16,7 % für Dibutylaminoethanol |

Tabelle 2c: Angaben zum Rohgas vor Abgasreinigung bzw. Ableitung nach Schornstein

| Prozessschritt                                 | Abgasvolumenstrom [Nm <sup>3</sup> /h]            |
|--|---|
| Grundieren                                     | s. ADR / TNV                                      |
| Decklackieren                                  | s. ADR / TNV                                      |
| Trocknen                                       | s. TNV  |
| TNV (Öfen, warme Ströme)                       | 30.000 m <sup>3</sup> /h                          |
| TNV (von ADR, aufkonzentrierter Strom)         | 5.000 m <sup>3</sup> /h                           |
| TNV (gereinigter Abluftstrom)                  | 35.000 m <sup>3</sup> /h                          |
| ADR (Maschinen, gereinigter Abluftstrom)       | 35.000 m <sup>3</sup> /h                          |
| Hallenabluft (Absaugung)                       | 138.000 m <sup>3</sup> /h                         |
| Hallenabluft (Colt-Lüfter, keine Ventilatoren) | ca. 12.000 m <sup>3</sup> /h abhängig von Thermik |

Tabelle 2d: Emissionswerte - gefasste Emissionen (Reingas nach Abgasreinigung) gemäß Emissionserklärung

| Parameter                     | Massenstrom in [kg/h]                   | Massenstrom in [kg/a] | Tätigkeiten bzw. Anlagenbereiche, in denen gefasste Emissionen auftreten |
|-------------------------------|---|-----------------------|--|
| Gesamt-C <sup>1)</sup>        | 1,75 kg / h<br>(50mg / m <sup>3</sup> ) | 14.525 kg / a         | ADR (8.300 h / a, 35.000 m <sup>3</sup> / h)                             |
|                               | <0,07 kg / h (<2 mg/m <sup>3</sup> )    | 581 kg / a            | TNV (8.300 h / a, 35.000 m <sup>3</sup> / h)                             |
| CO                            | 2,55 kg / h<br>(73mg/m <sup>3</sup> )   | 21.206 kg / a         | TNV  |
| CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup> |   | 8.290 kg/a            | TNV und Öfen   |
| NO <sub>x</sub>               | 2,8 kg/h<br>(80mg*m3)                   | 23.240 kg/a           | TNV  |

<sup>1)</sup> z.B. nach einer thermischen Nachverbrennung

Tabelle 2e: Emissionswerte - diffuse Emissionen und Ableitung über Schornstein ohne Abgasreinigung

| Parameter | geschätzte Emissionsmengen | Tätigkeiten bzw. Anlagenbereiche, in denen gefasste Emissionen auftreten |
|-----------|----------------------------|--|
| VOC       | 34.700                     | Gesamte Anlage   |
| Staub     | Keine Werte vorhanden      |  |

---

**Tabelle 3: Wasserseitige Emissionen**

|                        |   |
|------------------------|---|
| Herkunft der Daten     | Analyse Werte der Emschergenossenschaft |
| Bezugsjahr der Angaben | 1999                                    |

Tabelle 3a: *Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs*

| Maßnahme                             | Prozessschritt    | Erreichter Wirkungsgrad*                    |
|--------------------------------------|-------------------|---|
| Kaskadenführung (eingeführt 1994)    | beizen<br>waschen |   |
| Optimierung der Düsen                | beizen<br>waschen |   |
| Optimierung der Chemikaliendosierung | beizen<br>waschen | Insgesamt zwischen 1994 und 1999 ca. 60,3 % |

Tabelle 3b: *Angewandte Maßnahmen zur Abwasserbehandlung*

| Maßnahme  | Prozessschritt | Erreichter Wirkungsgrad* |
|---|----------------|--------------------------|
| Fällen und Flocken, Sedimentieren, Neutralisieren, Entwässern | Waschen        |                          |

Tabelle 3c: *Angaben zum Abwassermengenstrom*

| Produktionsabwasser                      | Wert [mg/l] |     |       |                        |      |
|--|-------------|-----|-------|------------------------|------|
| Differenziert nach:                      | CSB         | TOC | AOX   | Kohlenwasserstoffindex | LHKW |
| Rohabwasser                              |             |     | < 0,5 |                        |      |
| Behandeltes Abwasser                     | 350         |     | < 0,5 | 0,5-2,0                |      |
| Direktes Kühlwasser                      |             |     | < 0,5 |                        |      |
| Abwasser aus der Wasser-<br>aufbereitung |             |     | < 0,5 |                        |      |

**Tabelle 4: Abfälle**

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| Herkunft der Daten*    | Abfallbilanz |
| Bezugsjahr der Angaben | 1999         |

Tabelle 4b: Abfallmengen und Verwertungs- bzw. Beseitigungsverfahren

| Abfallbezeichnung                                   | Abfall-schlüssel-Nr. (EAK) | Abfall-menge 2)                 | Verwertungs- oder Beseitigungs-Verfahren | Abfallart                                |
|---|----------------------------|---------------------------------|--|--|
| Lösungsmittelgemisch                                | 140303                     | 8 t (0,11 g/m <sup>2</sup> )    | Thermische Verwertung                    | besonders überwachungsbedürftige Abfälle |
| Farb u. Lackschlamm                                 | 080107                     | 32 t (0,40 g/m <sup>2</sup> )   | CPB, Beseitigung                         | besonders überwachungsbedürftige Abfälle |
| Schlamm aus Tankreinigung                           | 160706                     | 11 t (0,15 g/m <sup>2</sup> )   | Thermische Beseitigung                   | besonders überwachungsbedürftige Abfälle |
| Emulsionsfilterpapier                               | 150299D1                   | 2,4 t (0,03 g/m <sup>2</sup> )  | Thermische Beseitigung                   | besonders überwachungsbedürftige Abfälle |
| Ölfilter  | 150299D1                   | 1,4 t (0,02 g/m <sup>2</sup> )  | Thermische Beseitigung                   | besonders überwachungsbedürftige Abfälle |
| Ölverschm. Betriebsmittel (Handschuhe, Lappen, etc) | 150299D1                   | 1,4 t (0,02 g/m <sup>2</sup> )  | Thermische Beseitigung                   | besonders überwachungsbedürftige Abfälle |
| Altöl   | 130202                     | 12,4 t (0,17 g/m <sup>2</sup> ) | Aufbereitung, Verwertung                 | besonders überwachungsbedürftige Abfälle |
| Kalkschlamm   | 190804                     | 316 t (4,0 g/m <sup>2</sup> )   | 90 % Verwertung                          | überwachungsbedürftige Abfälle           |
| Gemischte Siedlungsabfälle                          | 200301                     | 53 t                            | Verwertung                               | überwachungsbedürftige Abfälle           |
| Alu-Schrott (Rohstoff)                              |                            | 3,63 t<br>(3,879 t<br>2000)     | Verwertung                               |  |

<sup>2)</sup> absolute Abfallmenge (z.B. in t/a) und spezifische Abfallmenge

**Tabelle 5: Verbrauch an Einsatzstoffen und Energie**

| Prozessschritt:            | Einsatzstoffe              | Verbrauchs-menge | Anmerkungen                                |
|----------------------------|----------------------------|------------------|--|
| Grundlackierung            | Basecoat                   | 127 t            | 12,5 % (Gew.%) Lösemittel                  |
| Druck                      | Druckfarben                | 58 t             | 15 % (Gew.%) Lösemittel                    |
| Überlack                   | Overvarnish                | 257 t            | 16 % (Gew.%) Lösemittel                    |
| Bodenrolllack              | Bottom<br>Rimcoat          | 19 t             | 33,5 % (Gew.%) Lösemittel                  |
| Innenlackierung            | Innenlack                  | 1.050 t          | 15 % (Gew.%) Lösemittel                    |
| Gesamter<br>Lackierprozess | Reiniger,<br>Lösungsmittel | 26 t             |  |
| Gesamtprozess              | Wasser                     | 135 t            |  |
| Waschprozess               | Ridoline 124               | 172 t            | Schwefelsäure, Tenside                     |
| Waschprozess               | Alodine 404                | 55,4 t           | Salpetersäure,<br>Phosphorsäure; Flußsäure |
| Oberflächen-behandlung     | Ridoline 120               | 53 t             | Flußsäure                                  |
| Oberflächen-behandlung     | ME 50                      | 24 t             | Mobilitätsverbesserung                     |

| Prozessschritt:                   | Hilfsstoffe              | Verbrauchsmenge1) |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------|
| Abgasreinigung:<br>Absorptionsrad | Aktivkohle               | 2 t               |
| Abwasserreinigung                 | Kalk                     | 82,3 t            |
| Abwasserreinigung                 | Antischaum-mitttel       | 2,1 t             |
|                                   | Flockungsmittel          | 2,54 t            |
|                                   | Polyaluminiumchlorid     |                   |
|                                   | Flockungs-hilfsmittel    | 2,54 t            |
|                                   | Polyelektrolyt           |                   |
| Abwasserreinigung                 | Spaltmittel (Ferroline)  | 12,1 t            |
| Abwasserreinigung                 | Spaltmittel (Ferrolcryl) | 14,4 t            |
| Abwasserreinigung                 | Natronlauge              | 35,1              |
| Abwasserreinigung                 | Salzsäure                | 34,5 t            |
| Abwasserreinigung                 | Schwefelläure            | 5,78 t            |

1) absolute Menge [t/a]

| Prozess/Anlage: | Stoff/Energie | Verbrauchsmenge 1)    |
|-----------------|---------------|-----------------------|
| Energieeinsatz  | Erdgas        | 50.919 m <sup>3</sup> |
|                 | Strom         | 22.23 kWh             |

1) absolute Menge pro Jahr

---

**Tabelle 6: Angaben über Kosten**

| Techniken und Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minderung von Umweltbelastungen   | Kosten  |
|---|---|
| <b>Investitionen:</b><br>TNV, ADR, Wärmetauscher<br>Ölnebelabscheider<br>Erneuerung Innenlacktankanlage, Gaspendelleitung<br>Löschwasserrückhalte-system<br>Erneuerung Getriebeöl-/ Emulsionstankanlage | 1.148.810 EUR(1993-1996)<br>102.890 EUR (1998-2000)<br>35.805 EUR (2001)<br>12.787 EUR (2000)<br>51.150 EUR (2000)  |
| Betriebskosten:<br>(<br>(TNV, ADR, Filter, Absaugungen)<br>Gewässerschutz<br>(ABA, Abwasserkosten)<br>Lärmschutz  | 1996: 900255 EUR<br>1997: 685933 EUR<br>1998: 722.762 EUR<br>1999: 728388 EUR<br>1996: 1.047.570 EUR<br>1997: 929.411 EUR<br>1998: 1.043.989 EUR<br>1999: 951.406 EUR<br>1996: 60.869 EUR<br>1997: 97.186 EUR<br>1998: 226.086 EUR<br>1999: 179.539 EUR |

---

## **Anhang VI.I:**

***Daten zur Lackierung von Metallwerkstücken***

Im Folgenden sind Angaben über Kosten, Verbrauchs- und Emissionswerte, sowie über die verwendeten Lackmaterialien, die bei der **Lackierung von Stahlmöbeln, Regalsystemen, Haushaltsgeräten, Hochspannungsschalschränken und Scheibenwischern** zum Einsatz kommen, skizziert. Dazu werden die Ergebnisse aus [HARSCH 1996] verwendet. Im Rahmen der Studie von Harsch wurden Lackierkonzepte mit der Methode der ganzheitlichen Bilanzierung untersucht. Dafür kam die Bilanzierungssoftware GaBi sowie die Datenbank LACKY zum Einsatz. Die Basisdaten, Datenquellen und Annahmen der durchgeführten Berechnungen sind daher [HARSCH 1996] zu entnehmen.

### **Lackierung von Stahlmöbeln**

Tabelle VI.I-1: *Verbrauchs- und Emissionswerte, Investitionen und Lackpreise für drei Lackierkonzepte für Stahlmöbel* [HARSCH 1996].

| Parameter                   | Einheit           | Konventioneller Lack <sup>1)</sup> | Wasser-verdünbarer Lack <sup>2)</sup>             | Pulverlack <sup>3)</sup> |
|-----------------------------|-------------------|------------------------------------|---|--------------------------|
| Festkörpergehalt            | Gew.-%            | 62                                 | 20  | 100                      |
| Lösungsmittelgehalt         | Gew.-%            | 38                                 | 1   | 0                        |
| Wassergehalt                | Gew.-%            | 0                                  | 79  | 0                        |
| Schichtdicke                | µm                | 40                                 | 25  | 50                       |
| Materialnutzungsgrad        | %                 | 60                                 | 98  | 90                       |
| Lackverbrauch               | kg/a              | 213 000                            | 176 000 <sup>4)</sup><br>7 700 <sup>5)</sup>      | 55 000                   |
| Energiebedarf               | MJ/m <sup>2</sup> |                                    |   |                          |
| Strom                       |                   | 2,7                                | 2,4 <sup>4)</sup><br>6,3 <sup>5)</sup>            | 3,7                      |
| Heißwasser                  |                   | 2,60                               | 1,37  | 1,37                     |
| Erdgas                      |                   | 13,8                               | 6,1   | 6,5                      |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen | kg/m <sup>2</sup> | 1,27                               | 0,86 <sup>4)</sup><br>1,51 <sup>5)</sup>          | 1,0                      |
| VOC-Emissionen              | g/m <sup>2</sup>  | 72,9                               | 1,86  | 0,3                      |
| Investitionen               | •                 | 2,6 Mio.                           | 1,43 Mio. <sup>4)</sup><br>0,81 Mio <sup>5)</sup> | 1,68 Mio.                |
| Lackpreis                   | •/kg              | 3,19                               | 1   | 6,39                     |

<sup>1)</sup> Lösungsmittelhaltiger Lack, Auftrag im elektrostatischen Sprühverfahren

<sup>2)</sup> Kathodische Tauchlackierung

<sup>3)</sup> Automatische Pulveranlage (Handpulverkabine für Nacharbeiten und Reparaturen)

<sup>4)</sup> KTL-Durchlaufanlage

<sup>5)</sup> KTL-Taktanlage

## Lackierung von Regalsysteme

Tabelle VI.I - 2: Technische, umweltbezogene und wirtschaftliche Parameter für drei Lacksysteme zur Lackierung von Regalsystemen [HARSCH 1996].

| Parameter                                     | Einheit           | Lösemittelhalt.<br>Lack | Wasserverd.<br>Lack   | Pulverlack           |
|---|-------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| Lackaufbau                                    | -                 | 1-Schichtsystem         | 1-Schichtsystem       | 1-Schichtsystem      |
| Vorbehandlung                                 | -                 | Fe-<br>Phosphatierung   | Fe-<br>Phosphatierung | Fe-Phosphatierung    |
| Festkörpergehalt                              | Gew.-%            | 57                      | 52                    | 100                  |
| Lösemittelgehalt                              | Gew.-%            | 43                      | 5                     | 0                    |
| Wassergehalt                                  | Gew.-%            | 0                       | 43                    | 0                    |
| Applikationsverfahren                         | -                 | ESTA                    | ESTA                  | ESTA                 |
| Schichtdicke                                  | µm                | ca. 30                  | Ca. 30                | 70 – 90              |
| Lackverbrauch                                 | g/m <sup>2</sup>  | ca. 100                 | Ca. 110               | 110 – 140            |
| Trocknungsbedingungen                         | -                 | 15 min<br>bei 150 °C    | 15 min<br>bei 150 °C  | 15 min<br>bei 180 °C |
| Energieverbrauch                              |                   |                         |                       |                      |
| Primärenergie (Applikation)                   | MJ/m <sup>2</sup> | 10,5                    | 10,5                  | 14,5                 |
| Thermische Energie                            | MJ/m <sup>2</sup> | 4,0                     | 4,0                   | 4,5                  |
| Elektrische Energie                           | MJ/m <sup>2</sup> | 1,8                     | 1,8                   | 2,8                  |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen (Lackapplikation) | kg/m <sup>2</sup> | 540                     | 540                   | 735                  |
| VOC-Emissionen (Lackapplikation)              | g/m <sup>2</sup>  | 43                      | 5,1                   | 0,2                  |
| Kosten  |                   |                         |                       |                      |
| Applikation/Kabine, Trocknung                 | •/ m <sup>2</sup> | ca. 0,1                 | Ca. 0,1               | ca. 0,15             |
| Entsorgung, Reinigung der Kabine              | •/ m <sup>2</sup> | ca. 0,026               | Ca. 0,026             | Vernachlässigbar     |

