

16
09

> Erfassung diffuser VOC-Emissionen

*Stand der Technik bei ausgewählten Prozessen.
Vollzugshilfe zur Beurteilung des Erfassungsgrades*



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU



Cercl'Air

16
—
09

> Erfassung diffuser VOC-Emissionen

*Stand der Technik bei ausgewählten Prozessen.
Vollzugshilfe zur Beurteilung des Erfassungsgrades*

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht Vollzugshilfen (oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u. ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
CercI'Air, Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute, Bern

Autor/Autorin

Dipl. Ing. Heino Schulze, Wessel-Umwelttechnik GmbH, Hamburg
Dipl. Ing. Britta Wrage, Wessel-Umwelttechnik GmbH, Hamburg

Begleitgruppe

Bernd Weinert (Kanton St. Gallen)
Dr. Jakob Marti (Kanton Glarus)
René Zosso (Kanton Luzern)
Ueli Mani (Kanton Bern)
Jürg Dauwalder (BAFU)
Amira Ellenberger (BAFU)

Zitiervorschlag

Schulze Heino, Wrage Britta 2009: Erfassung diffuser VOC-Emissionen. Stand der Technik bei ausgewählten Prozessen. Vollzugshilfe zur Beurteilung des Erfassungsgrades. Umwelt-Vollzug Nr. 0916. Bundesamt für Umwelt, Bern: 52 S.

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Titelfoto

© Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

Download PDF

www.umwelt-schweiz.ch/uv-0916-d

(Eine gedruckte Fassung ist nicht erhältlich.)

Code: UV-0916-D

Diese Publikation ist auch in französischer (UV-0916-F) und in italienischer Sprache (UV-0916-I, Kurzfassung) erhältlich.

© BAFU 2009

> Inhalt

Abstracts	5	4	Lackieren, Lackierräume	24		
Vorwort	7	4.1	Lackieren: Zusammenfassung	24		
<hr/>		4.2	Lackieren: Prozessbeschreibung und Stand der Technik	25		
1	Illustrationstiefdruck	8	4.2.1	Farbzufuhr, Farbaufbereitung	26	
1.1	Zusammenfassung	8	4.2.2	Lackierung	26	
1.2	Prozessbeschreibung und Stand der Technik	9	4.2.3	Trocknung	33	
1.2.1	Farbzufuhr, Farbaufbereitung	9	4.2.4	Beste verfügbare Techniken (BVT)	35	
1.2.2	Druckprozess	10	4.3	Lackierräume: Zusammenfassung	38	
1.2.3	Zwischenreinigung	10	4.4	Lackierräume: Beschreibung und Stand der Technik	38	
1.2.4	Farbtrocknung	11	<hr/>			
1.2.5	Druckformherstellung	11	5	Kaschieren und Laminieren	40	
1.2.6	Grund- und Teilereinigung	11	5.1	Zusammenfassung	40	
1.2.7	Weiterverarbeitung	11	5.2	Prozessbeschreibung und Stand der Technik	40	
<hr/>		5.2.1	Trockenkaschierverfahren	41		
2	Verpackungsdruck	12	5.2.2	Nasskaschierverfahren	42	
2.1	Zusammenfassung	12	5.2.3	Klebstoffzufuhr und -aufbereitung	43	
2.2	Prozessbeschreibung und Stand der Technik	13	5.2.4	Kaschier-/Laminierprozess	43	
2.2.1	Farbzufuhr, Farbaufbereitung	14	5.2.5	Beste verfügbare Techniken (BVT)	44	
2.2.2	Druckprozess	14	<hr/>			
2.2.3	Zwischenreinigung	15	6	Imprägnierung von Papieren	45	
2.2.4	Farbtrocknung	16	6.1	Zusammenfassung	45	
2.2.5	Inline-Weiterverarbeitung	16	6.2	Prozessbeschreibung und Stand der Technik	45	
2.2.6	Druckformherstellung	17	6.2.1	Harzdosierung und -mischung	46	
2.2.7	Teile-Waschanlage	17	6.2.2	Imprägnierung	47	
2.2.8	Exkurs: Stand der Technik bei der Flexoklischee-Herstellung	18	6.2.3	Trocknung	48	
<hr/>		<hr/>		7	Mischen und Manipulieren	49
3	Herstellung von Klebebändern	19	<hr/>			
3.1	Zusammenfassung	19	8	Waschen von Gebinden und Behältern	50	
3.2	Prozessbeschreibung und Stand der Technik	19	<hr/>			
3.2.1	Klebstoffbeschichtung	20	9	Ergänzende Kriterien zur Beurteilung von Abluftfassungs- und Abluftreinigungsanlagen	51	
3.2.2	Trocknung	21	<hr/>			
3.2.3	Klebstoffzufuhr und -aufbereitung	22				
3.2.4	Klebstoffauftrag und -trocknung	22				
3.2.5	Beste verfügbare Techniken BVT (Best available technology BAT)	23				

Verzeichnisse	52
Abkürzungen	52
Literatur	52

> Abstracts

In industrial production processes using products which contain VOCs, it is essential, if at all possible, to trap the VOC emissions in their entirety and to treat them in an appropriate purification plant. The present publication indicates, for a selection of eight production processes, how various VOC emissions must be trapped and purified according to the state of the art. It also contains criteria for evaluating whether waste air trapping systems and purification plants can be maintained in compliance with the “best practice” concept.

Bei industriellen Produktionsprozessen mit Einsatz VOC-haltiger Produkte ist es wichtig, die VOC-Emissionen zu fassen und der Abluftreinigungsanlage zuzuführen. Die vorliegende Publikation legt für acht ausgewählte Produktionsprozesse fest, wie diffuse VOC-Emissionen nach dem Stand der Technik erfasst und gereinigt werden müssen. Des Weiteren enthält sie Kriterien zur Beurteilung, ob Ablufterfassungs- und Abluftreinigungsanlagen nach «Best Practice» unterhalten werden.

Dans le cas de procédés de production industriels mettant en œuvre des produits contenant des COV, il est important que les émissions de COV soient captées de manière aussi complète que possible et dirigées vers l'installation d'épuration des effluents gazeux. La présente publication définit, pour huit procédés de production choisis, les normes techniques selon lesquelles doivent s'effectuer le captage et l'épuration des émissions de COV. Elle comprend en outre des critères pour évaluer si les installations de captage et d'épuration des effluents gazeux sont entretenues selon le concept des meilleures pratiques (best practice).

Nei processi industriali che utilizzano prodotti contenenti COV è importante captare, se possibile interamente, le emissioni di COV e convogliarle all'impianto di depurazione dell'aria di scarico. La presente pubblicazione definisce come captare e depurare le emissioni diffuse di COV secondo lo stato della tecnica di otto processi di produzione selezionati. Sono inoltre riportati i criteri per valutare se la manutenzione degli impianti di captazione e di depurazione dell'aria di scarico avviene secondo il concetto di «best practice».

Keywords:

Incentive tax on the volatile organic compounds (VOCs),
Diffuse emissions,
Waste air trapping system,
Available technology,
Industrial processes

Stichwörter:

VOC-Lenkungsabgabe,
Diffuse Emissionen,
Ablufterfassung,
Verfügbare Technik,
Industrieprozesse

Mots-clés:

Taxe d'incitation sur les composés organiques volatiles (COV),
Emissions diffuses,
Captage des effluents gazeux,
Technique disponible,
Procédés industriels

Parole chiave:

tassa di incentivazione sui COV,
emissioni diffuse,
captazione dell'aria di scarico,
tecnica disponibile,
processi industriali

> Vorwort

Die anthropogenen Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) bilden einen wesentlichen Anteil der Luftbelastung. Sie sind unter anderem Vorläuferstoffe für die Bildung von bodennahem Ozon und Feinstaub, welche für die Umwelt und die menschliche Gesundheit schädlich sind (z. B. Belastung der Atemwege).

VOC sind in zahlreichen Alltagsprodukten enthalten und werden in der Industrie meist in Form von Lösungsmitteln eingesetzt. Um die VOC-Emissionen zu reduzieren, wird seit 1.1.2000 eine Lenkungsabgabe auf VOC erhoben.

Die Industrie hat in den letzten Jahren bei der Minderung von VOC-Emissionen grosse Fortschritte erzielt. Nebst der Umstellung auf VOC-arme bzw. -freie Produkte wurden Verfahrensschritte optimiert und vermehrt Abluftreinigungsanlagen eingesetzt. Dennoch werden heute viele VOC-Emissionen an der Quelle noch ungenügend erfasst und gelangen als sogenannte diffuse Emissionen ungereinigt in die Umwelt statt in eine Abluftreinigungsanlage. Die Herausforderung besteht also darin, die VOC-Emissionen besser zu erfassen und sie möglichst nicht in die Umwelt gelangen zu lassen.

Unternehmen können sich unter anderem dadurch von der VOC-Lenkungsabgabe befreien lassen, dass sie bestimmte Voraussetzungen nach Artikel 9 der VOC-Verordnung (VOCV) einhalten. Eine dieser Voraussetzungen ist, dass die VOC-Emissionen möglichst nahe am Ort ihrer Entstehung und möglichst vollständig zu erfassen und abzuleiten sind. Dies ergibt sich aus der Anwendung einer Vorschrift der Luftreinhalteverordnung (Art. 6 LRV), auf welche die VOCV verweist. Die Praxis zeigt, dass noch Informationsbedarf dazu besteht, wann diese Voraussetzungen erfüllt sind. Dieser Bedarf kann mit der vorliegenden Publikation zu einem grossen Teil gedeckt werden.

Sie legt den Stand der Technik zur Erfassung diffuser VOC-Emissionen bei ausgewählten Produktionsprozessen fest. Des Weiteren enthält sie ein Set von Kriterien zur Beurteilung von Ablufterfassungs- und Abluftreinigungsanlagen. Die Publikation dient als Hilfsmittel bei der Beurteilung des Standes der Technik und leistet somit einen Beitrag zu einem einheitlicheren Vollzug der VOCV. Sie richtet sich an die Vollzugsbehörden.

Der Stand der Technik ist permanent im Wandel. Die vorliegende Publikation stellt daher eine Momentaufnahme dar und muss der technischen Entwicklung laufend angepasst werden.

Gérard Poffet
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Roberto Mona
Präsident der Schweizerischen Gesellschaft
der Lufthygiene-Fachleute (Cercl'Air)

1 > Illustrationstiefdruck

1.1 Zusammenfassung

Der aktuelle Stand der Technik erfordert die Einhaltung folgender Merkmale je Verfahrensschritt:

Farbzufuhr, Farbaufbereitung

- ✓ Zufuhr von Lösungsmitteln durch automatische Lösungsmittelzufuhr über ein verrohrtes System

Druckprozess

- ✓ Kapselungen von Papierbahn und Druckwerken
- ✓ Hallenabsaugung, ausreichende Zuluftmenge im Bereich der Druckmaschinen (Einhaltung MAK-Werte)
- ✓ Anschluss der Andruckmaschinen an die Abluftreinigungsanlage
- ✓ Zylinder- oder Presseur-Reinigungen erfolgen weitgehend in der Maschine oder in einer speziellen Wascheinrichtung.
- ✓ Geschlossene Farbwannen und sonstige Behältnisse
- ✓ Die Grundreinigung von Zylindern muss in der Maschine oder in einer speziellen Wascheinrichtung erfolgen, Nachreinigungen von Hand sind teilweise notwendig.
- ✓ Teile und Spritzschutze müssen in einer separaten Teilereinigungsanlage gereinigt werden.

Zwischenreinigung

- ✓ Bei Reinigungsarbeiten mit Lösungsmitteln an einem Druckwerk ist die maximale Absaugleistung am jeweiligen Druckwerk zu erbringen.

Farbtrocknung

- ✓ Kapselung und Absaugung der Trockenkanäle

Grund- & Teilereinigung

- ✓ Reinigung der Druckzylinder in gekapselten Zylinderwaschanlagen
- ✓ Bei Reinigungsarbeiten mit Lösungsmitteln an den Maschinen ist die maximale Absaugleistung am Druckwerk bzw. in der Halle zu erbringen.

Weiterverarbeitung

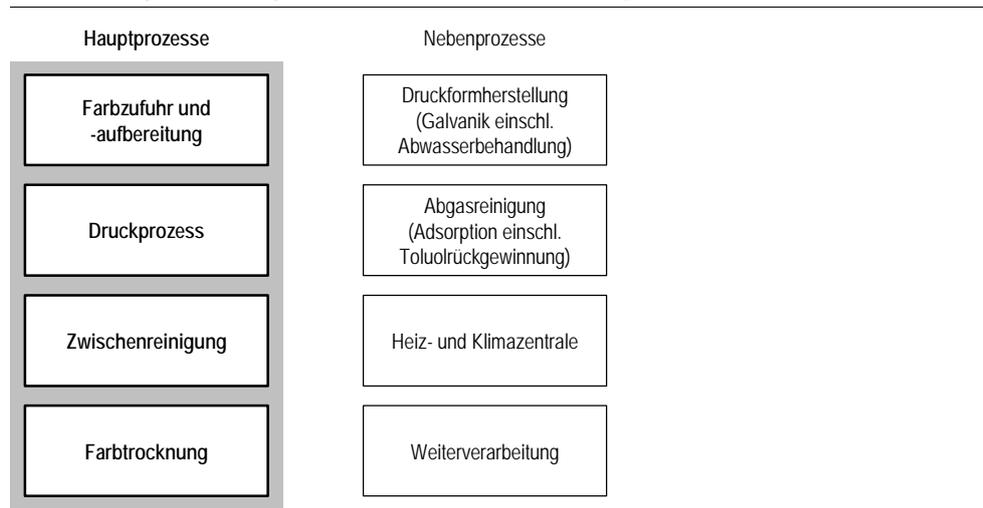
- ✓ Hallenabsaugung in den Weiterverarbeitungsbereichen
-

1.2 Prozessbeschreibung und Stand der Technik

Im Illustrationstiefdruck werden Produkte, wie Kataloge, Zeitschriften und Prospekte, in hohen Auflagen hergestellt. Dabei kommen derzeit Rollenrotations-Tiefdruckmaschinen mit einer Druckbreite bis zu 4320 mm zum Einsatz.

Die verwendeten Druckfarben und Verschnitte enthalten als Lösungsmittel ausschliesslich Toluol. Zur Einstellung der Viskosität wird zusätzlich Toluol benötigt. Auch als Reinigungsmittel und in Einzelfällen zur Verdünnung der Rollenkleber wird Toluol in geringen Mengen verwendet. Über Rückgewinnungsanlagen wird das im Druckprozess eingesetzte Toluol im Kreislauf geführt.¹

Abb. 1 > Haupt- und Nebenprozesse in Illustrationstiefdruck-Anlagen



Quelle: Umweltbundesamt, 2003

1.2.1 Farbzufuhr, Farbaufbereitung

Die gewünschte Druckviskosität der Farbe wird durch Lösungsmittel aus dem betriebsinternen Kreislauf eingestellt. Die Viskositätseinstellung erfolgt direkt an den Maschinen, so dass die Verdunstungsverluste von der Hallen- bzw. Kapselabsaugung des Drucksaaes erfasst und den Adsorptionsanlagen der Abluftreinigung zugeführt werden.

Farbzufuhr, Farbaufbereitung

> Zufuhr von Lösungsmitteln durch automatische Lösungsmittelzufuhr über ein verrohrtes System

¹ Umweltbundesamt, 2003

1.2.2 Druckprozess

Aufgrund des hohen Dampfdruckes von Toluol verdunstet ein Teil dieses Lösungsmittels bereits unmittelbar im Druckprozess. Die Toluolverdunstungsverluste werden von der Hallen- bzw. Kapselabsaugung des Drucksaales erfasst und den Adsorptionsanlagen der Abluftreinigung zugeführt.

An Andruckmaschinen werden Toluolemissionen allerdings in einigen Betrieben nicht von der Abluftreinigung erfasst, da diese Betriebsteile nicht an die Absauganlagen angeschlossen sind. Die Mengenrelevanz des Andrucks ist aufgrund der heutigen digitalen Proofmöglichkeiten allerdings stark rückläufig.²

- > Kapselungen von Papierbahn und Druckwerken
- > Hallenabsaugung, ausreichende Zuluftmenge im Bereich der Druckmaschinen (Einhaltung MAK-Werte)³
- > Anschluss der Andruckmaschinen an die Abluftreinigungsanlage
- > Zylinder- oder Presseur-Reinigungen erfolgen weitgehend in der Maschine oder in einer speziellen Wascheinrichtung.
- > Geschlossene Farbwannen und sonstige Behältnisse
- > Die Grundreinigung von Zylindern muss in der Maschine oder in einer speziellen Wascheinrichtung erfolgen, Nachreinigungen von Hand sind teilweise notwendig.
- > Teile und Spritzschutze müssen in einer separaten Teilereinigungsanlage gereinigt werden.

Druckprozess

1.2.3 Zwischenreinigung

Zwischenreinigungen zur Sicherung der Druckqualität während der Auflagenproduktion werden überwiegend mit Putzlappen unter Verwendung von Toluol vorgenommen. Während dieser Arbeiten bleiben die Absauganlagen meist in Betrieb, so dass die Verdunstungsverluste den Adsorptionsanlagen zugeführt werden. Verschleppungen von Toluol in nicht abgesaugte Bereiche, die dort zu diffusen Emissionen führen, erfolgen insbesondere über die Reinigungsarbeiten.

- > Bei Reinigungsarbeiten mit Lösungsmitteln an einem Druckwerk ist die maximale Absaugleistung am jeweiligen Druckwerk zu erbringen.

Zwischenreinigung

² Umweltbundesamt, 2003

³ BGIA, 2007

1.2.4 **Farbtrocknung**

Die Trocknung der Farbe erfolgt durch Verdunstung des Toluolgehaltes. Diese Verdunstung erfolgt überwiegend unmittelbar nach dem Farbauftrag innerhalb des Heizluftstroms in den Farbwerkstrocknern bzw. nach dem letzten Farbwerk im Trockenkanal.⁴

Farbtrocknung

> Kapselung und Absaugung der Trockenkanäle

1.2.5 **Druckformherstellung**

Bei der Herstellung der Tiefdruckzylinder für den Illustrationstiefdruck handelt es sich um reine Metallbearbeitungsprozesse (Schleifen, Drehen, Galvanisieren (Aufkupfern & Verchromen), Entfetten) mit den für diese Prozesse typischen Umweltwirkungen. Die eigentliche Bebilderung des Druckzylinders durch elektronische Gravur ist dagegen weitgehend frei von Umweltwirkungen.

Druckformherstellung

Diese Prozesse finden in vollständig separaten Anlagenteilen bzw. bei externen Dienstleistern statt.

1.2.6 **Grund- und Teilereinigung**

Die Reinigung der Druckzylinder erfolgt in speziellen Zylinderwaschanlagen, deren Abluft ebenfalls abgesaugt und der Abluftreinigung zugeführt wird.

Grund- und Teilereinigung

Periodisch werden Grundreinigungsarbeiten an den Maschinen im Rahmen von grundlegenden Wartungs- oder Überholungsmassnahmen durchgeführt. Diese Reinigungsarbeiten werden vielfach mithilfe von Toluol oder anderen VOC-haltigen Reinigungsmitteln durchgeführt. Hierbei können relevante diffuse VOC-Emissionen auftreten.

> Reinigung der Druckzylinder in gekapselten Zylinderwaschanlagen
> Bei Reinigungsarbeiten mit Lösungsmitteln an den Maschinen ist die maximale Absaugleistung am Druckwerk bzw. in der Halle zu erbringen.

1.2.7 **Weiterverarbeitung**

Die Druckprodukte tragen in der Auslage der Druckanlagen noch relevante Toluolgehalte (ca. 300 mg/kg Druckprodukt), die im Zuge der Weiterverarbeitung, der Distribution oder der Produktnutzung diffus emittieren.

Weiterverarbeitung

> Hallenabsaugung in den Weiterverarbeitungsbereichen

⁴ Umweltbundesamt, 2003

2 > Verpackungsdruck

Beim Verpackungsdruck werden hauptsächlich die Verfahren Tiefdruck und Flexo-
druck verwendet.