Tabelle VI.I - 3: Technische, umweltbezogene und wirtschaftliche Parameter für drei Lackierkonzepte zur Lackierung von Regalsystemen [HARSCH 1996]

| Parameter                                     | Einheit           | Lösemittelhalt.<br>Lack | Pulverlack<br>(weiß) | Pulverlack<br>(Sonderfarben) |
|---|-------------------|-------------------------|----------------------|------------------------------|
| Lackaufbau                                    | -                 | 1-Schichtsystem         | 1-Schichtsystem      | 1-Schichtsystem              |
| Vorbehandlung                                 | -                 | Alkalische Entfettung   | Keine                | Fe-<br>Phosphatierung        |
| Applikationsverfahren                         | -                 | Tauchen (ETL)           | Spritzen             | Spritzen                     |
| Auftragswirkungsgrad                          | %                 | 99                      | 95*                  | 95*                          |
| Schichtdicke                                  | µm                | 25 – 35                 | 50 – 70              | 100                          |
| Lackverbrauch                                 | g/m <sup>2</sup>  | 75                      | 80                   | 111                          |
| Energieverbrauch                              |                   |                         |                      |                              |
| Primärenergie (Applikation)                   | MJ/m <sup>2</sup> | 7,8                     | 8,1                  | 9,3                          |
| Thermische Energie                            | MJ/m <sup>2</sup> | 3,8                     | 0                    | 5,1                          |
| Elektrische Energie                           | MJ/m <sup>2</sup> | 1,0                     | 2,3                  | 1,0                          |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen (Lackapplikation) | g/m <sup>2</sup>  | 480                     | 400                  | 590                          |

| Parameter                                     | Einheit           | Lösemittelhalt.<br>Lack | Pulverlack<br>(weiß) | Pulverlack<br>(Sonderfarben) |
|---|-------------------|-------------------------|----------------------|------------------------------|
| VOC-Emissionen (Lackapplikation)              | g/m <sup>2</sup>  | 0,7                     | 0,05                 | 1,0                          |
| SO <sub>2</sub> -Emissionen (Lackapplikation) | g/m <sup>2</sup>  | 0,5                     | 0,4                  | 0,7                          |
| NO <sub>x</sub> -Emissionen (Lackapplikation) | g/m <sup>2</sup>  | 1,3                     | 0,6                  | 1,6                          |
| Staub-Emissionen (Lackapplikation)            | g/m <sup>2</sup>  | 0,1                     | 0,2                  | 0,15                         |
| Abwassermengen                                | l/m <sup>2</sup>  | 5,6                     | 0                    | 0,1                          |
| Emissionen in Wasser**                        | Mg/m <sup>2</sup> | 375                     | -                    | 65                           |
| Abfälle***                                    | g/m <sup>2</sup>  | 0,02                    | < 0,005              | 0,01                         |

\* durch Overspray-Rückführung und Wiederverwendung des Pulvers

\*\* Feststoffe gesamt

\*\*\* Altöl, Lackreste und Hydroxidschlamm

Tabelle VI.I - 4: Ergebnisse eines qualitativen Technologievergleichs zwischen zwei Lackierkonzepte für Regalteile [HARSCH 1996]

| Parameter             | Lösemittelhalt. Lack<br>Tauchverfahren | Pulverlack<br>Spritzverfahren |
|-----------------------|--|-------------------------------|
| Qualität              | 1                                      | 2                             |
| Produktionskapazität  | 1                                      | 1,5                           |
| Technologiestand      | 3                                      | 2                             |
| Optimierungspotential | 2                                      | 1                             |
| Automatisierung       | 3                                      | 1                             |

Die Eigenschaftsprägungen reichen von 1 (sehr gut bzw. sehr hoch) bis 5 (sehr schlecht bzw. sehr niedrig)

### Lackierung von Haushaltsgeräten

Tabelle VI.I - 5: Technische, umweltbezogene und wirtschaftliche Parameter für zwei Lacksysteme zur Beschichtung von Haushaltsgeräten [HARSCH 1996].

| Parameter                                     | Einheit           | Konventioneller Lack | Pulverlack        |
|---|-------------------|----------------------|-------------------|
| Lackaufbau                                    | -                 | KTL + 2K-Decklack    | KTL + Pulverlack  |
| Vorbehandlung                                 | -                 | Zn-Phosphatierung    | Zn-Phosphatierung |
| Festkörpergehalt                              | Gew.-%            | 71                   | 100               |
| Lösemittelgehalt                              | Gew.-%            | 29                   | 0                 |
| Applikationsverfahren                         | -                 | ESTA                 | ESTA              |
| Schichtdicke                                  | µm                | ca. 20               | Ca. 70            |
| Auftragswirkungsgrad                          | %                 | ca. 85               | Ca. 95            |
| Lackverbrauch                                 | g/m <sup>2</sup>  | ca. 60               | Ca. 125           |
| Trocknungsbedingungen                         | -                 | 6 min bei 190 °C     | 15 min bei 200 °C |
| Energieverbrauch                              |                   |                      |                   |
| Thermische Energie                            | MJ/m <sup>2</sup> | 3,6                  | 4,05              |
| Elektrische Energie                           | MJ/m <sup>2</sup> | 1,35                 | 1,71              |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen (Lackapplikation) | g/m <sup>2</sup>  | 437                  | 525               |
| VOC-Emissionen (Lackapplikation)              | g/m <sup>2</sup>  | 17                   | 0,2               |

|                                  |                   |       |                  |  |
|----------------------------------|-------------------|-------|------------------|--|
| Kosten                           |                   |       |                  |  |
| Applikation/Kabine, Trocknung    | •/ m <sup>2</sup> | 0,09  | 0,12             |  |
| Entsorgung, Reinigung der Kabine | •/ m <sup>2</sup> | 0,015 | Vernachlässigbar |  |

### Lackierung von Hochspannungsschalschränken

Tabelle VI.I -6: Technische, umweltbezogene und wirtschaftliche Parameter für drei Lacksysteme für die Lackierung von Hochspannungsschalschränken [HARSCH 1996].

| Parameter                                     | Einheit           | Lösemittelhalt.<br>Lack | Wasserverd.<br>Lack   | Pulverlack           |
|---|-------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| Lackaufbau                                    | -                 | KTL +<br>2K-Decklack    | KTL +<br>2K-Decklack  | KTL +<br>Pulverlack  |
| Vorbehandlung                                 | -                 | Zn-<br>Phosphatierung   | Zn-<br>Phosphatierung | Zn-Phosphatierung    |
| Festkörpergehalt                              | Gew.-%            | 62                      | 56                    | 100                  |
| Lösemittelgehalt                              | Gew.-%            | 38                      | 4                     | 0                    |
| Wassergehalt                                  | Gew.-%            | 0                       | 40                    | 0                    |
| Applikationsverfahren                         | -                 | ESTA                    | ESTA                  | ESTA                 |
| Schichtdicke                                  | µm                | ca. 40                  | ca. 40                | Ca. 80               |
| Lackverbrauch                                 | g/m <sup>2</sup>  | ca. 160                 | ca. 190               | Ca. 130              |
| Trocknungsbedingungen                         | -                 | 20 min<br>bei 130 °C    | 20 min<br>bei 130 °C  | 15 min<br>bei 180 °C |
| Energieverbrauch                              |                   |                         |                       |                      |
| Primärenergie (Applikation)                   | MJ/m <sup>2</sup> | ca. 57                  | ca. 57                | Ca. 38               |
| Thermische Energie                            | MJ/m <sup>2</sup> | ca. 29                  | ca. 29                | Ca. 18               |
| Elektrische Energie                           | MJ/m <sup>2</sup> | ca. 8                   | Ca. 8                 | Ca. 5,5              |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen (Lackapplikation) | kg/m <sup>2</sup> | ca. 3,0                 | ca. 3,0               | Ca. 2,0              |
| VOC-Emissionen<br>(Lackapplikation)           | g/m <sup>2</sup>  | 60                      | 7,0                   | 0,7                  |
| Kosten  |                   |                         |                       |                      |
| Applikation/Kabine, Trocknung                 | •/ m <sup>2</sup> | 0,5                     | 0,5                   | 0,3                  |
| Entsorgung, Reinigung der<br>Kabine           | •/ m <sup>2</sup> | 0,15                    | 0,15                  | Vernachlässigbar     |

## Lackierung von Scheibenwischern

Tabelle VI.I - 7: Verbrauchs- und Emissionswerte, Investitionen und Lackpreise für drei Lackierkonzepte für Scheibenwischer

| Parameter                   | Einheit | Wasser-verdünnbarer Lack 1 <sup>1)</sup> | Wasser-verdünnbarer Lack 2 <sup>2)</sup> | Pulverlack <sup>3)</sup> |
|-----------------------------|---------|--|--|--------------------------|
| Auftragswirkungsgrad        | %       | 70                                       | 50                                       | 50                       |
| Materialnutzungsgrad        | %       | 70                                       | 90                                       | 90                       |
| Energiebedarf <sup>3)</sup> | KW/h    |  |  |                          |
| Strom                       |         | 100                                      | 120                                      | 110                      |
| Heißwasser                  |         | 380                                      | 380                                      | 100                      |
| Erdgas                      |         | 325                                      | 325                                      | 390                      |
| VOC-Emissionen              | g/Wb    | 0,65                                     | 0,5                                      | 0,05                     |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen | g/Wb    | 35                                       | 38                                       | 28                       |
| Lackabfälle                 |         |  |  |                          |
| Lackschlamm                 | g/Wb    | 1,1                                      | 0  | 0                        |
| Lackabfall                  | g/Wb    | 0  | 0,3                                      | 0                        |
| Pulverrest                  | g/Wb    | 0  | 0  | 0,3 – 0,4                |
| Lackpreis                   | •/kg    | 3,68 – 5,21                              | 3,68 – 5,21                              | 6,13 – 7,67              |

<sup>1)</sup> Auftrag im vollautomatischen elektrostatischen Sprühverfahren mittels Hochrotationsglocken, umlaufende Nassauswaschung; Wb: Wischerblatt

<sup>2)</sup> Auftrag im vollautomatischen elektrostatischen HVLP-Sprühverfahren, Ultrafiltrationsanlage zur Rückgewinnung von Lackoverspray

<sup>3)</sup> für Spritzkabine, Abdunstzone, Trockner, Kühlzone

Tabelle VI.I - 8: Ergebnisse einer technischen Bewertung von zwei Lacksystemen [HARSCH 1999]

| Parameter                | Wasserverdünnbarer Lack | Pulverlack |
|--------------------------|-------------------------|------------|
| Technologiestand         | 5                       | 3          |
| Optimierungsgrad         | 4,5                     | 3          |
| Automatisierung          | 4,5                     | 4,5        |
| Nacharbeit               | 4                       | 4          |
| Schichtdickenreduzierung | 4,5                     | 3          |
| Montagegenauigkeit       | 5                       | 2          |

Die Eigenschaftsprägungen reichen von 1 (sehr schlecht bzw. sehr niedrig) bis 5 (sehr gut bzw. sehr hoch)

---

## **Anhang VII:**

### **Fragebögen zur Datenabfrage**

## VII.1. Audi AG Werk Ingolstadt

**Tabelle 1: Allgemeine Informationen zur Anlage**

|  |  |
|--|--|
| Name und Ort der Anlage  | Lackieranlage der Fa. AUDI AG, Werk Ingolstadt   |
| Ansprechpartner für Rückfragen:<br>Anschrift:<br>Telefon:<br>Fax:<br>E-mail:             | H: Kerschenlohr , Abt.: I/PI/U<br>85045 Ingolstadt<br>Tel.: 0841 / 89 31 001<br>0841 / 89 31 682<br><a href="mailto:Josef.Kerschenlohr@audi.de">Josef.Kerschenlohr@audi.de</a> |
| Jährliche Kapazität im Bezugsjahr  | 100 Karossen / h bzw. 405.000 Karossen / a<br>(Kapazität laut Genehmigungsbescheid von 1997)<br>für 1999: 441 000 Karossen lackiert und gemeldet                               |
| Jährlicher Lösemittelverbrauch [t/a] im Bezugsjahr                                       | 1 727 Tonnen im Jahre 1999   |
| Jahresbetriebsstunden im Bezugsjahr [h/a]  | Ca. 6 200  |
| Jahr der Inbetriebnahme  | 1998 Probefahrt, vollständiger Serienbetrieb ab 1.1.1999   |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher Änderungen, die für die nachfolgenden Daten relevant sind | ---  |
| Anzeigen nach § 15 BImSchG   | 1999: 441 000 Karossen lackiert  |

### Kurzbeschreibung des Produktionsverfahrens

Die Anlage zur Decklackierung wurde 1996-1998 neu errichtet (Gebäude N56). Die Anlagenteile Vorbehandlung, kataphoretische Tauchlackierung (KTL) und Unterbodenschutz I im Gebäude N51 zählen noch zum bereits vorher existierenden Anlagenbestand, die Anlage Unterbodenschutz II wurde lediglich umgesetzt und befindet sich jetzt auch im Gebäude N51.

Neben der eigentlichen Lackieranlage, die aus fertigungstechnischen Gründen in 4 autarke Decklack-Segmente eingeteilt ist, wird eine - ebenfalls 1996-98 errichtete - Anbauteile-Lackierung betrieben.

---

Nach Vorbehandlung, KTL und KTL-Trocknung erfolgen die Nahtabdichtung und der Unterbodenschutz-Auftrag. Nach Zwischenpufferung im Segment - bzw. Farbsortierspeicher - erfolgen KTL-Schleifen, dann Auftrag, Abdunsten und Trocknung des wasserverdünnbaren Füllers.

Bei Bedarf wird geschliffen, dann der farbgebende wasserverdünnbare Basislack aufgetragen. Nach Zwischenabduisten wird ein 2K-Klarlack auf Losemittelbasis aufgetragen und getrocknet. Zwischen den einzelnen Karossen werden die Auftragsgeräte mit einem entsprechenden Spulmittel gereinigt.

Nach der Kontrolle können die Karossen in die Fertigstellungs-Linie oder in die spot-repair-Kabine ausgeschleust, nachbearbeitet und wieder eingeschleust werden.

Nach der Montage von Anbauteilen erfolgt zukünftig eine Beschichtung mit wässriger Sprühfolie zum weiteren Montage- und Transportschutz. Anschließend werden die Schweller gespritzt und der Lack getrocknet. Vor der nachfolgenden Montage erfolgt noch eine Hohlraumkonservierung durch Wachsfluten.