2.1 Zusammenfassung

Der aktuelle Stand der Technik erfordert die Einhaltung folgender Merkmale je Ver-
fahrensschritt:

Farbzufuhr, Farbaufbereitung

- ✓ *Einsatz von automatisierten Farbmischanlagen*
- ✓ *Zufuhr von Verdünnern/Verzögerern durch automatische Lösungsmittelzufuhr über ein verrohrtes System*

Druckprozess

- ✓ *Neuere Anlagen: gekapselter Farbwerks- und Zwischentrocknerbereich sowie Absaugung im Unterdruck*
- ✓ *Drucktechnik: geschlossene Kammerrakeln*
- ✓ *Emissionserfassung am Farbwerk: Bodenluft- oder Gestellabsaugungen*
- ✓ *Sonstiges: geschlossene Vorlagebehälter*

Zwischenreinigung

- ✓ *Automatisierte Waschanlagen in den Farbwerken*

Farbtrocknung

- ✓ *Emissionserfassung: weitgehend geschlossene, gekapselte Bahntrockner*
- ✓ *Bei Neuanlagen: konzentrationsgesteuerte Umluftführung, indirekt beheizter Trockner*

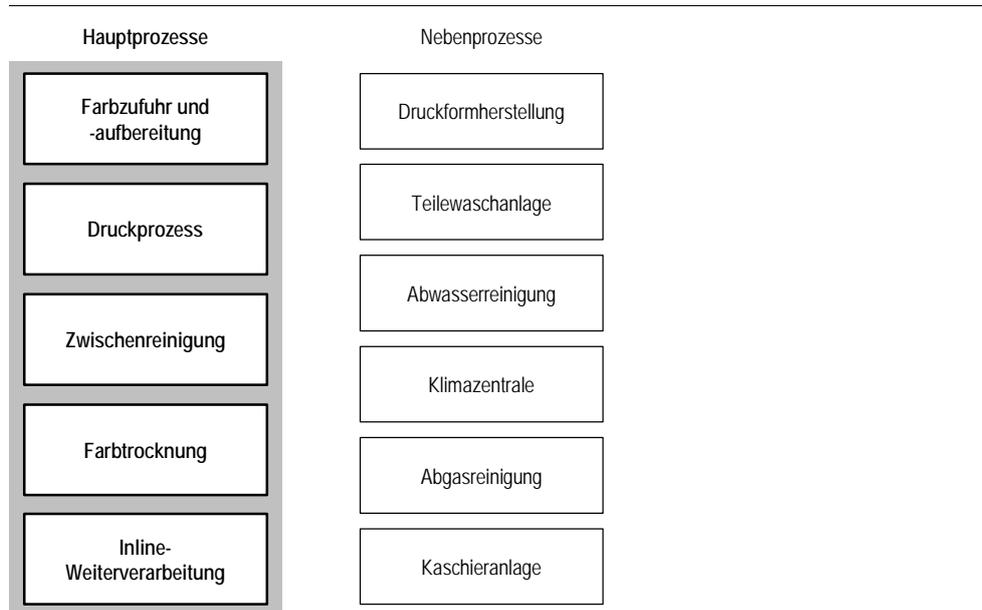
Teilereinigung

- ✓ *Gekapselte Teilwaschanlagen*
 - ✓ *Teilwaschanlage ist so gesteuert, dass beim Öffnen der Zugangsklappe zunächst die verbleibenden Lösungsmitteldämpfe aus dem Waschraum abgezogen werden, so dass dem Bediener kein Lösungsmitteldampf entgegenschlägt.*
-

2.2 Prozessbeschreibung und Stand der Technik

Der Verpackungsdruck mit den Druckverfahren Flexodruck und Tiefdruck lässt sich in folgende Haupt- und Nebenprozesse unterteilen:

Abb. 2 > Haupt- und Nebenprozesse in Verpackungsdruckanlagen



Quelle: Umweltbundesamt, 2003

2.2.1 Farbzufuhr, Farbaufbereitung

2.2.1.1 Viskositätseinstellung:

Farbzufuhr, Farbaufbereitung

- a) Im Farblager durch Verdünnierzugabe nach Rezeptur im Rahmen einer Farbmischanlage
- b) In den Vorratsbehältern an der Maschine durch manuelles Zudosieren der Verdünnern
- c) Direkt in den Farbkästen der Druckmaschinen durch Dosiereinrichtungen, die automatisch Verdünnern zudosieren

Insbesondere bei der Variante b), aber aufgrund der freien Oberflächen in den Druckwerken und den Vorlagebehältern auch bei Variante c), treten diffuse Emissionen in die Hallenluft. Die Höhe dieser Emissionen hängt stark von der Auftragsstruktur, den Farbeigenschaften sowie der Sorgfalt des Personals ab.⁵

2.2.1.2 Einsatz von Mischanlagen

Mittels einer rezepturgesteuerten Mischanlage werden die Farben aus festverrohrten Tanks (bzw. Fässern oder Mehrweg-Farbcontainern) für einen entsprechenden Grundfarbenfächer (meist 8 oder 12 Farben) zusammengeführt und angemischt. Es entfällt das manuelle Anmischen mit den entsprechenden VOC-Verlusten in die Raumluft.

- > Einsatz von automatisierten Farbmischanlagen
- > Zufuhr von Verdünnern/Verzögerern durch automatische Lösungsmittelzufuhr über ein verrohrtes System

2.2.2 Druckprozess

Druckprozess

Beim Druckvorgang selbst lassen sich VOC-Emissionen bei heutigen Druckanlagen nicht vermeiden. Die eingesetzten Lösungsmittel verdunsten sehr rasch (hohe Dampfdruck-Kennzahlen), und die Farbwerke können aus technischen Gründen (Zugänglichkeit) nicht voll gekapselt werden. Durch die Umwälzung der Farben in den Farbkästen erfolgt eine zusätzliche Förderung der Emissionen. Je nach Kapselung und Luftführung entweichen 10 bis 15 % der in den Druckprozess eingesetzten VOC diffus. Zusätzliche Emissionen treten durch ungenügend verschlossene Farbvorlagebehälter auf.

Neuere Anlagenkonzepte: Der gesamte Farbwerks- und Zwischentrocknerbereich ist gekapselt und wird im Unterdruck abgesaugt. Diese Ausführungen sind speziell auf eine vollständige Emissionserfassung ausgelegt und gehören noch nicht zur Standardausrüstung. Derartige Anlagenkonzepte lassen sich sinnvoll nur bei Neuanlagen realisieren, eine Nachrüstung ist mit vertretbarem Aufwand nicht machbar.⁶

⁵ Umweltbundesamt, 2003

⁶ Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2007

Abb. 3 > Vollständig gekapseltes Flexodruckwerk (Sicherheitsglas zur Sichtkontrolle)



Quelle: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2007

- > Neuere Anlagen: gekapselter Farbwerks- und Zwischentrocknerbereich sowie Absaugung im Unterdruck
- > Drucktechnik: geschlossene Kammerrakeln
- > Emissionserfassung am Farbwerk: Bodenluft- oder Gestellabsaugungen
- > Sonstiges: geschlossene Vorlagebehälter

2.2.3 Zwischenreinigung

Bei auftretenden Druckproblemen im An- oder Fortdruck sind Zwischenreinigungen an den farbführenden Teilen der Druckwerke notwendig. Diese werden überwiegend manuell unter Verwendung der in den Druckfarben enthaltenen Lösungsmittel und von Putztüchern durchgeführt.

Bei einem Teil der neueren Druckmaschinen sind automatisierte Waschanlagen in die Farbwerke integriert, die mithilfe von rotierenden Bürsten und eingespritzten Lösungsmitteln eine Abreinigung der Druckwalzen ermöglichen.

Bei der Zwischenreinigung wird die Abluft der Anlagen teilweise im Bypass an der Abgasreinigung vorbeigeführt, da die inkonstanten Lösungsmittelbeladungen zu Problemen in der Abgasreinigung führen können.⁷

Zwischenreinigung

⁷ Umweltbundesamt, 2003

2.2.4 Farbtrocknung

Eine deutlich verbesserte Energieeffizienz der Farbtrocknung lässt sich durch die beiden folgenden Massnahmen erzielen:⁸

Farbtrocknung

2.2.4.1 Installation einer konzentrationsgesteuerten Umluftführung

Konzentrationsgesteuert wird hierbei ein Teilstrom der Trocknerfortluft erneut als Zuluft zu den Trocknerdüsen verwendet. Die in der Fortluft enthaltene Wärmeenergie kann hierdurch erneut genutzt werden. Als weiterer Effekt erfolgt eine Erhöhung der Lösungsmittelbeladung der Trocknerfortluft; somit ergibt sich ein geringeres Rohgasvolumen bei gleichzeitig höherer Beladung vor einer anschliessenden Abgasreinigung.

2.2.4.2 Einsatz indirekt beheizter Trockner

Der Einsatz indirekt beheizter Trockner fördert die vorgenannte Massnahme deutlich, da aufgrund des Fehlens einer offenen Zündflamme eine Beladung (Aufkonzentration) der Trocknerluft bis auf 50 % UEG (Untere Explosionsgrenze), statt auf nur 25 % UEG, zulässig ist. Hierdurch wird eine weitere deutliche Reduzierung der aufzuheizenden und abzuführenden Luftmengen erreicht. Die Wärmetauscherverluste der indirekten Beheizung werden hierdurch im Normalfall deutlich überkompensiert.

Diese Massnahmen erfordern bei bestehenden Anlagen einen beträchtlichen Installationsaufwand. Der konkrete Aufwand und die Frage einer möglichen betriebswirtschaftlichen Amortisation werden hier von den baulichen Gegebenheiten und der jeweiligen Konfiguration der Druckmaschinentrocknung dominiert.

Bei Neuanlagen ist in der Regel eine derartige Abluftoptimierung eingebaut.

- > Emissionserfassung: weitgehend geschlossene, gekapselte Bahntrockner
- > Bei Neuanlagen: konzentrationsgesteuerte Umluftführung, indirekt beheizter Trockner

2.2.5 Inline-Weiterverarbeitung

Bei dem überwiegenden Anteil von Verpackungsdruck-Anlagen erfolgt keine Inline-Weiterverarbeitung. Die Druckbahnen werden dort direkt nach der Druckmaschine aufgerollt und so als Vorprodukte an die betriebsinterne oder eine betriebsexterne Verpackungsherstellung abgegeben.

Inline-Weiterverarbeitung

In einigen Fällen werden die Druckbahnen direkt hinter der Druckmaschine mit gleicher Bahngeschwindigkeit («inline») weiterbearbeitet. Es handelt sich dabei meist um Prozesse mit geringer Umweltwirkung wie Falzen oder Quer- und Längsschneiden.

Es kommen dort teilweise aber auch Klebeprozesse wie der Auftrag von Haftklebern oder das Zusammenführen und Verkleben (Kaschieren, Laminieren) mit einer weiteren Packmittelbahn zum Einsatz.

Für die Beschreibung dieser Prozesse wird auf die entsprechenden Seiten verwiesen.