Als Emissionsbegrenzungen wurden mit Genehmigungsbescheid der Stadt Ingolstadt vom 9.6.97, Az. VII/68.1, folgende Werte festgelegt:

- Summe der Losemittelemissionen (ohne Nachlackierung fertiger Fahrzeuge und Endkonservierung für den Transport):  $35 \text{ g/m}^2$  Rohbaukarosse
- Losemittelkonzentrationen der Anbauteilelackierung (Summe organischer Stoffe):  $150 \text{ mg/m}^3$
- Lackpartikelemissionen im Abgas von Spritzkabinen der Karossen- und Anbauteilelackierung:  $3 \text{ mg/m}^3$
- Emissionen von Trocknern der Karossen- und Anbauteilelackierung (organische Stoffe, angegeben als Gesamt-C):  $50 \text{ mg/m}^3$

Stoffe der Klasse I der Nr. 3.1.7 TA Luft dürfen in den eingesetzten Lacken nicht enthalten sein.

Tabelle 2: *Emissionen in die Luft: 1. KTL und KTL-Trockner*

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Emissionsquelle<br>(anlagenteil / Prozess) | 1. KTL und KTL-Trockner |
| Herkunft der Daten                         | Messung                 |
| Bezugsjahr der Angaben                     | 1999                    |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen*

| Maßnahme  | Prozessschritt  | Erreichter Wirkungsgrad**                           |
|---|---|---|
| Produktintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung | Einsatz eines kataphoretischen Tauchlacks auf Wasserbasis, Lösemittelgehalt ca. 6 % | -   |
| Maßnahmen zur Minderung diffuser Emissionen         | Vollständige Einhausung / Luftführung   | 100 %   |
| Nachgeschaltete Abgasreinigungsverfahren            | TNV für KTL-Trockner*   | ca. 95 % durch TNV nach Trockner (Messung von 1987) |

\* 2 Linien mit je 2 TNV

#### Angaben zum Abgas

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Abgasvolumenstrom                  | KTL und UBS sind in Sammelkabinen zusammengefasst<br>Trockner: 12 977 Nm <sup>3</sup> /h (mit TNV) |
| O <sub>2</sub> -Gehalt des Abgases | 21 % (Anlagenabluft KTL)<br>18 % (TNV KTL-Trockner)  |

Tabelle 2b: *Emissionswerte KTL-Trockner*

| Parameter           | Gemessene Konzentration | Einheit | Bezugszeit | Massenstrom | Anmerkungen    |
|---------------------|-------------------------|---------|------------|-------------|----------------|
| Abgas KTL-Trockner: |                         |         |            |             |                |
| Cges                | 4                       | mg/m3   | 1/2 h      | 0,06 kg/h   |                |
| CO                  |                         |         |            |             | nicht bestimmt |
| NOx                 |                         |         |            |             | nicht bestimmt |

Tabelle 2c: *Diffuse Emissionen*

|                    |  |
|--------------------|--|
| Diffuse Emissionen | Geschätzte oder berechnete Emissionsmengen |
| organische Stoffe  | keine Angaben                              |

Tabelle 2: *Emissionen in die Luft: 2. UBS und UBS-Trockner*

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Emissionsquelle<br>(Anlagenteil/Prozess) | 2. UBS und UBS-Trockner |
| Herkunft der Daten                       | Messung 1999            |
| Bezugsjahr der Angaben                   | 1999                    |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen*

|   |   |
|---|---|
| Produktionsintegrierte Maßnahmen<br>zur Emissionsminderung<br>(Erreichte Emissions-<br>minderungsgrade) | UBS mit geringen Gehalten organischer Losemittel (3%)   |
| Maßnahmen zur Minderung<br>diffuser Emissionen<br>(Erreichte Emissions-<br>minderungsgrade)             | Einhäusung und Luftführung (100%)   |
| Nachgeschaltete<br>Abgasreinigungsverfahren<br>Erreichte Emissions-<br>minderungsgrade                  | Partikelfilter TNV für UBS-Trockner*<br><br>ca. 97% durch TNV nach Trockner (Messung von '93) |

\*2Linien mit 2TNV's

## Angaben zum Abgas

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Abgasvolumenstrom                  | KTL und UBS sind in Sammelkaminen zusammengefasst<br>Trockner: UBS1 6 433 Nm <sup>3</sup> /h (TNV)<br>UBS2 10 742 Nm <sup>3</sup> /h (TNV) |
| O <sub>2</sub> -Gehalt des Abgases | 21 % (Anlagenabluft UBS)<br>18,5% (UBS-Trockner 1)<br>19,1 % (UBS-Trockner 2)  |

Tabelle 2b: *Emissionswerte UBS-Trockner*

| Parameter             | Gemessene Konzentration | Einheit           | Bezugszeit | Massenstrom | Anmerkungen    |
|-----------------------|-------------------------|-------------------|------------|-------------|----------------|
| Abgas UBS-Trockner:   |                         |                   |            |             |                |
| C <sub>ges</sub>      | 24                      | mg/m <sup>3</sup> | 1/2 h      | 0,15 kg/h   |                |
| CO                    |                         |                   |            |             | nicht bestimmt |
| NO <sub>x</sub>       |                         |                   |            |             | nicht bestimmt |
| Abgas UBS-Trockner 2: |                         |                   |            |             |                |
| C <sub>ges</sub>      | 29                      | mg/m <sup>3</sup> | 1/2 h      | 0,31 kg/h   |                |
| CO                    |                         |                   |            |             | nicht bestimmt |
| NO <sub>x</sub>       |                         |                   |            |             | nicht bestimmt |

Tabelle 2b: *Emissionswerte Sammelkamine KTL und UBS*

| Parameter   | gemessene Konzentration [gesC] | Einheit           | Bezugszeit | Massenstrom Lösungsmittel | Anmerkungen |
|---|--------------------------------|-------------------|------------|---------------------------|-------------|
| Kamin 2N Volumenstrom: 103 762 Nm <sup>3</sup> /h |                                |                   |            |                           |             |
| Organische Stoffe                                 | 12                             | mg/m <sup>3</sup> | 1,5h       | 2,87 kg/h                 |             |
| Staub   | 0,2                            |                   |            | 0,03 kg/h                 |             |
| Kamin 2N Volumenstrom: 106 294 Nm <sup>3</sup> /h |                                |                   |            |                           |             |
| Organische Stoffe                                 | 5                              | mg/m <sup>3</sup> | 1,5h       | 1,22 kg/h                 |             |
| Staub   | 0,5                            |                   |            | 0,05 kg/h                 |             |

---

|   |     |                   |       |           |  |
|---|-----|-------------------|-------|-----------|--|
| Kamin 3N      Volumenstrom: 95 193 Nm <sup>3</sup> /h |     |                   |       |           |  |
| Organische Stoffe                                     | 3   | mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h | 0,66 kg/h |  |
| Staub   | 0,8 |                   |       | 0,06 kg/h |  |

Die Umrechnung von ges.C auf organische Lösungsmittel erfolgt mit folgenden Faktoren: Responsefaktor FID: 0,75  
ges.C - Lösungsmittel: 1,7

Tabelle 2c: *Diffuse Emissionen*

| Diffuse Emissionen | geschätzte oder berechnete Emissionsmengen |
|--------------------|--|
| Organische Stoffe  | Keine                                      |

**Sonstige Ergänzungen:** Gesamtemission UBS + KTL 0,9 g LM / m<sup>2</sup> RBK

Tabelle 2: *Emissionen in die Luft: 3. Fuller und Füller-Trockner*

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| Emissionsquelle<br>(Anlagenteil / Prozess | 3. Füller und Füller-Trockner |
| Herkunft der Daten                        | Messbericht 1999              |
| Bezugsjahr der Angaben                    | 1999                          |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen*

|   |   |
|---|---|
| Produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung<br>(Erreichte Emissionsminderungsgrade) | Wasserverdünnbarer Füller mit geringen Gehalten organischer Losmittel (ca. 6%)                                |
| Maßnahmen zur Minderung diffuser Emissionen<br>(Erreichte Emissionsminderungsgrade)             | Einhäusung und Luftführung (100%)   |
| Nachgeschaltete Abgasreinigungsverfahren<br>Erreichte Emissionsminderungsgrade                  | Partikel-Abscheidung (Wascher) für Spritzbereiche<br>TNV für Füller-Trockner*<br>72 % durch TNV nach Trockner |

\* 4 Linien mit 4 TNV's

## Angaben zum Abgas

---

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Abgasvolumenstrom                  | <p>Spritzbereich: Füller und Klarlack sind in Sammelkabinen zusammengefasst</p> <p>Trockner:</p> <p>Füller 1: 4 406 Nm<sup>3</sup> / h (TNV)</p> <p>Füller 2: 4 522 Nm<sup>3</sup>/h (TNV)</p> <p>Füller 3: 5 295 Nm<sup>3</sup>/h (TNV)</p> <p>Füller 4: 5 111 Nm<sup>3</sup>/h (TNV)</p> <p>Kühlzone: Summe Linie 1-4 ca. 224 000 m<sup>3</sup>/h</p> |
| O <sub>2</sub> -Gehalt des Abgases | 21 % (Anlagenabluft Fuller) 19,3 -19,8 %<br>(Füller-Trockner)   |

Tabelle 2b: Emissionswerte Füller-Trockner

| Parameter              | Gemessene Konzentration | Einheit           | Bezugszeit | Massenstrom | Anmerkungen    |
|------------------------|-------------------------|-------------------|------------|-------------|----------------|
| TNV Füller-Trockner 1: |                         |                   |            |             |                |
| Cges                   | 34                      | Mg/m <sup>3</sup> | 1,5h       | 0,15kg/h    |                |
| CO                     | 475                     | ppm               | 1,5 h      | —           |                |
| NO <sub>x</sub>        |                         |                   |            |             | nicht gemessen |
| TNV Füller-Trockner 2: |                         |                   |            |             |                |
| Cges                   | 50                      | mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h      | 0,23 kg/h   |                |
| CO                     | 600                     | ppm               | 1,5 h      | —           |                |
| NO <sub>x</sub>        |                         |                   |            |             | nicht gemessen |
| TNV Füller-Trockner 3: |                         |                   |            |             |                |
| Cges                   | 39                      | mg/m <sup>3</sup> | 1,5h       | 0,21 kg/h   |                |
| CO                     | 450                     | ppm               | 1,5 h      | —           |                |
| NO <sub>x</sub>        |                         |                   |            |             | nicht gemessen |
| TNV Füller-Trockner 4: |                         |                   |            |             |                |
| Cges                   | 35                      | mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h      | 0,18 kg/h   |                |
| CO                     | 320                     | ppm               | 1,5 h      |             |                |
| NO <sub>x</sub>        |                         |                   |            |             | nicht gemessen |

Tabelle 2c: Diffuse Emissionen

| Diffuse Emissionen | geschätzte oder berechnete Emissionsmengen |
|--------------------|--|
| Organische Stoffe  | keine                                      |

Tabelle 2: *Emissionen in die Luft: 4. Basislack*

|  |              |
|--|--------------|
| Emissionsquelle<br>(Anlagenteil / Prozess) | 4. Basislack |
| Herkunft der Daten                         | Messung 1999 |
| Bezugsjahr der Angaben                     | 1999         |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen*

|   |   |
|---|---|
| Produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung<br>(Erreichte Emissionsminderungsgrade) | Wasserverdünnbarer Basislack mit Gehalten an organischen Lösemitteln von ca. 12% (uni) bis ca. 18% (metallic) |
| Maßnahmen zur Minderung diffuser Emissionen<br>(Erreichte Emissionsminderungsgrade)             | Einhäusung und Luftführung (100%)   |
| Nachgeschaltete Abgasreinigungsverfahren  | Partikel-Abscheidung (Wäscher) für Spritzbereiche   |

Angaben zum Abgas

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Abgasvolumenstrom                  | Spritzbereich: Summe Linie 1-4 1 566 551 Nm <sup>3</sup> /h |
| O <sub>2</sub> -Gehalt des Abgases | 21% (Anlagenabluft Basislack)                               |

Tabelle 2b: Emissionswerte Basislack-Spritzkabinen

| Parameter   | gemessene Konzentration gesC | Einheit           | Bezugszeit | Massenstrom Lösungsmittel | Anmerkungen |
|---|------------------------------|-------------------|------------|---------------------------|-------------|
| Basislack 1 Volumenstrom: 411. 515 Nm <sup>3</sup> /h |                              |                   |            |                           |             |
| Organische Stoffe<br>Staub                            | 9<br>0,7                     | Mg/m <sup>3</sup> | 1,5h       | 8,38 kg/h<br>0,27 kg/h    |             |
| Basislack 2 Volumenstrom: 389.993 Nm <sup>3</sup> /h  |                              |                   |            |                           |             |
| Organische Stoffe<br>Staub                            | 4<br>1,1                     | Mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h      | 3,82 kg/h<br>0,42 kg/h    |             |
| Basislack 3 Volumenstrom: 384.000 Nm <sup>3</sup> /h  |                              |                   |            |                           |             |
| Organische Stoffe<br>Staub                            | 10<br>0,8                    | Mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h      | 8,38 kg/h<br>0,32 kg/     |             |
| Basislack 4 Volumenstrom: 381.043 Nm <sup>3</sup> /h  |                              |                   |            |                           |             |
| Organische Stoffe<br>Staub                            | 6<br>0,6                     | Mg/m <sup>3</sup> | 1,5h       | 5,18 kg/h<br>0,24 kg/h    |             |

Die Umrechnung von ges.C auf organische Lösungsmittel erfolgt mit folgenden Faktoren: Responsefaktor FID: 0,75  
ges.C - Lösungsmittel: 1,7

Tabelle 2c: Diffuse Emissionen

| Diffuse Emissionen | Geschätzte oder berechnete Emissionsmengen |
|--------------------|--|
| organische Stoffe  | Keine                                      |

sonstige Ergänzungen: Mittlere Gesamtemission Basislack in der Summe: 3,7 g/m<sup>2</sup>  
Rohbaukarosse

Tabelle 2: *Emissionen in die Luft: 5. Klarlack-Kabinen und Decklack-Trockner*

|  |   |
|--|---|
| Emissionsquelle<br>(Anlagenteil/Prozess) | 5. Klarlack-Kabinen und Decklack-Trockner |
| Herkunft der Daten                       | Messung 1999                              |
| Bezugsjahr der Angaben                   | 1999                                      |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen*

|   |   |
|---|---|
| Produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung<br>(Erreichte Emissionsminderungsgrade) | 2K-Klarlack mit Gehalten an organischen Lösemitteln von (ca.45 %)                                 |
| Maßnahmen zur Minderung diffuser Emissionen<br>(Erreichte Emissionsminderungsgrade)             | Einhäusung und Luftführung (100%)   |
| Nachgeschaltete Abgasreinigungsverfahren<br>Erreichte Emissionsminderungsgrade                  | Partikel-Abscheidung (Wascher) für Spritzkabine TNV für Trockner*<br>98 % durch TNV nach Trockner |

\* 4 Linien mit 4 TNV's

#### Angaben zum Abgas

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Abgasvolumenstrom                  | Spritzbereich: Füller und Klarlack sind in Sammelkaminen zusammengefasst<br><br>Trockner:<br><br>Decklack 1: 4 332 Nm <sup>3</sup> /h (TNV)<br>Decklack 2: 5 120 Nm <sup>3</sup> /h (TNV)<br>Decklack 3: 8 278 Nm <sup>3</sup> /h (TNV)<br>Decklack 4: 5 538 Nm <sup>3</sup> /h (TNV) Kühlzone: Summe Linie 1-4 ca. 256 000 m/h |
| O <sub>2</sub> -Gehalt des Abgases | 21 % (Anlagenabluft Klarlack) 18,9 -19,7 % (Decklack-Trockner)  |

Tabelle 2b: *Emissionswerte Decklack-Trockner*

| <b>Parameter</b>           | <b>Gemessene Konzentration</b> | <b>Einheit</b>    | <b>Bezugszeit</b> | <b>Massenstrom</b> | <b>Anmerkungen</b> |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| TNV Decklack-Trockner 1:   |                                |                   |                   |                    |                    |
| Cges                       | 39                             | mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h             | 0,17 kg/h          |                    |
| CO                         | 600                            | ppm               | 1,5 h             |                    |                    |
| NOx                        |                                |                   |                   |                    | nicht gemessen     |
| TNV Decklack-Trockner 2:   |                                |                   |                   |                    |                    |
| Cges                       | 32                             | mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h             | 0,16kg/h           |                    |
| CO                         | 740                            | ppm               | 1,5 h             |                    |                    |
| NO <sub>x</sub>            |                                |                   |                   |                    | nicht gemessen     |
| TNV Decklack – Trockner 3: |                                |                   |                   |                    |                    |
| Cges                       | 33                             | mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h             | 0,27 kg/h          |                    |
| CO                         | 640                            | ppm               | 1,5 h             |                    |                    |
| NO <sub>x</sub>            |                                |                   |                   |                    | nicht gemessen     |
| TNV Decklack – Trockner 4: |                                |                   |                   |                    |                    |
| Cges                       | 27                             | mg/m <sup>3</sup> | 1,5h              | 0,15kg/h           |                    |
| CO                         | 340                            | ppm               | 1,5 h             |                    |                    |
| NO <sub>x</sub>            |                                |                   |                   |                    | nicht gemessen     |

Tabelle 2b: Emissionswerte Sammelkamine Füller und Klarlack

| Parameter         | gemessene Konzentration [gesC] | Einheit           | Bezugszeit         | Massenstrom Losungsmittel | Anmerkungen |
|-------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------------|
| Füller / CC1      | Volumenstrom:                  | 567. 675          | Nm <sup>3</sup> /h |                           |             |
| Organische Stoffe | 28                             | mg/m <sup>3</sup> | 1,5h               | 30,9 kg/h                 |             |
| Staub             | 0,6                            |                   |                    | 0,35 kg/h                 |             |
| Füller / CC 2     | Volumenstrom:                  | 514.675           | Nm <sup>3</sup> /h |                           |             |
| Organische Stoffe | 37                             | mg/m <sup>3</sup> | 1,5h<br>»          | 36,6 kg/h 0,54 kg/h       |             |
| Staub             | 1,1                            |                   |                    |                           |             |
| Füller/CC 3       | Volumenstrom:                  | 542 750           | Nm <sup>3</sup> /h |                           |             |
| Organische Stoffe | 52                             | mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h              | 53,6 kg/h                 |             |
| Staub             | 0,6                            |                   |                    | 0,31 kg/h                 |             |
| Füller/CC 4       | Volumenstrom:                  | 462 738           | Nm <sup>3</sup> /h |                           |             |
| Organische Stoffe | 27                             | mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h              | 28,2 kg/h                 |             |
| Staub             | 0,6                            |                   |                    | 0,27 kg/h                 |             |

Die Umrechnung von gesC auf organische Losungsmittel erfolgt mit folgenden Faktoren: Responsefaktor FID: 0,75 ges.C - Losungsmittel: 1,4 (gewichteter Mittelwert der beiden Lacksysteme)

Tabelle 2c: Diffuse Emissionen

| Diffuse Emissionen | geschätzte oder berechnete Emissionsmengen |
|--------------------|--|
| organische Stoffe  | keine                                      |

Sonstige Ergänzungen: Mittlere Gesamtemission Füller und Klarlack Basislack in der Summe:  
21,8 g/m<sup>2</sup> RBK

Tabelle 2: Emissionen in die Luft: 6. Schweller-Spritzkabine und Trockner

|  |  |
|--|--|
| Emissionsquelle<br>(Anlagenteil/Prozess) | 6. Schweller-Spritzkabine und Trockner |
| Herkunft der Daten                       | Messung 1999                           |
| Bezugsjahr der Angaben                   | 1999                                   |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen*

|   |   |
|---|---|
| Produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung<br>Erreichte Emissionsminderungsgrade | 2K-Schwellerack mit ca. 40 % organischen Lösemitteln<br>1K-Sitzschienenlack mit ca. 68 % organischen Lösemitteln<br>/ |
| Maßnahmen zur Minderung diffuser Emissionen<br>Erreichte Emissionsminderungsgrade             | Einhäusung und Luftführung<br>100 %   |
| Nachgeschaltete Abgasreinigungsverfahren<br>Erreichte Emissionsminderungsgrade                | Partikelfilter für Spritzkabine<br>/  |

Angaben zum Abgas

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Abgasvolumenstrom                  | 4 Lüftungsanlagen mit insgesamt 354 798 Nm <sup>3</sup> /h |
| O <sub>2</sub> -Gehalt des Abgases | 21 %   |

Tabelle 2b: *Emissionswerte*

| Parameter                                | gemessene Konzentration | Einheit           | Bezugszeit | Massenstrom | Anmerkungen |
|--|-------------------------|-------------------|------------|-------------|-------------|
| Dekorlinie 1                             |                         |                   |            |             |             |
| Anlage 4<br>organische Stoffe<br>Staub   | 46<br><0,1              | mg/m <sup>3</sup> | 1,5h       | 10,1 kg/h   |             |
| Anlage 4-1<br>organische Stoffe<br>Staub | <3<br><0,1              | mg/m <sup>3</sup> | 1,5 h      | 0,6 kg/h    |             |
| Dekorlinie 2                             |                         |                   |            |             |             |

| Parameter                                | gemessene Konzentration | Einheit           | Bezugszeit | Massenstrom | Anmerkungen |
|--|-------------------------|-------------------|------------|-------------|-------------|
| Anlage 5<br>organische Stoffe<br>Staub   | 6<br><br><0,1           | mg/m <sup>3</sup> | 1,5h       | 1,2 kg/h    |             |
| Anlage 5-1<br>organische Stoffe<br>Staub | 7<br><br><0,1           | mg/m <sup>3</sup> | 1,5h       | 1,3 kg/h    |             |

Tabelle 2c: *Diffuse Emissionen*

|                    |  |
|--------------------|--|
| Diffuse Emissionen | geschätzte oder berechnete Emissionsmengen |
| Organische Stoffe  | keine                                      |

Sonstige Ergänzungen: Gesamtemission Schweller und Sitzschiene: 1,6g LM / m<sup>2</sup> RBK

### Zusammenfassung

Emissionen gemäß VDI-RL 3455

|                   |             |                        |
|-------------------|-------------|------------------------|
| VBH / KTL / UBS   | 0,9         | g/m <sup>2</sup>       |
| Füller / Klarlack | 21,8        | g/m <sup>2</sup>       |
| Basislack         | 3,7         | g/m <sup>2</sup>       |
| Schweller         | 1,6         | g/m <sup>2</sup>       |
| <b>Summe</b>      | <b>28,0</b> | <b>g/m<sup>2</sup></b> |

## VII.2 Opel Eisenach GmbH

Tabelle 1: Allgemeine Informationen zur Anlage

|   |   |
|---|---|
| Name und Ort der Anlage   | Opel Eisenach GmbH, Lackiererei Gebäude E30<br>Adam-Opelstr. 100, 99817 Eisenach  |
| Ansprechpartner für Rückfragen:<br><br>Anschrift:<br>Telefon:<br>Fax:<br>E-mail:            | Jürgen Heilwagen, Technischer Service<br>03691 / 66 16 11<br>03691 / 66 11 22<br><a href="mailto:juergen.heilwagen@de.opel.com">juergen.heilwagen@de.opel.com</a> |
| Bezeichnung der zu lackierenden Werkstücke (z.B.<br>Stoßfänger, Türen)                      | Pkw-Karossen  |
| Materialart (Metall, Holz, Kunststoff)  | Metall (verzinktes Stahlblech)  |
| Größe und Geometrie der Werkstücke  | 60 - 85 m <sup>2</sup>  |
| Geforderte Oberflächenqualität  | Korrosionsschutz (12 Jahre), optische Wirkung   |
| Häufigkeit von Farbtonwechsel   | Sortiment: 10 Farben  |
| Jährliche Kapazität in 2000   | Typ Corsa II: 52 161 Karossen<br>Typ Corsa III: 30 144 Karossen<br>Typ Astra: 62 838 Karossen   |
| Jährlicher Lösemittelverbrauch [t/a] im Bezugsjahr  | 318   |
| Jahresbetriebsstunden im Bezugsjahr [h/a]   | 1 830   |
| Jahr der Inbetriebnahme   | 1992  |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher Änderungen, die für<br>die nachfolgenden Daten relevant sind | Grundlackrecycling-Anlage, 1996   |
| Anzeigen nach § 15 BImSchG  | Erweiterung der Farbpalette, Einführung von<br>farbigem Grundlack, 1997   |

### Kurzbeschreibung des Lackierprozesses

„Aus den Stapeltürmen transportiert ein Rollenbandsystem die Karossen zur Wasch- und Phosphatieranlage. Nach der Reinigung, Phosphatierung und Passivierung werden die Karossen in

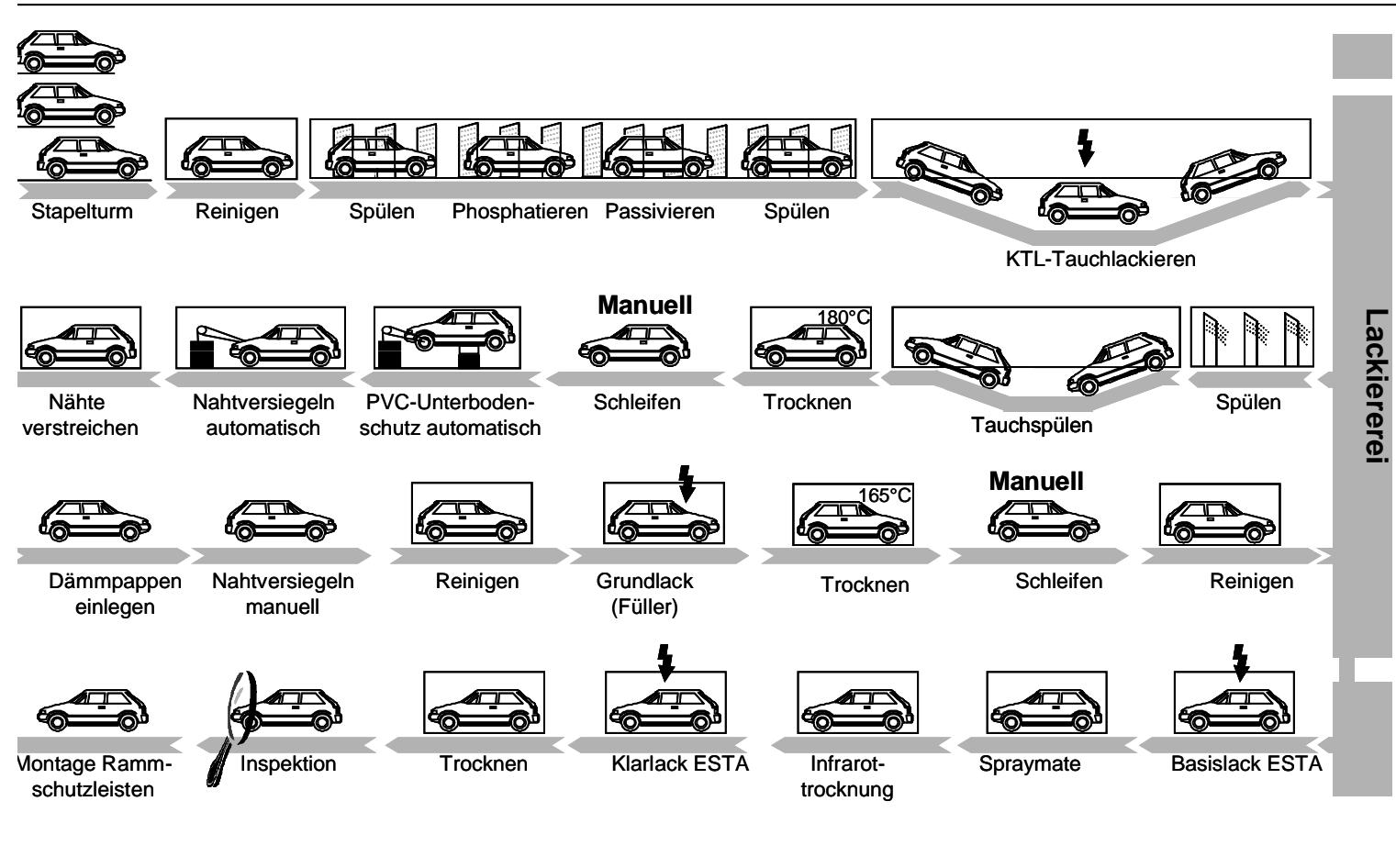
---

einem Tauchbecken elektrophoretisch beschichtet, um dauerhaften Korrosionsschutz zu gewährleisten. Anschließend werden die Karossen nach dem Schleifen zur Station PVC-Unterbodenschutz transportiert. Hier wird mittels Industrierobotern an der Unterseite der Karossen an besonders gefährdeten Stellen ein PVC-Material aufgetragen, welches als Steinschlag - sowie Korrosionsschutz fungiert. Danach erfolgt die Nahtversiegelung der Karosse und in der Grundlackspritzkabine werden die Außenhaut sowie Heck- und Frontpartie mit wasserbasierendem Grundlack durch elektrostatisches Auftragen mittels Rotationszerstäuber aufgebracht. Durch diese Technologie sind nur etwa neun Prozent organische Losmittel erforderlich und es wird der Wirkungsgrad des Farbauftrages auf bis zu 90 Prozent gesteigert. Abschließend wird die Qualität der lackierten Karossen kontrolliert, um aufgetretene Mängel zu erkennen und zu beseitigen. Beanstandungsfreie Karossen werden mit dem jeweils typengerechten Seitenstreifen versehen und anschließend im Stapelturm zwischengelagert. Die Lackiererei der Opel Eisenach GmbH zeichnet sich durch besonders umweltvertragliche Produktionsverfahren aus. In der hochmodernen Anlage verwendet Opel in allen Bereichen ausschließlich wasserverdünnbare Lacke. Den Grenzwert der Technischen Anleitung Luft (TA Luft von 35 g Losemittelemission/m<sup>2</sup> lackierte Karosserieoberfläche) unterschreitet die Lackiererei um 40 Prozent. Vom Tauchgrund, Füller über Basislack bis zum Klarlack wird Wasser als Hauptlösemittel verwendet. Der wasserverdünnbare Tauchgrund enthält weniger als fünf Prozent organische Losmittel. Der organische Losmittelanteil des Decklackes beträgt nur noch durchschnittlich 15 Prozent. Der wasserverdünnbare Klarlack kam in der Lackiererei der Opel Eisenach GmbH weltweit erstmals zum Einsatz. Den Anteil organischer Losmittel konnten die Fachleute von bisher 55 auf 20 Prozent reduzieren. Gleichwohl erfüllt der transparente Klarlack die gleichen Qualitätsanforderungen wie herkömmliche Materialien. Als oberste Lackschicht sorgt er für den tiefen Glanz der Lackierung. Zur weiteren Qualitätsverbesserung und zur weiteren Erhöhung der Flexibilität der Lackiererei wurde der vorhandene Farbmischraum um ca. 250 m<sup>2</sup> erweitert. Es wurden drei zusätzliche Grundlacksysteme installiert, so dass es jetzt möglich ist vier verschiedene Farbtöne zu applizieren. Da sich diese Farben den Decklackfarben angleichen, wird bei eventuellen Beschädigungen durch Steinschlag die optische Ansicht der Oberfläche verbessert. Des Weiteren wurden acht zusätzliche Decklackfarbsysteme installiert, um noch flexibler auf Kundenwünsche reagieren zu können. Moderne Systeme zur Wassereinsparung ermöglichen eine Mehrfachnutzung des Abwassers, so dass sich der Frischwasserbedarf der Lackiererei von sieben bis dreizehn Liter pro Quadratmeter lackierter Karosserieoberfläche auf nur etwa drei Liter verringert.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Aus: Opel Eisenach GmbH (Hrsg.), 2000, S. 12-13