⁸ Umweltbundesamt, 2003

2.2.6 Druckformherstellung

2.2.6.1 Flexodruck

Druckformherstellung

Diese Druckformherstellung erfolgt heute nur noch zu einem kleineren Teil in den Druckbetrieben selbst. Überwiegend beziehen die Betriebe diese Druckformen von spezialisierten Dienstleistern. Aus diesem Grund wird die Flexoklischee-Herstellung hier nicht als üblicher Anlagenbestandteil (Nebenanlage) einer Flexodruck-Anlage behandelt.⁹

2.2.6.2 Tiefdruck-Zylinder

Die Gravur und Beschichtung von Tiefdruckzylindern für den Verpackungsdruck erfolgt heute ausschliesslich in spezialisierten Betrieben und nicht in den Druckereien selbst.

2.2.7 Teile-Waschanlage

Teile-Waschanlage

Bei Farb- und Druckformwechsellern werden die wesentlichen farbführenden Teile der Druckwerke komplett gereinigt. Insbesondere sind dies die Farbwannen, die Raster-/ Tauchwalzen bzw. die Kammerrakeln bei Flexodruck sowie die Druckformzylinder selbst. Diese Maschinenteile werden aus der Maschine genommen und in speziellen Waschräumen («Waschküchen») gereinigt.

Durch den Einsatz von gekapselten Waschanlagen zur Teilereinigung werden diffuse Emissionen verringert und eine erhöhte Effizienz beim Waschvorgang erzielt, so dass der Reinigungsmittelverbrauch und die daraus resultierenden VOC-Emissionen vermindert werden. Optimal gekapselte Waschanlagen sind mit einer Lösungsmittelabschottung ausgestattet, so dass diffuse Emissionen beim Öffnen der Anlage vermindert werden.

- > Gekapselte Teilwaschanlagen
- > Teilwaschanlage ist so gesteuert, dass beim Öffnen der Zugangsklappe zunächst die verbleibenden Lösungsmitteldämpfe aus dem Waschraum abgezogen werden, so dass dem Bediener kein Lösungsmitteldampf entgegenschlägt.

⁹ Umweltbundesamt, 2003

2.2.8 Exkurs: Stand der Technik bei der Flexoklischee-Herstellung¹⁰

Als Auswaschlösungen bei der Druckform-Herstellung werden heute praktisch ausschliesslich A II- bzw. A III-Lösungsmittelgemische eingesetzt. Dabei werden rund 10 l Auswaschlösung pro Quadratmeter Druckform benötigt. Bei den heute eingesetzten gekapselten Auswaschanlagen verdunstet etwa 1 % dieser Einsatzmenge in die Atmosphäre.

Für eine typische grössere Auswaschanlage mit einem Durchsatz von 50 m²/d ergibt sich bei 220 Produktionstagen ein Durchsatz an Auswaschlösung von insgesamt 110 t/a sowie eine Jahresemissionsmenge von ungefähr 1,1 t VOC/a.

Vorschlag für Beste verfügbare Techniken (BVT) für Auswaschanlagen:

- > <0,1 l VOC-Emission/qm Klischee
- > Keine Verwendung halogenerer Lösungsmittel

Flexoklischee-Herstellung

¹⁰ Umweltbundesamt, 2003

3 > Herstellung von Klebebändern

3.1 Zusammenfassung

Der aktuelle Stand der Technik erfordert die Einhaltung folgender Merkmale je Verfahrensschritt:

Klebstoffzufuhr und -aufbereitung

- ✓ *Einsatz von automatisierten Mischanlagen*
- ✓ *Zufuhr von Verdünnern/Verzögerern durch automatische Lösungsmittelzufuhr über ein verrohrtes System*

Klebstoffauftrag und -trocknung

- ✓ *Weitgehend geschlossene Auftragswerke, Übergabestellen mit Absaughaben versehen*
 - ✓ *Emissionserfassung: weitgehend geschlossene, gekapselte Bahntrockner*
 - ✓ *Sonstiges: geschlossene Vorlagebehälter*
-

3.2 Prozessbeschreibung und Stand der Technik

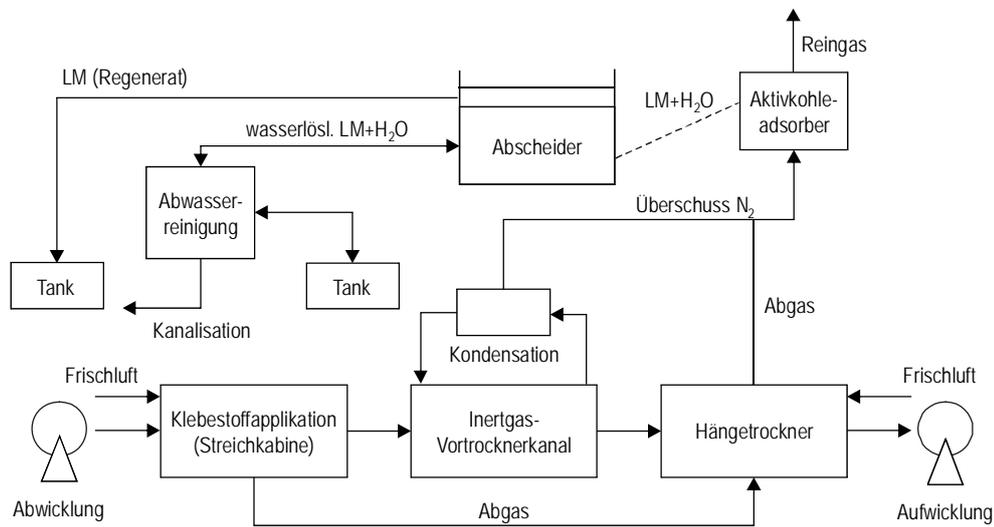
Der Herstellungsprozess kann in drei Hauptschritte unterteilt werden:¹¹

- > Oberflächenbehandlung des Trägermaterials und Beschichtung von Klebstoff auf das bahnförmige Trägermaterial
- > Trocknen, Vernetzen bzw. Abkühlen (Schmelzklebstoff) des Haftklebstoffes
- > Aufrollen, zuschneiden, konfektionieren etc.

Die folgende Abbildung zeigt den Herstellungsprozess von Klebebändern mit lösungsmittelbasierten Klebstoffen. Dabei wird die Abluft über Kondensation in der Vortrocknung und mit Adsorption an Aktivkohle in der Haupttrocknung gereinigt. Die Lösungsmittel werden über Dampfdesorption und Abscheidung wiedergewonnen.

¹¹ DFU, 2002

Abb. 4 > Klebebandherstellung mit Lösungsmittelklebstoffen und Abluftreinigung



Quelle: DFIU, 2002

3.2.1 Klebstoffbeschichtung¹²

Das Aufbringen eines Haftklebstoffes kann mit unterschiedlichen Auftragstechniken durchgeführt werden. Für die Verarbeitung von lösungsmittelbasierten Klebstoffen werden Rakel-, Accugravur- oder Reverse-Roll-Coat-Systeme eingesetzt. Für Dispersionsklebstoffe eignen sich Rakel-, Reverse-Roll-Coat- oder Rollrakelsysteme.

Klebstoffbeschichtung

Schmelzklebstoffe werden über Rakelsysteme, Schlitzdüsen-Rakelsysteme oder im Extrusionsverfahren appliziert. Vereinzelt werden auch Sprühverfahren angewendet. Overspray oder überschüssiges Material wird abgerakelt und wiederverwendet.

Das Klebstoffmaterial wird auf das Trägermaterial oder ein Trennmaterial appliziert. Beim sog. Transferverfahren wird der Haftklebstoff auf dem Trennmaterial getrocknet oder vernetzt, bevor der Klebstofffilm durch Kaschierung auf das Trägermaterial übertragen wird. Damit wird das Trägermaterial vor einer Schädigung während des Trocknungsvorganges geschützt.

¹² DFIU, 2002

3.2.2 Trocknung¹³

Es werden hauptsächlich Umlufttrockner, Infrarottrockner und Strahlungssysteme (UV- oder Elektronenbestrahlung nur zur Vernetzung) eingesetzt. Lösungsmittelhaltige Klebstoffe und Dispersionen werden thermisch (Konvektionstrockner und Infrarottrockner) getrocknet. Eine anschließende Vernetzung kann thermisch, chemisch oder physikalisch durch Bestrahlung zur Verbesserung der technischen Eigenschaften erfolgen.

Trocknung

Schmelzklebstoffe vernetzen selbstständig bei Abkühlung. Bei der Verwendung von lösungsmittelhaltigen Klebstoffen sind den Trockneranlagen im allgemeinen Lösungsmittelrückgewinnungsanlagen nachgeschaltet.

Emissionen an VOC entstehen bei der Verwendung von Lösungsmittelklebstoffen in den folgenden Bereichen:

- > Restlösungsmittel im fertigen Klebeband: Die Restlösungsmittelgehalte von fertigen, doppelseitigen Klebebändern auf der Basis von Lösungsmittelklebstoffen betragen zwischen 0,1 und 2 % bezogen auf die eingesetzte Lösungsmittelmenge. Die in den Produkten vorhandenen Restlösungsmittel werden über Diffusionsprozesse langsam freigesetzt oder verbleiben in der Klebstoffschicht als Weichmacher.
- > Auftrag
- > Trocknung
- > Mischung der Inhaltstoffe zur gebrauchsfertigen Klebmasse
- > Maschinenreinigung (Auftragswerke)
- > Abwasser bei Adsorptionsverfahren
- > Klebstoffabfälle

Untersuchungen in einem Betrieb der Klebebandherstellung zeigten, dass von der eingesetzten Lösungsmittelmasse ca. 0,85 % emittiert werden, 5,8 % verbleiben im aufgetragenen Klebstoff, Abfall (Klebmassen und Klebebandreste) und Abwasser und werden stofflich und/oder thermisch verwertet. Das heisst 93,35 % der eingesetzten Lösungsmittel werden zurückgewonnen. Das zurückgewonnene Lösungsmittel wird zum grössten Teil erneut im Produktionsprozess eingesetzt. Restmengen, die aus Qualitätsgründen nicht wieder eingesetzt werden können, werden als Regeneratlösungsmittel zur stofflichen Verwertung verkauft. Wasserlösliche Lösungsmittel, die vor Einleitung in die Kanalisation aus dem Abwasser der Adsorptionsanlagen (z. B. durch Rektifikation) entfernt werden müssen, lassen sich zu Heizzwecken verwenden oder werden stofflich durch Destillation verwertet.