## Verfahrensschema Lackiererei Opel Eisenach GmbH



---

**Tabelle 2: Emissionen in die Luft**

|                        |  |
|------------------------|--|
| Herkunft der Daten     | Datenerfassung im Rahmen des Umweltmanagementsystems |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000   |

Tabelle 2a: Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen: Produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung

| Maßnahme                                       | Prozessschritt  | Erreichter Wirkungsgrad                            |
|--|---|--|
| Wasserbasierte Lacke                           | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren | 30 % der organischen Lösemittel der Wasser ersetzt |
| Elektrostatische Aufladung beim Lackierprozess | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren | Verringerung des Overspray-anteils um 50 %         |

Tabelle 2b: Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen: Nachgeschaltete Maßnahmen zur Emissionsminderung

| Maßnahme   | Prozessschritt  | Erreichter Wirkungsgrad  |
|--|---|--|
| Absorption des Overspray in Wasserfilmen und Koagulierung und Flotation , Entwässerung des Lackkoagulat über Dekanter, externe stoffliche Bewertung (Methanolsynthese) | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren | 90 % weniger Farbpartikelaustrag über die Abluft                 |
| thermische Nachverbrennung der Trocknerabluft  | <input checked="" type="checkbox"/> trocknen<br><input type="checkbox"/>                            | 20 % Reduzierung des Gesamtlösemittelanteils der Lackierprozesse |
| Wärmetausch Abluft / Zuluft  | <input checked="" type="checkbox"/> trocknen<br><input checked="" type="checkbox"/> Gesamtanlage    | Einsparung von 8 000t Heizöl EL für Zuluftbeheizung /a           |

Tabelle 2c: Angaben zum Rohgas vor Abgasreinigung bzw. Ableitung nach Schornstein

| Prozessschritt   | Abgasvolumenstrom [Nm <sup>3</sup> /h] |
|--|--|
| Vorbehandlung (Entfettung, Phosphatierung, Passivierung) | 17 180                                 |
| Vorbehandlung (KTL)                                      | 30 900                                 |
| Lackierprozesse (Grundlack, PVC, Decklack)               | 1 739 000                              |
| Trocknen und Kühlzonen (KTL, Grundlack, Decklack)        | 244 050                                |

Tabelle 2d: Emissionswerte - gefasste Emissionen (Reingas nach Abgasreinigung)

| <b>Parameter</b>              | <b>Massenstrom in<br/>[kg/h]</b> | <b>Massenstrom in<br/>[kg/a]</b> | <b>Tätigkeiten bzw. Anlagen-<br/>bereiche, in denen gefasste<br/>Emissionen auftreten</b> |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
| Gesamt-C                      | 0,085                            | 410,6                            | Vorbehandlung (Entfettung, Phosphatierung, Passivierung)                                  |
|                               | 0,613                            | 2 960,8                          | Vorbehandlung (KTL)   |
|                               | 18,463                           | 89 176,3                         | Lackierung  |
|                               | 0,903                            | 4 361,5                          | Trocknung, Kühlzonen  |
| Staub                         | 0,014                            | 67,6                             | Vorbehandlung (Entfettung, Phosphatierung, Passivierung)                                  |
|                               | 1,420                            | 6 858,6                          | Vorbehandlung (KTL)   |
|                               | 0,117                            | 565,1                            | Trocknung, Kühlzonen  |
| CO                            | 7,95                             | 38 400                           | Trocknung   |
| CO <sub>2</sub> <sup>2)</sup> |                                  |                                  |   |
| NO <sub>x</sub>               | 3,954                            | 19 100                           | Trocknung   |
|                               |                                  |                                  |   |

Tabelle 2e: *Emissionswerte - diffuse Emissionen und Ableitung über Schornstein ohne Abgasreinigung*

| <b>Parameter</b> | <b>geschätzte oder berechnete<br/>Emissionsmengen</b> | <b>Tätigkeiten bzw. Anlagen-<br/>bereiche, in denen gefasste<br/>Emissionen auftreten</b> |
|------------------|---|---|
| Gesamt-C         | diffuse Emissionen, geschätzt. 30 %                   | Raumluftanlagen, gesamte Lackiererei  |

**Sonstige Ergänzungen:** Losemittelemissionen der Lackiererei Eisenach im Jahr 2000, berechnet aus eingesetzten Prozess- und Hilfsmaterialien

| Anlage           | Stoffbezeichnung | Gesamtverbrauch<br>[kg/a] | Losemittelanteil<br>[%] [kg/a]   |                 | Reduzierung durch TNV<br>bzw. Rückführung [kg/a]** | verbleibende Emissionen<br>[kg/a] |
|------------------|------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------|--|-----------------------------------|
| Vorbehandlung    | Reiniger         | 34 250                    |                                  | 0,0             |  | 0,0                               |
|                  | Tensid           | 10 100                    |                                  | 0,0             |  | 0,0                               |
|                  | Aktivator        | 8 900                     |                                  | 0,0             |  | 0,0                               |
|                  | Phos..A-Lsg.     | 15 670                    |                                  | 0,0             |  | 0,0                               |
|                  | Phos.-E-Lsg.     | 101 730                   |                                  | 0,0             |  | 0,0                               |
|                  | Natronlauge      | 3 907                     |                                  | 0,0             |  | 0,0                               |
|                  | Beschleuniger    | 37 750                    |                                  | 0,0             |  | 0,0                               |
|                  | Reinigungssaure  | 5 000                     |                                  | 0,0             |  | 0,0                               |
|                  | Pass.-Lsg. I     | 2 170                     |                                  | 0,0             |  | 0,0                               |
|                  | Pass.-Lsg. II    | 1 495                     |                                  | 0,0             |  | 0,0                               |
|                  | <b>Summe:</b>    | <b>220 972</b>            |                                  | <b>0,0</b>      |  | <b>0,0</b>                        |
| KTL-Anlage       | Bindemittel      | 823 205                   | 1,05<br>11,5<br>25<br>100<br>100 | 8 643,7         | 1 728,7305<br>3 647,685<br>597,5<br>80<br>520      |                                   |
|                  | Pigmentpaste     | 158 595                   |                                  | 18 238,4        |  |                                   |
|                  | Essigsäure       | 11 950                    |                                  | 2 987,5         |  |                                   |
|                  | Phenoxypropanol  | 400                       |                                  | 400,0           |  |                                   |
|                  | Butylglycol      | 2 600                     |                                  | 2 600,0         |  |                                   |
|                  | <b>Summe:</b>    | <b>996 750</b>            |                                  | <b>32 869,6</b> |  | <b>6 573,9</b>                    |
| PVC-Spritzkabine | UBS/Sealing      | 1 547 000                 | 3<br>3<br>3                      | 46 410          | 9282<br>516<br>231                                 |                                   |
|                  | Bordelnaht       | 86 000                    |                                  | 2 580 1         |  |                                   |
|                  | Schwellerschutz  | 38 500                    |                                  | 155             |  |                                   |
|                  | <b>Summe:</b>    | <b>1 671 500</b>          |                                  | <b>50 145</b>   | <b>10 029</b>                                      | <b>40 116</b>                     |

| Anlage             | Stoffbezeichnung     | Gesamtverbrauch<br>[kg/a] | Lösemittelanteil<br>[%] | [kg/a]           | Reduzierung durch TNV bzw.<br>Rückführung [kg/a]** | verbleibende Emissionen<br>[kg/a] |
|--------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|--|-----------------------------------|
| Lackierprozess     | Grundlack            | 252 000                   | 7                       | 17 640,0         | 3 528,0  |                                   |
|                    | Basislack Uni        | 115 671                   | 14                      | 16 193,9         | 3 238,8  |                                   |
|                    | Baslack Metallic     | 330 758                   | 15                      | 49 613,7         | 9 922,7  |                                   |
|                    | Klarlack             | 276 000                   | 19,3                    | 53 268,0         | 10 653,6   |                                   |
| <b>Summe:</b>      |                      | <b>974 429</b>            |                         | <b>136 715,6</b> | <b>27 343,1</b>                                    | <b>109 372,5</b>                  |
| Lösungsmittel      | Hydrosülverdünner    | 54 400                    | 100                     | 54 400           | 27 200   |                                   |
|                    | Butylglycol          | 32 160                    | 100                     | 32 160           | 16 080   |                                   |
|                    | n-Propanol           | 11 764                    | 100                     | 11 764           | 5 882  |                                   |
|                    | <b>Summe:</b>        | <b>98 324</b>             |                         | <b>98 324</b>    | <b>49 162</b>                                      | <b>49 162</b>                     |
| Dispergierung ESKA | Dispergatoren        | 4 190                     | 0                       | 0                | -  |                                   |
|                    | Entschäumer          | 4 900                     | 0                       | 0                | -  |                                   |
|                    | pH-Korrektur         | 1 225                     | 0                       | 0                | -  |                                   |
|                    | <b>Summe:</b>        | <b>10 315</b>             |                         | 0                | -  | 0                                 |
| Koagulierung ESKA  | Entkleber            | 14 200                    | 0                       | 0                | -  |                                   |
|                    | pH-Korrektur         | 3 800                     | 0                       | 0                | -  |                                   |
|                    | Flockungshilfsmittel | 5 350                     | 0                       | 0                | -  |                                   |
|                    | Entschaumer          | 16 200                    | 0                       | 0                | -  | 0                                 |
| <b>Summe:</b>      |                      | <b>39 550</b>             |                         | 0                | Summe:   | <b>224 946,2</b>                  |

| <b>Modell</b>                           | <b>m<sup>2</sup>/Karosse</b>                     | <b>Karossen/a</b>                                   | <b>lackierte Fläche<br/>m<sup>2</sup>/a</b>        |
|---|--|---|--|
| Karosserieoberfläche Corsa alt, absolut | 65,0   | 52 161  | 3 390 465,0  |
| Karosserieoberfläche Corsa neu, absolut | 77,1   | 30 144  | 2 324 102,4  |
| Karosserieoberfläche Astra, absolut     | 85,3   | 62 838  | 5 360 081,4  |
| <b>Summe:</b>                           |  |   | <b>11074648,8</b>                                  |
| Lösemittelemissionen pro Jahr           | Emissionen pro Jahr<br><br>kg/a<br><br>224 946,2 | Fläche<br><br>m <sup>2</sup> /a<br><br>11 074 648,8 | Lösemittelemissionen g/m <sup>2</sup><br><br>20,31 |

\*) Mittelwert aus verwendeten Farben und Lackarten

\*\*) Reduzierung durch TNV 20%, Rückführungsanteil der Spülverdünnung 50%

|                  |               |
|------------------|---------------|
| Fertigungszeit:  | 21 h/d        |
| Arbeitstage:     | 230 d/a       |
| Fertigungszeit:  | 4830 h/a      |
| Lösemittel ges.: | 318054,2 kg/a |
| Emission:        | 224946,2 kg/a |
| Emissionsrate:   | 46,57 kg/h    |

---

**Tabelle 3: Wasserseitige Emissionen**

|                        |  |
|------------------------|--|
| Herkunft der Daten     | Datenerfassung im Rahmen des Umweltmanagementsystems |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000   |

Tabelle 3a: *Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs*

| <b>Maßnahme</b>   | <b>Prozessschritt</b>  | <b>Erreichter Wirkungsgrad*</b>  |
|---|--|--|
| Kreislaufführung über Kies-, Aktivkohlefilter und Ionentauscher | <input checked="" type="checkbox"/> Phosphatierung<br><input checked="" type="checkbox"/> Passivierung | 70% Reduzierung<br>Frischwasseranteil  |
| Ultrafiltration Spülwasser nach Tauchlackierung                 | <input checked="" type="checkbox"/> KTL  | Einsparung von 10% KTL-Material und entsprechend weniger Verschleppung in die Abwasserbehandlung |

Tabelle 3b: *Angewandte Maßnahmen zur Abwasserbehandlung*

| <b>Maßnahme</b>  | <b>Prozessschritt</b>   | <b>Erreichter Wirkungsgrad*</b> |
|--|---|---------------------------------|
| Ultrafiltration<br>Fällung / Flockung<br>Neutralisation<br>Selektivionentauscher | <input checked="" type="checkbox"/> Vorbehandlung / Entfettung                                      |                                 |
| Fällung / Flockung<br>Neutralisation<br>Selektivionentauscher                    | <input checked="" type="checkbox"/> Vorbehandlung, Phosphatierung, Passivierung                     |                                 |
| Koagulierung<br>Fällung / Flockung<br>Neutralisation<br>Selektivionentauscher    | <input checked="" type="checkbox"/> Vorbehandlung KTL   |                                 |
| Koagulierung<br>Flotation<br>Dekanter  | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren | 100 % Kreislaufführung          |

Tabelle 3c: Angaben zum Abwassermengenstrom

| Produktionsabwasser                     | Wert [mg/l] |     |       |                        |         |
|---|-------------|-----|-------|------------------------|---------|
| Differenziert nach:                     | CSB         | TOC | AOX   | Kohlenwasserstoffindex | LHKW    |
| ▪ Rohabwasser*                          | 5 000       |     | 0,590 | 5,2                    | < 0,001 |
| ▪ Behandeltes Abwasser                  | 1 064       |     | 0,220 | 0,16                   | < 0,001 |
| ▪ Direktes Kühlwasser                   |             |     | 0,182 |                        |         |
| ▪ Abwasser aus der Wasser- aufbereitung | 15          |     | 0,031 |                        |         |

\* Mittelwerte der Abwasserteilströme

Tabelle 4: Abfälle

|                        |  |
|------------------------|--|
| Herkunft der Daten     | Datenerfassung im Rahmen des Umweltmanagementsystems |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000   |

Tabelle 4a: Angewandte Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung

| Maßnahme                                      | Prozessschritt  | Erreichter Wirkungsgrad*                                     |
|---|---|--|
| Dekanter                                      | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren | Trockensubstanz-Gehalt um 40 % erhöht im Lackschlammkoagulat |
| Schneckentrockner (zur Zeit nicht in Betrieb) |   | Trockensubstanz-Gehalt um 80 % erhöht                        |

Abfallvorbehandlung: Lackschlamm-trocknung (vgl. Tabelle 4a)

Tabelle 4b: *Abfallmengen und Verwertungs- bzw. Beseitigungsverfahren*

| <b>Abfallbezeichnung</b>         | <b>Abfallschlüssel-Nr. (EAK)<sup>1)</sup></b> | <b>Abfallmenge<sup>2)</sup></b> | <b>Verwertungs- oder Beseitigungs-Verfahren</b> | <b>Charakteristische Eigenschaften<sup>3)</sup> / Anmerkungen</b> | <b>Abfallart</b>                |
|----------------------------------|---|---------------------------------|---|---|---------------------------------|
| Hydrolspülverdünnung verschmutzt | 070304  | 491,46                          | Destillation                                    | 10% Feststoff<br>10 % Lösemittel<br>80 % Wasser                   | besonders überwachungsbedürftig |
| Lack- und Farbschlamm            | 080108  | 196,79                          | Methanolsynthese                                | 20 % Wasser<br>80 % entklebter Lack                               | besonders überwachungsbedürftig |
| Reinigungssäure verschmutzt      | 110105  | 26,13                           | chemisch-physikalische Behandlung               | 10 % Schwefelsäure<br>Schwermetalle                               | besonders überwachungsbedürftig |
| Altöl                            | 130202  | 22,64                           | thermische Verwertung                           | 95 % Konservierungsöle  | besonders überwachungsbedürftig |
| Metallhydroxidschlamm            | 190201  | 193,64                          | Konditionierung für Deponieabdeckung            | Kalk<br>Schwermetalle<br>40 % Wasser                              | besonders überwachungsbedürftig |
| Aufsag- und Filtermaterialien    | 150299D1                                      | 60,4                            | thermische Verwertung                           | Lack- und Lösemittelreste   | besonders überwachungsbedürftig |
| Papier / Pappe                   | 150101  | 80 *                            | Altpapierverwertung                             |   | nicht überwachungsbedürftig     |
| Kunststoff                       | 150102  | 20 *                            | Recycling                                       |   | nicht überwachungsbedürftig     |
| gemischte Materialien            | 150106  | 3*                              | Recycling                                       | Verpackungen  | nicht überwachungsbedürftig     |

\* Anteil aus Abfall von gesamtem Werk geschätzt

**Tabelle 5: Verbrauch an Einsatzstoffen und Energie**

| Anlage           | Stoffbezeichnung | Gesamt-verbrauch [kg/a] | Losemittel (ohne Wasser) [%] | Festkörper [%] | WGK | Anmerkung                      |
|------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|----------------|-----|--------------------------------|
| Vorbehandlung    | Reiniger         | 34 250                  | 0                            | 0              | 1   |                                |
|                  | Tensid           | 10 100                  | 0                            | 0              | 2   |                                |
|                  | Aktivator        | 8 900                   | 0                            | 0              | 1   |                                |
|                  | Phos.-A-Lsg.     | 15 670                  | 0                            | 0              | 1   |                                |
|                  | Phos.-E-Lsg.     | 101 730                 | 0                            | 0              | 1   |                                |
|                  | Natronlauge      | 3 907                   | 0                            | 0              | 1   |                                |
|                  | Beschleuniger    | 37 750                  | 0                            | 0              | 1   |                                |
|                  | Reinigungssäure  | 5 000                   | 0                            | 0              | 1   |                                |
|                  | Pass.-Lsg. I     | 2 170                   | 0                            | 0              | 2   |                                |
|                  | Pass.-Lsg. II    | 1 495                   | 0                            | 0              | 1   |                                |
| KTL-Anlage       | Bindemittel      | 823 205                 | 1,05                         | 35             | 1   | Pb-freies Produkt wird geprüft |
|                  | Pigmentpaste     | 158 595                 | 11,5                         | 52             | 1   |                                |
|                  | Essigsäure       | 11 950                  | 25                           | 0              | 1   |                                |
|                  | Phenoxypropanol  | 400                     | 100                          | 0              | 1   |                                |
|                  | Butylglycol      | 2 600                   | 100                          | 0              | 1   |                                |
| PVC-Spritzkabine | UBS/Sealing      | 1 547 000               | 3                            | 97             | 1   |                                |
|                  | Bordelnaht       | 86 000                  | 3                            | 97             | 1   |                                |
|                  | Schwellerschutz  | 38 500                  | 3                            | 97             | 1   |                                |

| Anlage                 | Stoffbezeichnung     | Gesamt-verbrauch [kg/a] | Losemittel (ohne Wasser) [%] | Festkörper [%] | WGK | Anmerkung                                      |
|------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------------|----------------|-----|--|
| Lackierprozess         | Grundlack            | 252 000                 | 7                            | 50             | 1   | wasserbasierend                                |
|                        | Basislack Uni        | 115 671                 | 14                           | 25             | 1   | wasserbasierend                                |
|                        | Basislack Metallic   | 330 758                 | 15                           | 25             | 1   | wasserbasierend                                |
|                        | Klarlack             | 276 000                 | 19,3                         | 23             | 1   | wasserbasierend                                |
| Losungsmittel          | Hydrospulverdünner   | 54 400                  | 100                          | 0              | 1   |  |
|                        | Butylglycol          | 32 160                  | 100                          | 0              | 1   |  |
|                        | n-Propanol           | 11 764                  | 100                          | 0              | 1   |  |
| Dispergierung:<br>ESKA | Dispergatoren        | 4 190                   | 0                            | 0              | 1   | Prozess 2001 eingestellt nur noch Koagulierung |
|                        | Entschäumer          | 4 900                   | 0                            | 0              | 1   |  |
|                        | pH-Korrektur         | 1 225                   | 0                            | 0              | 1   |  |
| Koagulierung<br>ESKA   | Entkleber            | 14 200                  | 0                            | 0              | 1   |  |
|                        | pH-Korrektur         | 3 800                   | 0                            | 0              | 1   |  |
|                        | Flockungshilfsmittel | 5 350                   | 0                            | 0              | 1   |  |
|                        | Entschaumer          | 16 200                  | 0                            | 0              | 1   |  |

| Anlage                         | Stoffbezeichnung    | Gesamt-verbrauch [kg/a] | Losemittel<br>(ohne Wasser)<br>[%] | Festkörper [%] | WGK | Anmerkung                            |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------|-----|--------------------------------------|
| Lackiererei gesamt             | VE-Wasser RO-Wasser | 48 747                  | 0                                  | 0              | *   |                                      |
|                                |                     | 27 316                  | 0                                  | 0              |     |                                      |
|                                | Gesamtenergie       | 103 515MWh              |                                    |                |     | Erdgas + Elektro + Kühlung + Heizung |
| Frisch- und Abwasserbehandlung | Natronlauge         | 68 500                  | 0                                  | 50             | 1   |                                      |
|                                | Kalkmilch           | 98 750                  | 0                                  | 40             | 1   |                                      |
|                                | Eisen-III-chlorid   | 13 320                  | 0                                  | 40             | 1   |                                      |
|                                | Saizsaure           | 133 852                 | 0                                  | 31             | 1   |                                      |
|                                | Amidosulfonsäure    | 500                     | 0                                  | 100            | 1   |                                      |
|                                | Natriumbisulfit     | 17 261                  | 0                                  | 40             | 1   |                                      |
|                                | Wasserstoffperoxid  | 3 900                   | 0                                  | 100            | 1   |                                      |
|                                | Natriumhypochlorid  | 1 800                   | 0                                  | 13             | 1   |                                      |
|                                | Trinatriumphosphat  | 1 800                   | 0                                  | 100            | 1   |                                      |

## VII.3 HFP Bandstahl GmbH & Co KG

**Tabelle 1: Allgemeine Informationen zur Anlage**

|   |  |
|---|--|
| Name und Ort der Anlage   | Bandlackieranlage<br>HFP Bandstahl GmbH & Co KG<br>Bad Salzungen   |
| Ansprechpartner für Rückfragen:<br><br>Anschrift:<br>Telefon:<br>Fax:<br>E-mail:            | Herr Dr. Sameith<br><br>Schäfergasse, 36433 Bad Salzungen 03695 / 663-248 03695 / 663-241 d.sameith@hfp-bandstahl.de   |
| Bezeichnung der zu lackierenden Werkstücke<br>(z.B. Stoßfänger, Türen)                      | Metallbänder   |
| Materialart (Metall, Holz, Kunststoff)  | Metall (Fe, Va, Al,)   |
| Größe und Geometrie der Werkstücke  | Breite: max. 600 mm<br><br>Dicke: 0,15 - 1,5 mm  |
| Geforderte Oberflächenqualität  | dekorative u. technische Oberflächen   |
| Häufigkeit von Farbtonwechsel   | 700 / a  |
| Jährliche Kapazität im Bezugsjahr*  | ca. 17 000 t (15 000.000 m <sup>2</sup> )  |
| Jährlicher Lösemittelverbrauch [t/a] im<br>Bezugsjahr                                       | 285  |
| Jahresbetriebsstunden im Bezugsjahr [h/a]   | 8 488  |
| Jahr der Inbetriebnahme   | 1974 - 1996 (Ausbaustufen)   |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher Änderungen, die<br>für die nachfolgenden Daten relevant sind | 1992 Entfettung + Neutralisationsanlage<br><br>1993 Thermische Nachverbrennung<br><br>1995 Primerbeschichter + Ofen + TNV<br><br>1996 Elektrolytische Verzinkung, Verdampfer,<br>Abwasseranlage Verzinkung<br><br>1997 Übergang 4-Schichtsystem 7 Tage / Woche |
| Anzeigen nach § 15 BImSchG  | 1991, 1995, 1996, 1998   |

---

## **Verfahrensbeschreibung**

### **1. Produktionsübersicht**

Die Firma HFP, Bereich Bandveredelung, beschichtet Metallbänder mit metallischen und organischen Beschichtungsstoffen. Die Metallbänder werden in einem Durchlauf gereinigt, verzinkt, chromatiert und an den beiden Lackieranlagen beschichtet. Die so veredelten Metallbänder werden anschließend auf Kundemaß längsgeteilt und wahlweise auf Paletten gestapelt bzw. als Endlosband stumpfgeschweißt auf Spulen aufgewickelt. Beschichtete Coils, Paletten und Spulen verlassen als Fertigware die Firma HFP per Lkw.

### **2. Bandlauf der Gesamtanlage**

Ein zu beschichtendes Coil (als Ring aufgewickeltes Metallband) wird auf den Abwickeldorn des Abwicklers aufgesetzt, das Ende geschöpft und der neue Ring mit dem Bandende des vorherigen Ringes verbunden. Dazu dient wahlweise eine Heftmaschine (überlappte Heftnaht) oder eine Schweißmaschine. Der Bandspeicher ist bei Ringwechsel gefüllt und aus ihm wird der kontinuierliche Lackierbetrieb über die Zeit des Abwicklerstillstandes aufrechterhalten. Aus dem Bandspeicher läuft das Material durch die Bandreinigungsanlage und wird dort hintereinander vorentfettet, gebürstet, elektrolytisch gereinigt, gespült und mit einem Lüfter getrocknet. Danach läuft das Band durch die Verzinkung. Hier wird die Oberfläche mit verdünnter Schwefelsäure gebeizt (dekapiert), mit Destillat aus dem Verdampfer dreifach gespült, verzinkt, mit Destillat aus dem Verdampfer dreifach gespült und anschließend mit Luft getrocknet. Das verzinkte Band läuft dann zum No Rinse - Beschichter, wo mit Gummiwalzen eine Chromatschicht von 5-10 mg/m<sup>2</sup> aufgetragen wird, die mit Warmluft aus dem Luftwärmétäuscher der Lackieranlage 2 getrocknet wird. Danach läuft das Band durch die Lackieranlage 1, Lackieranlage 2, den Bandspeicher zur Schopfschere. Hier wird die Heftschweißnaht wieder getrennt und der fertige Ring vom Aufwickler entfernt. In dieser Stillstandszeit des Aufwicklers wird der Bandspeicher gefüllt, um den Lackierprozess nicht zu unterbrechen, denn Stillstand des Bandes in den Trockenöfen der Lackieranlagen führt zur Überhitzung des Lackes und bedeutet Schrottanfall.

#### **2.1 Bandreinigung**

In der Bandreinigungsanlage werden die zu veredelnden Metallbänder von Korrosionsschutzölen und anhaftenden Fetten und Schmutz befreit. Die Vorentfettung entfernt groben Schmutz durch Aufsprühen von Industriereiniger. Die Bürstsektion lockert durch rotierende Bürsten festhaftenden Schmutz. Die elektrolytische Entfettung gewährleistet eine für die Verzinkung erforderliche parenteile Sauberkeit des Bandes, sie wird gleichermaßen mit Industriereiniger betrieben. Die Spülkaskade beseitigt alle Industriereinigerrückstände in der dritten Kaskadenstufe mit vollentsalztem Wasser. Im Trockner wird das Metallband vor dem Einlaufen in die Verzinkung getrocknet. Die der Spulkaskade zugeführte Menge VE - Wasser von ca. 500 Liter/h wird in gleicher Höhe als Abwasser der Neutralisierungszone 1 zugeführt. An der Kammerfilterpresse fällt Kalkschlamm als Filterkuchen an, der unbelastet ist und wie Hausmüll deponiert werden kann. Das im Schräglärer geklärte Abwasser wird im Kiesfilter von restlichen Schwebstoffen befreit und läuft zur pH - Endkontrolle.

---

Von dort erfolgt die Indirekteinleitung als Abwasser im automatisch kontrollierten engen pH - Wertbereich. Bandreinigung und der Neutralisierungszone 1 sind vollständig in Säuretassen aufgestellt. Ein Auffangbehälter von 8,3 m<sup>3</sup> sichert die Aufnahme des größten Behälterinhaltes.

## **2.2 Verzinkung / Medienbehandlung.**

In der Verzinkungsanlage wird das gereinigte Metallband in der Dekapierung mit verdünnter Schwefelsäure gebeizt und in der Spüle 1 mit Kondensat gespült, welches im Dekapierverdampfer aus der Dekapierlösung durch Verdampfen im Vakuum gewonnen wird. Das dekapierte und gespülte Stahlband läuft dann in fünf Verzinkungszellen, in denen elektrolytisch Zink aufgetragen wird. Anschließend wird das verzinkte Metallband in der Spüle 2 mit Kondensat gespült. Dieses Kondensat wird im Elektrolytverdampfer aus dem Elektrolyt durch Vakuumverdampfung gewonnen. Das so veredelte Metallband läuft dann über den Trockner und wird der No Rinse - Chromatierung zugeführt. Die Medienführung im Kreislauf unter Einsatz von Verdampfertechnik führt dazu, dass nur geringste Mengen schwermetallbelasteter Abwasser zur Abwasserbehandlung im gesamten Verzinkungsprozess entstehen. Das beim Beizprozess vom Stahlband abgelöste Eisen reichert sich im Dekapierbehälter an. Um diese Anreicherung in technologischen Grenzen zu halten, wird über den Kühlkristaller das in der Dekapierlösung als Eisensulfat enthaltene Eisen ausgefroren. Das Produkt ist kristallines Eisensulfat, welches zur Wiederverwendung abgegeben wird. Der Elektrolyt wird ständig im By-pass gefiltert. Die Rückspülung dieses Anschwemmfilters erfolgt mit Elektrolyt. Mit diesem Split-Off-Anteil wird verhindert, dass sich eine Schwermetallanreicherung im Elektrolyt vollzieht, die negative Qualitätsauswirkungen zur Folge hätte. Dieses zinkbelastete Abwasser wird in der Neutralisierungszone 2 geführt, wo eine Standneutralisation mit Natronlauge erfolgt. Das damit ausgefällte Zinkhydroxid wird über die Kammerfilterpresse als Filterkuchen aufkonzentriert und mit einem Zinkgehalt von ca. 40 % als Rohstoff der Wiederverwertung in Zinkhütten zugeführt. Das Abwasser aus der Kammerfilterpresse (ca. 0,5 m<sup>3</sup>/Woche) wird zur weiteren Aufbereitung der Neutralisierungszone 1 zugeführt. Die gesamte Verzinkungsanlage und die gesamte Medienbehandlung einschließlich der Neutralisierungszone 2 sind in Säuretassen aufgestellt.