¹³ DFIU, 2002

3.2.3 Klebstoffzufuhr und -aufbereitung

3.2.3.1 Mischung der Inhaltsstoffe

- a) Durch Verdünnerzugabe nach Rezeptur im Rahmen einer automatischen Anlage
- b) In den Vorratsbehältern an der Maschine durch manuelles Zudosieren der Verdünner
- c) Direkt in den Vorlagebehältern der Kaschierblöcke durch Dosiereinrichtungen, die automatisch Verdünner zudosieren

Insbesondere bei der Variante b), aber aufgrund der freien Oberflächen in den Vorlagebehältern auch bei Variante c), treten diffuse Emissionen in die Hallenluft.

3.2.3.2 Einsatz von Mischanlagen

Mittels einer rezepturgesteuerten Mischanlage werden die zu mischenden Stoffe aus festverrohrten Tanks bzw. Fässern zusammengeführt und angemischt. Es entfällt das manuelle Anmischen mit den entsprechenden VOC-Verlusten in die Raumluft.

3.2.4 Klebstoffauftrag und -trocknung

VOC-Emissionen lassen sich bei heutigen Anlagen nicht vollständig vermeiden. Die eingesetzten Lösungsmittel verdunsten rasch, und die Auftragswerke können aus technischen Gründen (Zugänglichkeit) nicht voll gekapselt werden.

Bei der Verwendung von lösungsmittelhaltigen Klebstoffen werden sowohl Auftragswerke wie auch die Trockenzone weitestgehend gekapselt. Übergabestellen, die nicht gekapselt werden können, werden mit einer Absaughaube versehen.

Abb. 5 > Auftragswerk



Abb. 6 > Bahntrockner



Fotos: Pagendarm BTT GmbH, D-22761 Hamburg

Klebstoffzufuhr/-aufbereitung

Klebstoffauftrag und -trocknung

3.2.5 Beste verfügbare Techniken BVT (Best available technology BAT)¹⁴

Klebebänder werden für ganz verschiedene Anwendungen gefertigt und weisen daher stark unterschiedliche technologische Eigenschaften auf. Das verwendete Klebstoffsystem richtet sich nach dem zu beschichtenden Produkt und dessen geforderten technischen Eigenschaften.

Beste verfügbare Techniken BVT

Ein Vorschlag einer einheitlichen BVT für die Herstellung sämtlicher Produkte des Sektors ist daher nicht möglich, sondern muss sich daher an den geforderten Eigenschaften des Klebstoffes orientieren:

- > Schmelzklebstoffsysteme und Dispersionen für das untere Leistungsspektrum von Verpackungs-, Abklebe- und doppelseitigen Klebebändern
- > UV-vernetzende Systeme bis zum unteren Leistungsspektrum lösungsmittelbasierter Klebstoffe bei Transfer-, Verpackungs- und Abdeckklebebändern
- > Lösungsmittelbasierte Klebmassen für stark beanspruchte Klebebandanwendungen. Bisher sind keine lösungsmittelfreien Klebmassen mit gleichwertigen Eigenschaften verfügbar, so dass es im oberen Qualitätssegment derzeit keine Alternative zu lösungsmittelbasierten 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 Lösungsmittel ermöglichen.

¹⁴ DFIU, 2002

4 > Lackieren, Lackierräume

4.1 Lackieren: Zusammenfassung

Der aktuelle Stand der Technik beim Lackieren erfordert die Einhaltung folgender Merkmale je Verfahrensschritt:

Farbzufuhr, Farbaufbereitung

- ✓ Einsatz von automatisierten Farbmischanlagen
- ✓ Zufuhr von Verdünnern/Verzögerern durch automatische Lösungsmittelzufuhr über ein verrohrtes System

Lackieren¹⁵

Tauchen

- ✓ Becken < 6 m²: Absaugung gemäss BGI 740
- ✓ Becken > 6 m²: automatische Werkstoffzufuhr, Einhausung
- ✓ Bau und Ausrüstung von neuen Tauchlackieranlagen gemäss EN 12581

Spritzen

Spritzstände:

- ✓ Geschlossen bis auf Zugangsseite
- ✓ Absaugwand
- ✓ Werkstück ragt nicht über Spritzstand hinaus

Spritzkabinen:

- ✓ Zuluft im oberen, Absaugung im unteren Bereich des Raumes
- ✓ Querdurchströmung des Spritzbereiches/Raumes (horizontal oder vertikal). Die Arbeitsplätze sollten dabei im Bereich der Frischluftzufuhr liegen.
- ✓ Impulsarme Zuluft (z. B. durch sogenannte Quellschläuche), um starke Verwirbelungen zu vermeiden
- ✓ Mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Absaugquerschnitt sollte mindestens 0,5 m/s sein.
- ✓ Zuluftvolumenstrom ungefähr Abluftvolumenstrom

Spritzlackieranlagen:

- ✓ Weitestgehende Einhausung
 - ✓ Absaugung trocken oder wasserberieselt
-

¹⁵ BGI 740

Trocknung

Trocknungsräume:

- ✓ *Geschlossene Räume mit Raumabsaugung*
- ✓ *Zuluft im oberen, Absaugung im unteren Bereich des Raumes*
- ✓ *Keine Arbeitsplätze im Trocknungsraum*
- ✓ *Impulsarme Zuluft (z. B. durch sogenannte Quellschläuche), um starke Verwirbelungen zu vermeiden*
- ✓ *Mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Absaugquerschnitt sollte mindestens 0,5 m/s betragen*
- ✓ *Zuluftvolumenstrom entspricht ungefähr Abluftvolumenstrom.*

Trocknungsschränke:

- ✓ *Geschlossene Schränke*
- ✓ *Zuluftöffnung*
- ✓ *Absaugung*

Trocknungsanlagen:

- ✓ *Emissionserfassung: weitgehend geschlossene, gekapselte Trockner*
 - ✓ *Bei Neuanlagen: konzentrationsgesteuerte Umluftführung, indirekt beheizter Trockner*
-

4.2

Lackieren: Prozessbeschreibung und Stand der Technik

Die Lackierung von Metallen, Kunststoffen und Holz erfolgt – abhängig von Werkstoff, Grösse des zu lackierenden Gegenstandes und Aufgabenstellung (Anforderungen an Qualität und Optik) mithilfe von unterschiedlichen Lackierverfahren. Diese lassen sich unterteilen in Verfahren mit hohem Auftragswirkungsgrad und Verfahren mit geringem Auftragswirkungsgrad.

Verfahren mit hohem Auftragswirkungsgrad:

- > Spachteln
- > Walzen
- > Giessen
- > Tauchen
- > Fluten
- > Vakuumlackieren

Als Verfahren mit geringem Auftragswirkungsgrad kann das Spritzen bezeichnet werden. Bei allen Verfahren tragen auch die Nebenprozesse erheblich zu den diffusen Emissionen bei. Daher werden – unabhängig vom Auftragsverfahren – folgende Prozesse betrachtet:

- > Farbzufuhr, -aufbereitung
- > Farbauftrag/Lackieren
- > Farbtrocknung

4.2.1 Farbzufuhr, Farbaufbereitung

4.2.1.1 Viskositätseinstellung

- a) Im Farblager durch Verdünnerzugabe nach Rezeptur im Rahmen einer Farbmischanlage
- b) In den Vorratsbehältern an der Maschine durch manuelles Zudosieren der Verdünner
- c) Direkt in den Farbkästen der Maschinen durch Dosiereinrichtungen, die automatisch Verdünner zudosieren

Farbzufuhr, Farbaufbereitung

Insbesondere bei der Variante b), aber aufgrund der freien Oberflächen an den Vorlagebehältern auch bei Variante c), treten diffuse Emissionen in die Hallenluft. Die Höhe dieser Emissionen hängt stark von der Auftragsstruktur, den Lackeigenschaften sowie der Sorgfalt des Personals ab.¹⁶

4.2.1.2 Einsatz von Mischanlagen

Mittels einer rezepturgesteuerten Mischanlage werden die Farben aus festverrohrten Tanks (bzw. Fässern oder Mehrweg-Farbcontainern) für einen entsprechenden Grundfarbenfächer (meist 8 oder 12 Farben) zusammengeführt und angemischt. Es entfällt das manuelle Anmischen mit den entsprechenden VOC-Verlusten in die Raumluft.

- > Einsatz von automatisierten Farbmischanlagen
- > Zufuhr von Verdünnern/Verzögerern durch automatische Lösungsmittelzufuhr über ein verrohrtes System

4.2.2 Lackierung

4.2.2.1 Tauchen

Beim Tauchen wird das Werkstück von Hand oder mithilfe entsprechender Fördereinrichtungen in das Überzugsmittel eingetaucht und wieder herausgenommen. Das überschüssige Überzugsmittel muss durch sein eigenes Gewicht von der Oberfläche ablaufen. Bei der Tauchlackierung müssen die Geschwindigkeit, mit der das Tauchgut wieder aus dem Tauchbecken herausgehoben wird, die Ablaufgeschwindigkeit des Tauchlackes vom Werkstück sowie die Schnelligkeit, mit der der Lack antrocknet, aufeinander abgestimmt werden. Die zu tauchenden Werkstücke dürfen keine Taschen oder Vertiefungen aufweisen, in denen sich Lack ansammeln kann. Im Tauchverfahren werden kleinere glatte Werkstücke lackiert sowie solche, bei denen man an das Aussehen der Lackschicht keine besonders hohen Ansprüche stellt. Das Tauchverfahren ist die einfachste und sparsamste Methode der Lackierung. Das Tauchen wird hauptsächlich in der Industrie eingesetzt, z. B. in der Autoindustrie für Karosserien.

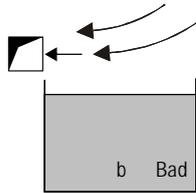
Lackierung

¹⁶ Umweltbundesamt, 2003

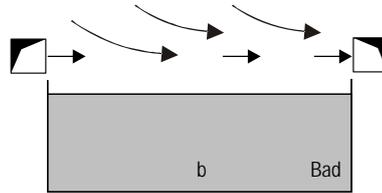
Die Abluftfassung beim Tauchen hängt stark von der Grösse und Geometrie der zu tauchenden Werkstoffe ab. Kleinere Tauchbecken müssen mit einer Absaugvorrichtung versehen sein.