## **2.3 No Rinse - Chromatierung**

Die Chromatierung erfolgt am No Rinse - Beschichter, indem über gummierte Beschichterwalzen ein dünner Chromatfilm aufgetragen wird, der im No Rinse - Trockner unmittelbar danach austrocknet. Der No Rinse - Bonder wird als Konzentrat bezogen und mit dem Spülwasser des No Rinse - Beschichters auf Arbeitskonzentration verdünnt. Bei diesem Verfahren entstehen keinerlei chromhaltige Abwässer.

## **2.4 Lackieranlage 1**

Der Auftrag der Beschichtungsstoffe am Beschichter erfolgt mittels gummierten Beschichterwalzen gleichzeitig auf der Bandober- und -unterseite oder wahlweise nur einseitig. Die Zuführung der flüssigen Beschichtungsstoffe zum Beschichter erfolgt über Pumpen und Rohrleitungen / Schläuche, der Rücklauf über Rohre / Schläuche erfolgt im freien Fall. Zur Reinigung beider Beschichter bei Lackwechsel wird Lösemittel verwendet. Verbrauchte, weil mit Lackresten verschmutzte Lösemittel werden aufgefangen

---

und zur Regenerierung / Wiederverwendung übergeben. Die Lackschichtdicke liegt im Mikrometerbereich. Das frisch lackierte Band wird in den Trockenofen geführt. Der Trockenofen ist als Schwebeofen ausgeführt, d.h. mit den 3 Ofenzonen a 6 m Lange ist je ein Gebläse installiert, das mit 18 kw Leistung frequenzgeregelt Ofenluft durch Schlitzdüsen über und unter dem Bandblast, sodass das Band in der „Schwebe“ gehalten wird. Die Beheizung des Ofens erfolgt über Heißluft / Reingas mit 750° C aus der Lackieranlage 1. Die Temperaturführung des Ofens wird über Heißluftklappen geregelt. Im Ofen entweicht das Lösemittel aus dem Beschichtungsstoff. Die lösemittelbeladene Ofenluft wird mit dem Prozessventilator durch den Wannetäuscher Abgas gefordert und mit dem Reingas aus der Nachverbrennung auf ca. 450° C vorgewärmt. Dieses vorgewärmte Abgas gelangt dann in die Nachverbrennung. Die Nachverbrennung ist temperaturgeregelt (750° C). Das heißt, mit zunehmender Lösemittelfracht im Abgas reduziert sich der Gasverbrauch am Flächenbrenner der Nachverbrennung. Maximal mögliche Lösemittelast im Ofen sind 9,3 g/m<sup>3</sup>, die untere Explosionsgrenze (UEG) liegt bei 40 g/m<sup>3</sup>, so dass maximal 23 % der UEG erreicht werden können. Aus der Nachverbrennung strömt das Reingas durch die Wärmetauscher in den Kamin. Der eine Wannetäuscher dient zur Vorwärmung von Frischluft, die zum Ausgleich der Abgasmenge in den Auslauf des Trockenofens eingeblasen wird. Der andere Wannetäuscher ist als zusätzliche Warmwasserquelle geplant. FID-Messungen zur Ermittlung des Anteils an gesamt C und CO in der Abluft werden im Übergangskanal zum Kamin durchgeführt. Das beschichtete Band verlässt den Trockenofen mit ca. 350° C und läuft dann in die Kühlung ein. Gekühlt wird das Band zunächst in einem 6 m langen Luftkühlfeld mit Frischluft. Der Umlauf der Frischluft im Luftkühlfeld erfolgt in gleicher Weise wie im Trockenofen. Die aus dem Luftkühlfeld abgesaugte, erwärmte Frischluft wird in den Wannetäuscher Frischluft geführt. Das beschichtete Band verlässt das Luftkühlfeld mit ca. 150° C und läuft dann in ein Wasserkühlfeld, in welchem das Band mit VE-Wasser besprührt und damit auf ca. 30° C abgekühlt wird. Der anschließende Bandtrockner wird mit Warmluft vom Wannetäuscher versorgt. Das nunmehr kalte und trockene Band läuft dann in den Beschichter der Lackieranlage 2 ein.

## 2.5 Lackieranlage 2

Der Auftrag von Beschichtungsstoffen am Beschichter erfolgt in gleicher Weise wie an Lackieranlage 1. Das mit der zweiten Nassschicht versehene Band wird dann in Trockenofen 2 geführt. Dieser Ofen ist ein 54 m langer Durchhangofen, in dem das Band im freien Durchhang in 4 Ofenzonen mit heißer Umluft bei ca. 350° C getrocknet wird. Die 4 Ofenzonen haben eine separate Gasheizung mit Brenner. Die Abluft wird im Wannetäuscher vorgewärmt und in der Nachverbrennung über einen Flächenbrenner bei 750° C verbrannt. Der Prozessventilator saugt das Reingas über die Wannetäuscher und drückt es in den Kamin. Die in dem einen Wannetäuscher vorgewärmte Frischluft wird als Ersatz für das Abgas in die 4 Ofenzonen geblasen. Der andere Wannetäuscher ist ein Heizkessel, der an die Vor- und Rücklaufleitung des Kesselhauses angeschlossen ist und ca. 150 kW Sekundärwärme (90° C / 70° C) liefert. FID-Messungen zur Bestimmung von Gesamt C und CO erfolgen im Übergangsstück vor dem Kammeingang. Die maximal mögliche Lösemittelfracht liegt bei 8,75 g/m<sup>3</sup>, das sind 21,88 % der UEG.

---

**Tabelle 2: Emissionen in die Luft**

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Herkunft der Daten     | Emissionserklärung 2000 |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000                    |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen:**Produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme                            | Prozessschritt  | Erreichter Wirkungsgrad |
|-------------------------------------|---|-------------------------|
| Recycling von Reinigungslösemitteln | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren | sehr hoch               |
| Lösemittelfreie Verfahren           | <input checked="" type="checkbox"/> bleichen<br><input checked="" type="checkbox"/> entfetten       |                         |

Tabelle 2b: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen; Nachgeschaltete Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme                          | Prozessschritt  | Erreichter Wirkungsgrad |
|-----------------------------------|---|-------------------------|
| Thermische Nachverbrennung Ofen 1 | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> trocknen    | nahezu 100 %            |
| Thermische Nachverbrennung Ofen 2 | <input checked="" type="checkbox"/> decklackieren<br><input checked="" type="checkbox"/> trocknen | nahezu 100 %            |

Tabelle 2c: *Angaben zum Rohgas vor Abgasreinigung bzw. Ableitung nach Schornstein*

| Prozessschritt   | Abgasvolumenstrom [Nm <sup>3</sup> /h] |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> grundieren / trocknen    | 6.000                                  |
| <input checked="" type="checkbox"/> decklackieren / trocknen | 8.000                                  |

Tabelle 2d: *Emissionswerte - gefasste Emissionen (Reingas nach Abgasreinigung)*

| Parameter | Massenstrom in [kg/h] | Massenstrom in [kg/a] | Tätigkeiten bzw. Anlagenbereiche, in denen gefasste Emissionen auftreten |
|-----------|-----------------------|-----------------------|--|
| VOC       |                       |                       |  |
| TNV 1     | 544                   |                       |  |
| TNV 2     | 612                   |                       |  |
| CO        |                       |                       |  |
| TNV 1     | 0,664                 | 5.664                 |  |

| <b>Parameter</b> | <b>Massenstrom in [kg/h]</b> | <b>Massenstrom in [kg/a]</b> | <b>Tätigkeiten bzw. Anlagenbereiche, in denen gefasste Emissionen auftreten</b> |
|------------------|------------------------------|------------------------------|---|
| TNV 2            | 0,510                        | 4.335                        |   |
| NO <sub>x</sub>  |                              |                              |   |
| TNV 1            | 0,544                        | 4.624                        |   |
| TNV 2            | 0,552                        | 4.692                        |   |

Tabelle 3: *Wasserseitige Emissionen*

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| <b>Herkunft der Daten</b> | <b>Eigene Erhebungen</b> |
| Bezugsjahr der Angaben    | 2000                     |

Tabelle 3a: *Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs*

| <b>Maßnahme</b>   | <b>Prozessschritt</b>   | <b>Erreichter Wirkungsgrad*</b> |
|-------------------|---|---------------------------------|
| Kaskadenführung   | <input checked="" type="checkbox"/> entfetten   |                                 |
| Verdampfertechnik | <input checked="" type="checkbox"/> beizen  | ca. 90 %                        |
| Verdampfertechnik | <input checked="" type="checkbox"/> beizen<br><input checked="" type="checkbox"/> galvanisieren | ca. 90 %                        |

Tabelle 3b: *Angewandte Maßnahmen zur Abwasserbehandlung*

| <b>Maßnahme</b>   | <b>Prozessschritt</b>                             | <b>Erreichter Wirkungsgrad*</b> |
|---|---|---------------------------------|
| Neutralisation + Fällung / Flockung                       | <input checked="" type="checkbox"/> entfetten     | Neuanlage                       |
| Eindampfen + Ausfrieren + Austragen von FeSO <sub>4</sub> | <input checked="" type="checkbox"/> beizen        | Neuanlage                       |
| Fällung + Filterung + Trocknung von Zn (OH) <sub>2</sub>  | <input checked="" type="checkbox"/> galvanisieren | Neuanlage                       |

Tabelle 3c: *Angaben zum Abwassermengenstrom*

| Produktionsabwasser                        | Wert [mg/l]     |     |     |                        |      |
|--|-----------------|-----|-----|------------------------|------|
|  | CSB             | TOC | AOX | Kohlenwasserstoffindex | LHKW |
| differenziert nach:                        |                 |     |     |                        |      |
| ▪ Rohabwasser                              |                 |     |     |                        |      |
| ▪ Behandeltes Abwasser                     |                 |     |     |                        |      |
| ▪ Direktes Kühlwasser                      |                 |     |     |                        |      |
| ▪ Abwasser aus der Wasser-<br>aufbereitung | 20 - 60<br>mg/l |     |     |                        |      |

---

**Tabelle 4: Abfälle**

|                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| Herkunft der Daten     | Eigene Erhebungen |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000              |

Tabelle 4a: *Angewandte Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung*

| Maßnahme<br>(s. beigefügte Liste mit Beispielen)   | Prozessschritt  | Erreichter Wirkungsgrad* |
|--|---|--------------------------|
| Redestillation von<br>Reinigungslösemitteln  | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren |                          |
| Fällung +<br>Filterung +<br>Trocknung von Zn (OH) <sub>2</sub><br>Rückführung an Zinkhütte             | <input checked="" type="checkbox"/> galvanisieren   | 100 %                    |
| Rückführung von H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> im Beizprozess<br>nach Ausfrieren von FeSO <sub>4</sub> | <input checked="" type="checkbox"/> beizen  | ca. 90 %                 |
| Legierungsspezifische Schrottsammlung<br>zur Wiederverwertung  | <input checked="" type="checkbox"/> Gesamtprozess   |                          |

**Abfallvorbehandlung:** Entwässerung von ZN(OH)<sub>2</sub>-Schlämmen

Tabelle 4b: *Abfallmengen und Verwertungs- bzw. Beseitigungsverfahren*

| <b>Abfallbezeichnung</b> | <b>Abfallschlüssel-Nr.<br/>(EAK)<sup>1) 4)</sup></b> | <b>Abfallmenge<sup>2)</sup></b> | <b>Einheit</b> | <b>Verwertungs- oder<br/>Beseitigungs-<br/>Verfahren</b> | <b>Charakteristische<br/>Eigenschaften<sup>3)</sup> /<br/>Anmerkungen</b> | <b>Abfallart</b> |
|--------------------------|--|---------------------------------|----------------|--|---|------------------|
| FeSO <sub>4</sub>        | 06 03 03   | 4.000                           | Kg/a           | Zuschlagsstoff<br><br>Metallurgie                        | Kristallin  | ②                |
| Zn(OH) <sub>2</sub>      | 11 02 02   | 7.000                           | Kg/a           | Zn-Hütte<br><br>Rückgewinnung                            | Zn-Anteil > 50%   | ①                |
| Lösemittel               | 14 01 03   | 7.000                           | Kg/a           | Destillation<br><br>Rückgewinnung                        |   | ①                |

<sup>1)</sup> ggf. auch EAK-Bezeichnung

<sup>2)</sup> absolute Abfallmenge (z.B. in t/a) oder spezifische Abfallmenge (z.B. pro Produktmenge)

<sup>3)</sup> z.B. Heizwert, Wasseranteil

<sup>4)</sup> nach BestüVAbfV v. 10.09.1996

① besonders überwachungsbedürftige Abfälle

② überwachungsbedürftige Abfälle

③ nicht überwachungsbedürftige Abfälle

**Tabelle 5: Verbrauch an Einsatzstoffen und Energie**

| Prozessschritt:              | Einsatzstoffe                  | Verbrauchsmenge | Einheit | Charakteristische Eigenschaften <sup>2)</sup> | Anmerkungen                          |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------|---|--------------------------------------|
| grundieren,<br>decklackieren | Beschichtungsstoffe            | 450.000         | kg/a    | Lösemittelanteil<br>50 - 80 %                 | lösemittelhaltige Zubereitungen      |
| Entfetten                    | Industriereiniger              | 6.000           | kg/a    | alkalischer Industriereiniger                 |                                      |
| Beizen                       | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 7.000           | kg/a    | 96 %  | Einsatz während Verzinkungskampagnen |
| Abwasser-<br>behandlung      | Kalk                           | 7.000           | kg/a    | fest  | Fällung und Flockung von             |
|                              | HCl                            | 34.000          | kg/a    | 33 %  | Reinigungsabwasser                   |
|                              | NaOH                           | 25.000          | kg/a    | 30 %  | Fällung von Zn(OH) <sub>2</sub>      |
| Lackieren                    | Beschichtungsstoffe            | 450.000         | kg/a    | lösemittelhaltig                              | Bandbeschichtung                     |

---

| Prozess   | Wassergefährdende Stoffe       | Verbrauchsmenge | Einheit | Wassergefährdungsklasse | Anmerkungen |
|-----------|--------------------------------|-----------------|---------|-------------------------|-------------|
| Entfetten | Industriereiniger S 5006       | 6.000           | kg/a    | 1                       |             |
| Beizen    | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 7.000           | kg/a    | 1                       |             |
| Abwasser  | Kalk                           | 7.000           | kg/a    | 1                       |             |
|           | HCl                            | 34.000          | kg/a    | 1                       |             |
|           | NaOH                           | 25.000          | kg/a    | 1                       |             |
| Lackieren | Beschichtungsstoffe            | 450.000         | kg/a    | 2                       |             |

---

## **Sonstige Ergänzungen:**

Das aus der Auswaschung kommende mit Feststoffen belastete Wasser wird über ein Kanalsystem einem Koagulierbecken zugeführt. Hier erfolgt die Entklebung der Feststoffe und die Trennung vom Wasser. Die koagulierten Feststoffe werden über einen Oberflächenräumer einem geschlossenen Entsorgungscontainer zugeführt und in eine externe Verbrennungsanlage verbracht. Die Auswaschung arbeitet abwasserfrei, im geschlossenem System.

Die Lackieranlage ist über einen Reinraum mit dem Farbmischraum verbunden. Die Farbversorgung erfolgt über ein Ringleitungssystem von

120 m Länge bzw. bei Kleinmengen über vor Ort installierte Membranpumpen. Die im Umlauf befindliche Lackmenge beträgt ca. 305 Liter, die bevorratete Lackmenge beträgt max. 2000 Liter. Der Farbmischraum wird über eine separate Zuluftanlage mit Frischluft versorgt. Die Abluft wird dem Sammelkamin zugeführt

---

## VII.4 Plastic Omnium Automotive Components GmbH

**Tabelle 1: Allgemeine Informationen zur Anlage**

|   |  |
|---|--|
| Name und Ort der Anlage   | Lackieranlage PO Großenlupnitz<br>Plastic Omnium Automotive Components GmbH<br>Essener Straße<br>99819 Großenlupnitz |
| Ansprechpartner für Rückfragen:<br><br>Anschrift:<br>Telefon:<br>Fax:<br>E-mail:            | Herr. Baum<br><br>Essener Straße, 99819 Großenlupnitz<br>036920 / 85 19 04<br>035920 / 85 14 38                      |
| Bezeichnung der zu lackierenden Werkstücke<br>(z.B. Stoßfänger, Türen)                      | Stoßfänger, Blenden  |
| Materialart (Metall, Holz, Kunststoff)  | Kunststoff   |
| Größe und Geometrie der Werkstücke  | 0,93 m <sup>2</sup> /Teil (1,58 m x 0,59 m)  |
| Geforderte Oberflächenqualität  | Nach VW Standard TL 211<br>nach Opel Standard GME 00010  |
| Häufigkeit von Farbtonwechsel   | 70 Wechsel / d   |
| Jährliche Kapazität in 2000   | 1.937.920  |
| Jährlicher Lösemittelverbrauch in 2000  | 316 t/a  |
| Jahresbetriebsstunden in 2000   | 6.400 h/a  |
| Jahr der Inbetriebnahme   | 1996   |
| Art und Zeitpunkt wesentlicher Änderungen,<br>die für die nachfolgenden Daten relevant sind | /  |
| Anzeigen nach § 15 BimSchG  | /  |

### Kurzbeschreibung des Lackierprozesses

Kunststoffteile (Polypropylen und dessen Derivate) werden an einer Aufgabestation auf spezielle Werkstückträgersysteme (Skids) zweiseitig aufgebracht. Von dieser Beladestationen werden die Teile über eine Umluftschiele mittels eines Unterflurförderers in die Reinigungs-

---

kabine transportiert. Verschmutzungen werden hier von Hand mit einer Reinigungsflüssigkeit (Gemisch aus Isopropanol und Wasser) gereinigt. Nach dieser Oberflächenvorbehandlung erfolgt die Ionisation mittels Handpistolen zur Beseitigung der statischen Aufladung der Teileoberfläche. Im folgenden Takt wird die Qualitätskontrolle mittels UV-Licht durchgeführt.(Schwarzlichtkabine) Die gereinigten Teile erhalten danach eine Oberflächenaktivierung mittels Beflammen (Propangas/Luftgemisch) durch 2 Roboter. Im weiteren Verlauf erfolgt der erste Beschichtungsprozess mit Haftgrundierung (Primer). Verwendet werden hier 2-Komponenten-Polyurethangrundierungen, die mittels zweier Roboter und pneumatischer Spritzapplikation aufgebracht werden. In der nachgeschalteten Abdunstzone erfolgt der ca. 10 min dauernde Abdunstvorgang. Anschließend erfolgt die eigentliche fargebende Beschichtung in der Basislackkabine. Alle geforderten Farbtöne werden hier als 1-Komponenten Lack auf die Teile an 2 Arbeitsstationen auf jeder Seite elektrostatisch-pneumatisch durch 4 Mitarbeiter manuell aufgebracht. In der nachgeschalteten Abdunstzone erfolgt der ca. 10 min dauernde Abdunstvorgang. Als letzter Schritt der Farbgebung erfolgt die Applikation der Klarlackschicht. In der Klarlackkabine werden 2-Komponenten-Polyurethan-Klarlacke mittels zweier Roboter und elektrostatisch-pneumatischer Spritzapplikation, sowie manuell durch 2 Mitarbeiter aufgebracht. In der nachgeschalteten Abdunstzone erfolgt der ca. 10 min dauernde Abdunstvorgang. Danach erfolgt innerhalb von 45 min die Trocknung aller Lackschichten im Trockner bei Temperaturen von ca. 100°C. Nach einer Abkühlstrecke von 20 min werden die fertiglackierten Teile von den Skids entnommen und dem weiteren Konfektionierungsprozess zugeführt.

Die Kabinen der Beschichtungsanlage sind nach dem Reinraumprinzip gebaut und klimatisiert, Temperatur und Feuchte konstant geregelt. Zur Temperierung der benötigten 320 000 m<sup>3</sup>/h sind 2 Warmwasserkessel a 4,55 MW installiert. Die zur Trocknung benötigte Warmluft (Umluft) wird durch eine thermische Nachverbrennung eines Teilstroms der anfallenden schadstoffbeladenen Abluft (Abdunstzonen, Trockner) bei 750°C erzeugt. Beide Anlagen sind durch separate Kamine eigenständige emittierende Einrichtungen.

Das Absaugen und die Reinigung der mit Overspray beladenen Abluft der Lackierkabinen erfolgt über eine Auswaschung. Die von den Festkörperbestandteilen ausgewaschene Abluft wird mit den Abluftanteilen der Reinigungs- und Beflammungskabinen, sowie dem Farbmischraum über eine eigenständige emittierende Einrichtung, einem Sammelkamin abgeführt.

---

**Tabelle 2: Emissionen in die Luft**

|                        |   |
|------------------------|---|
| Herkunft der Daten     | Produktdatenblätter, Emissionsmessungen |
| Bezugsjahr der Angaben | 1999,2000                               |

Tabelle 2a: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen: Produktionsintegrierte Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme   | Prozessschritt   | Erreichter Wirkungsgrad |
|--|--|-------------------------|
| <b>Einsatzstoffe</b><br>High-Solid-Lacke<br>Festkörpergehalt: 20 %<br>Lösemittelgehalt: 80 % | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren   |                         |
|  |  | 30 %                    |
| <b>Emissionsfreie Auftragsverfahren</b><br><br>HVLP  | <input checked="" type="checkbox"/> Primer (grundieren)<br><input checked="" type="checkbox"/> Basislack (farbtongebend)   | 45 %<br>45 %            |
| Elektrostatisches Spritzverfahren  | <input checked="" type="checkbox"/> Primer (grundieren)<br><input checked="" type="checkbox"/> Basislack (farbtongebend)<br><input checked="" type="checkbox"/> Klarlack (decklackieren) | 55 %<br>55 %<br>55 %    |
| <b>Weitere Maßnahmen</b><br>Recycling von Reinigungslösemitteln                              | <input checked="" type="checkbox"/> Primer (grundieren)<br><input checked="" type="checkbox"/> Basislack (farbtongebend)<br><input checked="" type="checkbox"/> Klarlack (decklackieren) | 96 %<br>96 %<br>96 %    |

Tabelle 2b: *Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen: Nachgeschaltete Maßnahmen zur Emissionsminderung*

| Maßnahme                   | Prozessschritt  | Erreichter Wirkungsgrad      |
|----------------------------|---|------------------------------|
| Overspray-Abscheidesystem  | <input checked="" type="checkbox"/> Primer (grundieren)<br><input checked="" type="checkbox"/> Basislack (farbtongebend)<br><input checked="" type="checkbox"/> Klarlack (decklackieren)  | 99 %<br>99%<br>90 %          |
| Thermische Nachverbrennung | <input checked="" type="checkbox"/> Primer (abdunsten)<br><input checked="" type="checkbox"/> Basislack (abdunsten)<br><input checked="" type="checkbox"/> Klarlack (abdunsten)<br><input checked="" type="checkbox"/> Trockner | 99 %<br>99 %<br>99 %<br>99 % |

Tabelle 2c: Angaben zum Rohgas vor Abgasreinigung bzw. Ableitung nach Schornstein

| Prozessschritt            | Abgasvolumenstrom [Nm <sup>3</sup> /h] |
|---------------------------|--|
| Reinigen                  | 6.000 m <sup>3</sup> /h                |
| Ionisierung               |  |
| Beflammung                | 19.000 m <sup>3</sup> /h               |
| Primer (grundieren)       | 64.000 m <sup>3</sup> /h               |
| Primer (abdunsten)        | 1.000 m <sup>3</sup> /h                |
| Basislack (farbtongebend) | 124.000 m <sup>3</sup> /h              |
| Basislack (abdunsten)     | 1.000 m <sup>3</sup> /h                |
| Klarlack (decklackieren)  | 84.000 m <sup>3</sup> /h               |
| Klarlack (abdunsten)      | 1.000 m <sup>3</sup> /h                |
| Trockner                  | 2.550 m <sup>3</sup> /h                |

Tabelle 2d: Emissionswerte - gefasste Emissionen (Reingas nach Abgasreinigung)

| Parameter       | Massenstrom in [kg/h] | Massenstrom in [kg/a] | Tätigkeiten bzw. Anlagenbereiche, in denen gefasste Emissionen auftreten |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|--|
| VOC             |                       |                       |  |
| Gesamt-C        | 0,02                  | 128                   |  |
| Staub           | 0,01                  | 64                    |  |
| CO              | 0,22                  | 1.408                 |  |
| NO <sub>x</sub> | 0,57                  | 3.648                 |  |

Tabelle 2e: Emissionswerte - diffuse Emissionen und Ableitung über Schornstein ohne Abgasreinigung

| Parameter | geschätzte oder berechnete Emissionsmengen | Tätigkeiten bzw. Anlagenbereiche, in denen gefasste Emissionen auftreten                             |
|-----------|--|--|
| VOC       | 49,37kg/h berechnet                        | Reinigen<br>Primerkabine grundieren<br>Basislackkabine farbtongebend<br>Klarlackkabine decklackieren |
| Staub     | 0,9 kg/h gemessen                          |  |

Tabelle 3: Wasserseitige Emissionen

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| Herkunft der Daten     | Projektdatenblätter |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000                |

Tabelle 3a: Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs

| Maßnahme                | Prozessschritt   | Erreichter Wirkungsgrad |
|-------------------------|--|-------------------------|
| Geschlossener Kreislauf | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> farbtongebend<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren | 90 %                    |

Tabelle 3b: Angewandte Maßnahmen zur Abwasserbehandlung

| Maßnahme<br>(s. beigefügte Liste mit Beispielen) | Prozessschritt   | Erreichter Wirkungsgrad* |
|--|--|--------------------------|
| Flotation, Sedimentation                         | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> farbtongebend<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren | 100 %                    |

Tabelle 4: Abfälle

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Herkunft der Daten     | Abfallwirtschaftsbilanz |
| Bezugsjahr der Angaben | 2000                    |

Tabelle 4a: Angewandte Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung

| Maßnahme   | Prozessschritt   | Erreichter Wirkungsgrad |
|--|--|-------------------------|
| Mehrwegverpackung                                    | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> farbtongebend<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren | 49 %                    |
| Destillation der verschmutzten Reinigungslösemitteln | <input checked="" type="checkbox"/> grundieren<br><input checked="" type="checkbox"/> farbtongebend<br><input checked="" type="checkbox"/> decklackieren | 94 %                    |

Tabelle 4b: *Abfallmengen und Verwertungs- bzw. Beseitigungsverfahren*

| <b>Abfallbezeichnung</b>  | <b>Abfallschlüssel-Nr.<br/>(EAK)</b> | <b>Abfallmenge<sup>2</sup></b> | <b>Einheit</b> | <b>Verwertungs- oder<br/>Beseitigungs-<br/>Verfahren</b> | <b>Charakteristische<br/>Eigenschaften<sup>3)</sup> /<br/>Anmerkungen</b> | <b>Abfallart</b>                          |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|----------------|--|---|---|
| Lackschlamm               | 80108                                | 170                            | t/a            | Trocknung  | pastös, stichfest,<br>40 % Wasseranteil                                   | nicht überwachungs-<br>bedürftige Abfälle |
| Ausgehärtete<br>Lackreste | 80102                                | 2,1                            | t/a            | Deponie  | fest,   | nicht überwachungs-<br>bedürftige Abfälle |
| Koagulierwasser           | 80108                                | 32                             | t/a            | Aufbereitung   | flüssig   | nicht überwachungs-<br>bedürftige Abfälle |
| Spülverdünnung            | 70104                                | 17,8                           | t/a            | Rücknahme durch<br>Hersteller                            | flüssig   | nicht überwachungs-<br>bedürftige Abfälle |

**Tabelle 5: Verbrauch an Einsatzstoffen und Energie**

| Prozessschritt: | Einsatzstoffe  | Verbrauchsmenge <sup>1)</sup> | Einheit |
|-----------------|----------------|-------------------------------|---------|
| Lackieranlage   | Erdgas         | 57.336 026                    | MJ/a    |
|                 | Propangas      | 891.018                       | MJ/a    |
|                 | Elektroenergie | 4.967.081                     | KWh     |
|                 | Wasser         | 14.860                        | m³      |

| Prozess/Anlage | Stoff/Energie                          | Verbrauchsmenge<br>1) | Einheit | Charakteristische<br>Eigenschaften | Anmerkungen  |
|----------------|--|-----------------------|---------|------------------------------------|--|
| Energieeinsatz | Erdgas                                 | 680.000               | Nm³ / a | 10 kWh/Nm³                         | Beheizung der thermischen                                  |
|                | TNV ½                                  | 720.000               | Nm³ / a | 10 kWh/Nm³                         | Nachverbrennung 1 / Ofen 1                                 |
|                | Elektroenergie                         | 2.250.000             | KWh/a   | 9 kWh/kg                           | Nachverbrennung 2 / Ofen 2                                 |
|                | Gesamtprozess                          | 1.400.000             | kWh/a   |                                    | Lackierung   |
|                | Lösemittel aus<br>Beschichtungsstoffen | 285.000               | kg / a  |                                    | Verzinkung   |
|                | Lackieren                              |                       |         |                                    | Verbrennung zur Abgasreinigung und<br>energetische Nutzung |

<sup>1)</sup> absolute Menge (z.B. jährliche Gesamtmenge [t/a]) oder spezifische Menge (z.B. pro lackiertes Produkt)

---

**Tabelle 6: Angaben über Kosten (soweit bekannt)**

|  |   |
|--|---|
| Techniken und Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minderung von Umweltbelastungen                                  | 1. TNV ½<br>2. Verdampfer ½<br>3. Abwasserbehandlungsanlagen<br>Entfettung / Verzinkung |
| Investitionen:   | 1. Je ca. 0,5 Mio. EUR<br>2. Je ca. 205.000 EUR<br>3. Je ca. 205.000 EUR                |
| Betriebskosten:<br><br>(bitte Einsparungen ebenfalls aufführen sowie der Anteil an den Gesamtbetriebskosten) |   |
| Bezugsgrößen<br><br>- Bezugsjahr<br><br>- Anlagenkapazität   | 2000<br><br>Beschichtung von ca. 15 Mio. m <sup>2</sup>                                 |