Abb. 7 > Prinzipien der Badabsaugung (schematisch)

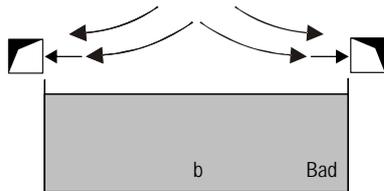
Einseitige Absaugung:
 $b \leq 0,9 \text{ m}$



Einseitige Absaugung mit Zuluftunterstützung:
 $1,2 \text{ m} \leq b < 2,0 \text{ m}$



Zweiseitige Absaugung:
 $0,9 < b < 1,2 \text{ m}$



Quelle: BGI 740, 2006

Für grössere Tauchbecken ($> 6 \text{ m}^2$ Oberfläche) entspricht es dem Stand der Technik, dass sie über eine automatische Zufuhr der Werkstücke sowie eine Einhausung verfügen (EN 12581).

Abb. 8 > Prinzipien der Badabsaugung



Foto: Eisenmann AG, D-71032 Böblingen



Foto: Afotek GmbH, D-36251 Bad Hersfeld

4.2.2.2 Spritzen

Spritzverfahren

Ob in der Hand des Lackierermeisters oder als Sprühkopf am Roboterarm, ob für Flüssig- oder für Pulverlacke, mit elektrostatischer Unterstützung oder in der klassischen Variante: Die Applikation von Lacken in Industrie und Gewerbe erfolgt überwiegend mit der Spritzpistole. Bei den einzelnen Auftragstechniken wird unterschieden zwischen Hochdruck-, Niederdruck- und Airless-Spritzen mit oder ohne elektrostatische Unterstützung.

Hochdruckspritzen

Das Hochdruckspritzen ist das am meisten angewendete Spritzverfahren. Es erfordert wasserfreie Druckluft, denn Wassertröpfchen im Lack können in der Oberfläche Blasen, Krater oder Löcher verursachen. Die Druckluft gelangt über einen Schlauch zur Spritzpistole. Der Betriebsdruck beträgt je nach Spritzgut zwischen 1,5 und 7 bar. Dickflüssige und kalte Lacke verlangen höhere Drücke als dünnflüssige und warme Lacke.

Hochdruckspritzen

Das Hochdruckspritzen hat verschiedene Vorteile: Die Zerstäubung des Lackes ist am Spritzgerät regelbar, so dass ein sauberes Spritzbild entsteht. Es können sowohl hoch- als auch niedrigviskose Überzugsmittel gespritzt werden. Durch die Verwendung einer entsprechend kleinen Materialdüse und eines höheren Luftdruckes kann man mit Lack patinieren oder mit Beizen nebeln. Beim Patinieren werden Farbtonunterschiede auf künstlichem Wege durch entsprechendes Auftragen von Beize oder Lack erzeugt.

Nachteilig beim Hochdruckspritzen ist vor allem die starke Lacknebelbildung. Es muss deshalb immer eine einwandfrei funktionierende Absauganlage vorhanden sein.

Niederdruckspritzen

Beim Niederdruckspritzen wird im Gegensatz zum Hochdruckspritzen keine Druckluft verwendet. Ein elektrisch betriebenes Rotations- oder Schaufelgebläse erzeugt einen Luftstrom von 0,2 bis 0,5 bar. Er wird durch einen Schlauch von etwa 40 mm Durchmesser zur Pistole geleitet und dort durch eine enge Düse gepresst.

Niederdruckspritzen

Vorteile des Niederdruckspritzens sind vor allem eine geringe Lacknebelbildung und die kleinen Spritzverluste. Ausserdem ist dieses Verfahren vielerorts einsetzbar, weil es ohne Druckluft arbeitet. Der Spritzstrahl lässt sich wie beim Hochdruckspritzen flach, breit oder rund einstellen. Nachteilig wirkt sich bei diesem Verfahren vor allem die weniger feine Zerstäubung der Lacke aus. Bei schlecht verlaufendem Lack und ungünstiger Temperatur kann die Lackoberfläche uneben wie die Oberfläche einer Orange werden. Die Spritzleistung ist geringer als beim Hochdruckspritzen. Mit diesem System lässt sich nicht patinieren oder nebeln.

Airless-Spritzen

Das Airless-Spritzen erfolgt ohne Druckluft. Über einen Materialschlauch wird das Spritzgut mit einem Druck von 125 bis 250 bar durch eine kleine Düsenöffnung gepresst und dadurch zerstäubt. Es entsteht ein reiner Lacknebel, der infolge seines Gewichtes sofort zu Boden sinkt und daher den Spritzraum kaum vernebelt.

Airless-Spritzen

In der Oberflächenschicht bilden sich keine Bläschen, Grauschleier und Krater, weil luftfrei gespritzt wird. Ausserdem ist der Lackverbrauch geringer als beim Druckluft-Spritzen, und der Spritzraum wird kaum vernebelt. Beim Spritzen entstehen keine Luftwirbel, und von der zu spritzenden Oberfläche prallt keine Spritzluft zurück. Mit dem Airless-Verfahren lassen sich grosse Flächen wesentlich schneller lackieren als mit der Druckluft-Spritzpistole. Mit diesem Verfahren kann jedoch nicht patiniert, genebelt oder gebeizt werden.

Airless-Plus

Beim Airless-Plus wird die Spritzpistole der Airless-Anlage mit zusätzlichen Luftdüsen ausgestattet, wie bei der Hochdruck-Spritzpistole. Dies ermöglicht ein feineres Zerstäuben.

Airless-Plus

Elektrostatisches Lackieren

Das elektrostatische Lackieren ist ein Spritzverfahren mit besonderen Lacken. In der Lackieranlage wird mit Gleichstrom ein elektrisches Feld zwischen der lackabgebenden Sprüheinrichtung und dem Werkstück erzeugt. Die Lackteilchen sind elektrisch aufgeladen und folgen deshalb den elektrischen Feldlinien auf die Werkstückoberfläche. Die Feldlinien verlaufen gekrümmt bis auf die Rückseite des Lackiergutes, so dass auch diese Seite lackiert werden kann.

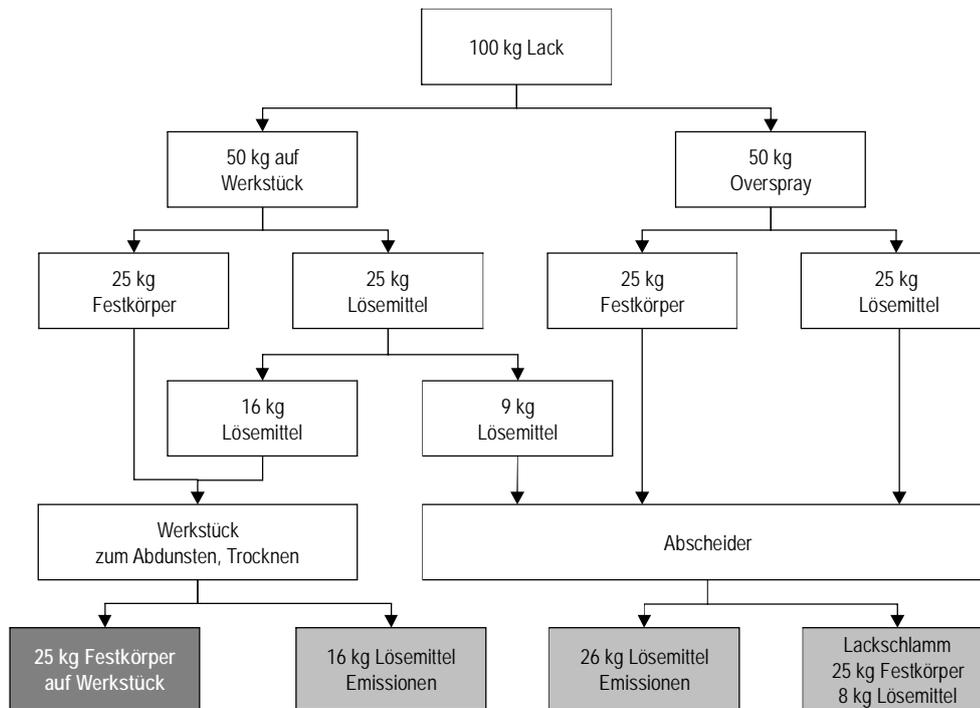
Elektrostatisches Lackieren

Dieses Verfahren wird häufig zum Lackieren von Metallen verwendet. Zum Lackieren von Holzflächen eignet es sich nur, wenn die Holzfeuchte etwa 8 bis 10 % beträgt. Bei einem niedrigeren Feuchtegehalt kann sich kein beständiges elektrisches Feld aufbauen.

Die Lackverluste sind beim elektrostatischen Lackieren gering, weil die Lackteilchen zwangsläufig auf der Bahn der Feldlinien fliegen. Mit diesem Verfahren werden besonders Rohrkonstruktionen, Rahmen und Gestelle aus Metall lackiert.

Das elektrostatische Pulverbeschichten gleicht im Prinzip dem elektrostatischen Lackieren. Bei ihm werden anstelle des Lackes Kunststoffpulver, wie Epoxidharz- und Polyesterharzpulver, auf die erwärmte Werkstückfläche aufgesprüht. Für das Pulverbeschichten eignen sich nur Werkstücke aus Metall.

Abb. 9 > Stoffströme bei der Spritzlackierung mit konventioneller Technik



Quelle: Mahrwald, 2001

Spritzanlagen

Die Anwendung des Spritzverfahrens erfolgt meist in Spritzständen oder in Spritzkabinen. Spritzwände sollten nur bei Spritzarbeiten von Hand mit geringer Lackmenge (weniger als 0,5 kg pro Arbeitsschicht) eingesetzt werden.

*Spritzstände*¹⁷

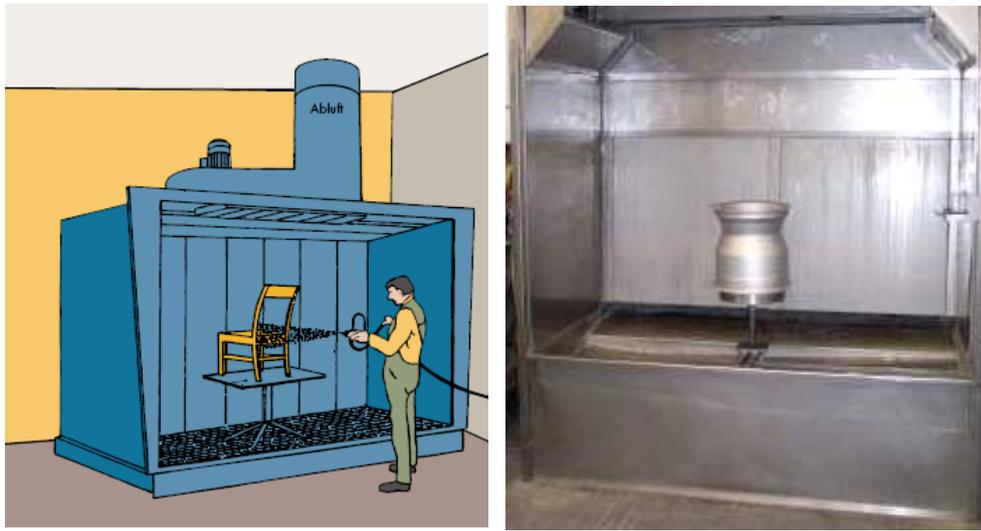
Ein Spritzstand ist der Stand, in dem sich das zu beschichtende Werkstück während der Spritzarbeiten innerhalb eines mit einer Absaugwand versehenen und bis auf die offene Zugangsseite geschlossenen Bereiches befindet. Das Werkstück ragt nicht über den Spritzstand hinaus. Die offene Zugangsseite ist Einlassöffnung für die Zuluft und Zugang für den Lackierer.

Spritzstände

Der Lackierer steht während der Spritzarbeiten vor der offenen Zugangsseite. Das zu beschichtende Werkstück befindet sich zwischen Lackierer und Absaugwand. Der Spritzstrahl wird in Richtung zur Absaugwand aufgetragen mit einer Abweichung von nicht mehr als etwa 30° zur Mittelachse.

¹⁷ BGI 740, 2006

Abb. 10 > Beispiele für Spritzstände



Folgende Merkmale gilt es einzuhalten:

- > Geschlossen bis auf Zugangsseite
- > Absaugwand
- > Werkstück ragt nicht über Spritzstand hinaus

Spritzkabinen

Eine Spritzkabine ist die Kabine, in der sich der Lackierer während der Spritzarbeiten mit dem zu beschichtenden Werkstück in einem geschlossenen Raum mit technischer Lüftung (Zuluft, Abluft, Luftsinkgeschwindigkeit ca. 0,3 m/s) befindet. Die Luftführung ist vertikal, horizontal oder als Kombination möglich.

Für neue Spritzstände und Spritzkabinen sind die Anforderungen an Bau und Ausrüstung in EN 12215, für kombinierte Spritz-Trocknungskabinen in EN 13355 festgelegt.

- > Zuluft im oberen, Absaugung im unteren Bereich des Raumes
- > Querdurchströmung des Spritzbereiches/Raumes (horizontal oder vertikal). Die Arbeitsplätze sollten dabei im Bereich der Frischluftzufuhr liegen.
- > Impulsarme Zuluft (z. B. durch sogenannte Quellschläuche), um starke Verwirbelungen zu vermeiden
- > Mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Absaugquerschnitt sollte mindestens 0,5 m/s betragen.
- > Zuluftvolumenstrom ungefähr Abluftvolumenstrom

Spritzkabinen

Spritzlackieranlagen

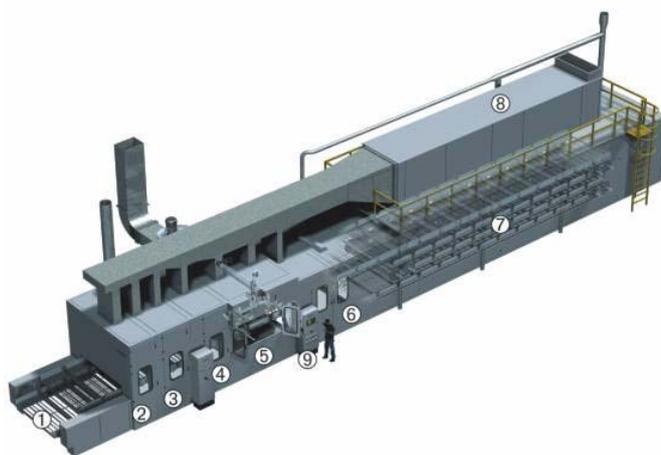
Für die Serienlackierung von Metallen, Holz und Kunststoff werden automatische Lackieranlagen eingesetzt.

Spritzlackieranlagen

Spritzlackieranlagen sind in der Regel vollständig eingehaust, soweit dies die Geometrie der zu beschichtenden Werkstücke zulässt. Es kommen sowohl trockene als auch wasserberieselte Absaugungen zum Einsatz.

Abb. 11 > Spritzlackieranlagen

1 Aufgabe/Abnahme, 2 Ionisation, 3 Beflammung, 4 Schleuse, 5 Spritzkabine, 6 Abdunstzone, 7 Etagentrockner, 8 Zuluftanlage, 9 Bedientableau



Quelle: Sprimag Spritzmaschinenbau GmbH & Co. KG, D-73230 Kirchheim/Teck

Quelle: Venjakob Maschinenbau GmbH & Co. KG, D-33378 Rheda-Wiedenbrück

4.2.3 Trocknung

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die angewendeten Trocknungsverfahren:

Tab. 1 > Übersicht über die zur Verfügung stehenden Trocknungsverfahren

Trocknungsverfahren	Praxisanwendung		Anlagen
	Beschichtungsstoff	Werkstück	
Trocknen mittels Wärmeträgern			
Luft (Umluft)	<ul style="list-style-type: none"> • Warmhärtende Systeme, lösungsmittelhaltig oder lösungsmittelfrei • Keine Begrenzung der Schichtdicke oder Pigmentierung • Trocknungszeit ca. 3 bis 60 Min. • Einfluss aus Beschichtungsqualität: Temperatur und Zeit, dabei Gefahr von Staubeinschlüssen im noch nassen Lack 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle wärmeunempfindlichen Materialien • Bedingt Kunststoffe und Holz • Alle Werkstückgeometrien trockenbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Lange Trockenzeiten • Hoher Energiebedarf durch Isolations- und Öffnungsverluste und durch Wärmeaustrag • Hoher Automatisierungsgrad möglich, hohe Flexibilität
Trocknen mittels Strahlen			
Infrarotstrahlen	<ul style="list-style-type: none"> • Warmhärtende Systeme, Lösungsmittelhaltig oder lösungsmittelfrei, Pulverlacke • Warmhärtende Systeme, lösungsmittelhaltig oder lösungsmittelfrei, Lösungsmittelzusammensetzung ist auf Strahlungsenergie abzustimmen • Schnelleres Aufheizen, dadurch kürzere Abkühlzeiten • Keine Begrenzung der Schichtdicke oder Pigmentierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle wärmeunempfindlichen Materialien • Bedingt transparente Materialien wie Glas und z.T. Kunststoffe und Holz • Schattenbildung an unbestrahlbaren Ecken und Nischen • Lack kann höhere Temperaturen als Untergrund annehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verschiedene Strahlerarten für kurz-, mittel- und langwellige Strahler • Durchlaufanlagen oder programm-geregelte Anlagen, je nach Flächen- und Trocknungsanforderungen
Ultraviolettstrahlen	<ul style="list-style-type: none"> • Ungesättigte Polyester, Polyacrylate usw. • Klar- und Lasurenlacke, Dickschichten • Pigmentierte Lacke, meist nur als Dünnschichten 	<ul style="list-style-type: none"> • Trocknung nur auf den der Strahlung direkt zugänglichen Flächen (vorwiegend Flachteile) • Holz, Kunststoff: Vergilbung und Versprödung möglich • Verbreitet bei Papier und Kartonagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Quecksilberstrahler • Geringer Platz- und Energiebedarf • Geringe VOC-Emissionen • Ozonabsaugung erforderlich
Elektronenstrahlen	<ul style="list-style-type: none"> • Ungesättigte Polyacrylate und Polyester usw. • Keine Begrenzung der Schichtdicke oder Pigmentierung • Keine Photoinitiatoren notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle Substrate, teilweise Versprödungsgefahr • Schattenbildung • Für Papier, Holz, Folien 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr geringer Platzbedarf • Sehr hohe Investitionskosten (Lüftung, Strahlenschutz) • Hoher Automatisierungsgrad • Nur für grosse Flächendurchsätze
Trocknen mittels elektrischer Verfahren			
Induktive Trocknung	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmehärtende Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> • Ferromagnetische Substrate 	<ul style="list-style-type: none"> • Verfahren in Sonderanlagen (z. B. Aushärtung von strukturellen Verklebungen in der PKW-Herstellung)
Mikrowellentrocknung	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserverdünnbare Lacke 	<ul style="list-style-type: none"> • Nichtmetallische Substrate 	<ul style="list-style-type: none"> • Verfahren in Sonderanlagen (z. B. bei der Holzbeschichtung)

Quelle: DFIU, 2002

Trocknung

Je nach Art des Überzugsmittels wird vorrangig zwischen der physikalischen und der physikalisch-chemischen Trocknung bzw. Aushärtung unterschieden. Physikalisch trocknende Lacke, wie NC-Lacke, trocknen bei Temperaturen von 30 bis 40° C bereits in wenigen Minuten. Die Lösungsmittel brauchen nur zu verdunsten. Bei der physikalisch-chemischen Trocknung, wie bei den Reaktionsharzlacken, verdunsten einerseits vorhandene Lösungsmittel, andererseits reagieren die einzelnen Lackkomponenten miteinander. Die chemische Reaktion wird häufig noch durch eine besondere Bestrahlung beschleunigt.

In Klein- und Mittelbetrieben erfolgt die Trocknung lackierter Oberflächen meist bei Raumtemperatur. In Grossbetrieben sind für die Massenfertigung möglichst kurze Trockenzeiten notwendig. Deshalb wird die lackierte Fläche meist in einem Trockner vorgetrocknet. Dieser ist häufig ein geschlossener Kasten oder Kanal, in dem bei Temperaturen zwischen 25 und 50° C die verdunstenden Lösungsmittel abgeführt werden. Dabei richten sich die Luftgeschwindigkeit und die Temperatur nach der Lackart. Bei lösungsmittelhaltigen Lacken wird nach dem Gegenstromprinzip bei Luftgeschwindigkeiten zwischen 0,5 und 2 m/s gearbeitet, bei Reaktionsharzlacken nach dem Umluftprinzip. Ist die Luftgeschwindigkeit zu hoch, entstehen im Lack Bläschen, ist sie zu niedrig dauert das Vortrocknen zu lange. Nach dem Vortrocknen erfolgt das eigentliche Trocknen.

Beim Trocknen werden die notwendigen Trockentemperaturen und Trockenzeiten sowohl vom Lack als auch vom Material des Werkstückes bestimmt. Holz selbst darf nur Temperaturen bis etwa 60° C ausgesetzt werden. Bei höheren Temperaturen verzieht es sich. Zum Trocknen werden im wesentlichen Heissluft- und Strahlungstrockner verwendet.

Abhängig von dem zuvor eingesetzten Beschichtungsverfahren erfolgt die Trocknung der Werkstücke in unterschiedlichen Anlagen. Diese lassen sich im Wesentlichen in

- > Trocknungsräume
 - > Trocknungsschränke und
 - > Automatische Trocknungsanlagen
- unterscheiden.

Trocknungsräume und Trocknungsschränke werden manuell bestückt. Während Trocknungsräume meist für grossformatige Werkstücke, wie z.B. Fenster, und für das Abstellen von Transportwagen zum Einsatz kommen, werden Trockenschränke für die Trocknung kleinformater Teile genutzt.

4.2.3.1 Trocknungsräume

- > Geschlossene Räume mit Raumabsaugung
- > Zuluft im oberen, Absaugung im unteren Bereich des Raumes
- > Keine Arbeitsplätze im Trocknungsraum
- > Impulsarme Zuluft (z. B. durch sogenannte Quellschläuche), um starke Verwirbelungen zu vermeiden
- > Mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Absaugquerschnitt sollte mindestens 0,5 m/s betragen.
- > Zuluftvolumenstrom ungefähr Abluftvolumenstrom

4.2.3.2 Trocknungsschränke

- > Geschlossene Schränke
- > Zuluftöffnung
- > Absaugung

Industrielle Spritzlackieranlagen sind meist mit einer anschliessenden Trocknungsanlage ausgestattet. Hier erfolgt die Trocknung mithilfe unterschiedlicher Verfahren. Die Trockner sind weitestgehend geschlossen ausgeführt und mit einer Absaugung oder einem Umluftsystem ausgestattet.

4.2.3.3 Trocknungsanlagen

- > Emissionserfassung: weitgehend geschlossene, gekapselte Trockner
- > Bei Neuanlagen: konzentrationsgesteuerte Umluftführung, indirekt beheizter Trockner

4.2.4 Beste verfügbare Techniken (BVT)

4.2.4.1 Holz- und Möbellackierung¹⁸

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 gegebenenfalls durch den Lackiervorgang erhalten bzw. in ihrer Wirkung verstärkt werden sollen; zudem ist von Bedeutung, ob eine offenporige oder geschlossenporige Oberfläche erzeugt werden soll.

Holz- und Möbellackierung

Die folgende Tabelle zeigt die Auswahl an besten verfügbaren Techniken, aufgliedert nach Produktionsbereichen der Holz- und Möbelindustrie.

Tab. 2 > Beste verfügbare Techniken für den Sektor der Holz- und Möbellackierung

Produktionsbereich	Beste verfügbare Technik(en)
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	<ul style="list-style-type: none"> • Pulverbeschichtung, elektrostatisches Spritzverfahren • Wasserverdünnbare- und UV-härtende 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

Quelle: DFU, 2002

¹⁸ DFU, 2002

4.2.4.2 Serienlackierung von Metallwerkstücken¹⁹

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, Bremscheiben, 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.

Bei der Beschichtung von Stahloberflächen sind folgende Merkmale zu beachten:

- > Wässrige Reinigungs- und Spülprozesse mit Integration wassersparender Massnahmen wie Kreislaufführung der Spülmedien
- > Kataphoretische Tauchlackierung, gegebenenfalls mit anschliessender Decklackierung entweder mit Flüssig- oder Pulverlack
- > Lösungsmittelarme 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 Lösungsmittlemissionen 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.

Serienlackierung von
Metallwerkstücken

¹⁹ DFU, 2002

4.2.4.3 Bandbeschichtung²⁰

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 betrachtet werden:

- > Vorbehandlung: Verwendung des abwasserfreien no-rinse Verfahrens
- > Beschichtung: Verwendung von konventionellen lösungsmittelhaltigen Lacksystemen in Kombination mit einer nachgeschalteten thermischen Nachverbrennung mit einer Gesamtemission von 3 % VOC bezogen auf die eingesetzten Lösungsmittel und einem Emissionswert im Reingas der TNV von 20 mg C/m³

Bandbeschichtung

4.2.4.4 Emballagenlackierung (Getränkedosen)

Bei der Herstellung von Getränkedosen aus Weissblech werden heute überwiegend wasserverdünnbare Lacksysteme appliziert. Diese Lacke enthalten zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften organische Lösungsmittel. Lösungsmittelfreie 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 Lösungsmittel und Emissionswerte im Reingas der TNV von 20 mg C/m³ erreicht.

Emballagenlackierung
(Getränkedosen)

4.2.4.5 Serienlackierung von Kunststoffen

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 wasserverdünnter Systeme für Grundierung und Decklack oder Pulverlacke

Serienlackierung von
Kunststoffen²⁰ DFIU, 2002

4.3 Lackierräume: Zusammenfassung

Bei der technischen Lüftung von Lackierräumen erfordert der aktuelle Stand der Technik die Einhaltung folgender Merkmale:

- > Zuluft im oberen, Absaugung im unteren Bereich des Raumes
- > Querdurchströmung des Spritzbereiches/Raumes. Die Arbeitsplätze sollten dabei im Bereich der Frischluftzufuhr liegen.
- > Impulsarme Zuluft (z. B. durch sogenannte Quellschläuche), um starke Verwirbelungen zu vermeiden
- > Mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Absaugquerschnitt sollte mindestens 0,5 m/s betragen (im Spritznebelbereich sollten Strömungsgeschwindigkeiten von 0,3 bis 0,4 m/s realisiert werden).
- > Zuluftvolumenstrom entspricht ungefähr Abluftvolumenstrom.

4.4 Lackierräume: Beschreibung und Stand der Technik²¹

Räume und Bereiche, in denen Beschichtungsstoffe durch Personen verarbeitet werden (z. B. Lackierräume, gesonderte Bereiche, Abdunsträume/-plätze, Misch- und Bereitstellungsräume) müssen eine Lüftung aufweisen. Diese muss so ausgeführt sein, dass

- > gefährliche explosionsfähige Atmosphäre verhindert wird;
- > die Luftgrenzwerte entstehender Gase, Dämpfe, Nebel eingehalten sind; und
- > im Arbeitsbereich des Lackierers Zugluft nicht auftritt.

In der Regel wird dies nur durch eine technische Lüftung (Luftaustausch durch Ventilatoren) erreicht.

Für eine wirksame technische Lüftung haben sich folgende Massnahmen bewährt:

- > Zuluft im oberen, Absaugung im unteren Bereich des Raumes
- > Querdurchströmung des Spritzbereiches/Raumes. Die Arbeitsplätze sollten dabei im Bereich der Frischluftzufuhr liegen.
- > Impulsarme Zuluft (z. B. durch sogenannte Quellschläuche), um starke Verwirbelungen zu vermeiden
- > Mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Absaugquerschnitt sollte mindestens 0,5 m/s betragen (im Spritznebelbereich sollten Strömungsgeschwindigkeiten von 0,3 bis 0,4 m/s realisiert werden)
- > Zuluftvolumenstrom entspricht ungefähr Abluftvolumenstrom.

Zuluft- und Abluftfilter dürfen nicht leichtentflammbar sein (mindestens Baustoffklasse DIN 4102-B2). Geeignet sind z. B. Glasfasergewebe, Kartonfilter gemäss DIN 4102-B2. Die Standzeit von Filtern kann durch Anordnung von Prallblechen erhöht werden.

²¹ BGI 740, 2006

Spritzwände, -stände, -kabinen und andere Einrichtungen (z. B. Spritzroboter) für das Spritzen und Sprühen müssen mit Absaugeinrichtungen ausgerüstet sein, die ein Ausströmen von Spritz- und Sprühnebeln aus dem Arbeitsbereich verhindern (siehe auch prEN 12215, prEN 13355).

Aus Energiespargründen sollten Massnahmen zur Verringerung der Volumenströme während Nichtspritzzeiten durchgeführt werden, z.B. Energiesparklappe im Zu- und Abluftstrom, polumschaltbare Motoren für Zu-/Abluft, die mit der «Ruhestellung» der Spritzpistole gekoppelt sind. Ansonsten sind bei neuen Anlagen die technische Lüftung (Absaugung) und die Luftzufuhr für die Spritzpistole so verriegelt, dass der Spritzbetrieb nur bei wirksamer Absaugung möglich ist.

Bei der Ableitung der abgesaugten Abluft sind die Mindesthöhen der «Empfehlungen über die Mindesthöhe von Abluftanlagen (Kaminen) über Dach» (Kamin-Empfehlungen) des BAFU vom 15.12.1989 einzuhalten.²²

Die Austrittsgeschwindigkeit der Abluft senkrecht nach oben sollte mindestens 6 m/s sein.

An automatischen Auftrageinrichtungen wie z. B.

- > Flutbeschichtungsanlagen
- > Spritzrobotern
- > Streichmaschinen

muss die Absaugeinrichtung auch nach Stillsetzen der Auftrageinrichtung so lange wirksam bleiben, wie mit der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre durch Lösungsmitteldampf-Luft-Gemische zu rechnen ist, die automatische Auftrageinrichtung stillgesetzt und eine weitere Zufuhr von Beschichtungsstoffen verhindert werden, wenn der Mindest-Abluft-Volumenstrom unterschritten wird. Dies kann z.B. durch Strömungswächter im Abluft-Volumenstrom geschehen. Die Überwachung des Motors der Absaugeinrichtung allein genügt nicht.

²² <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00644/index.html?lang=de>

5 > Kaschieren und Laminieren

5.1 Zusammenfassung

Der aktuelle Stand der Technik erfordert die Einhaltung folgender Merkmale je Verfahrensschritt:

Klebstoffzufuhr, -aufbereitung

- ✓ Einsatz von automatisierten Mischanlagen
- ✓ Zufuhr von Verdünnern/Verzögerern durch automatische Lösungsmittelzufuhr über ein verrohrtes System

Kaschier-/Laminierprozess

Beim Kaschier-/Laminiervorgang selbst lassen sich VOC-Emissionen bei heutigen Anlagen nicht vermeiden. Die eingesetzten Lösungsmittel verdunsten rasch, und die Auftragswerke können aus technischen Gründen (Zugänglichkeit) nicht voll gekapselt werden.

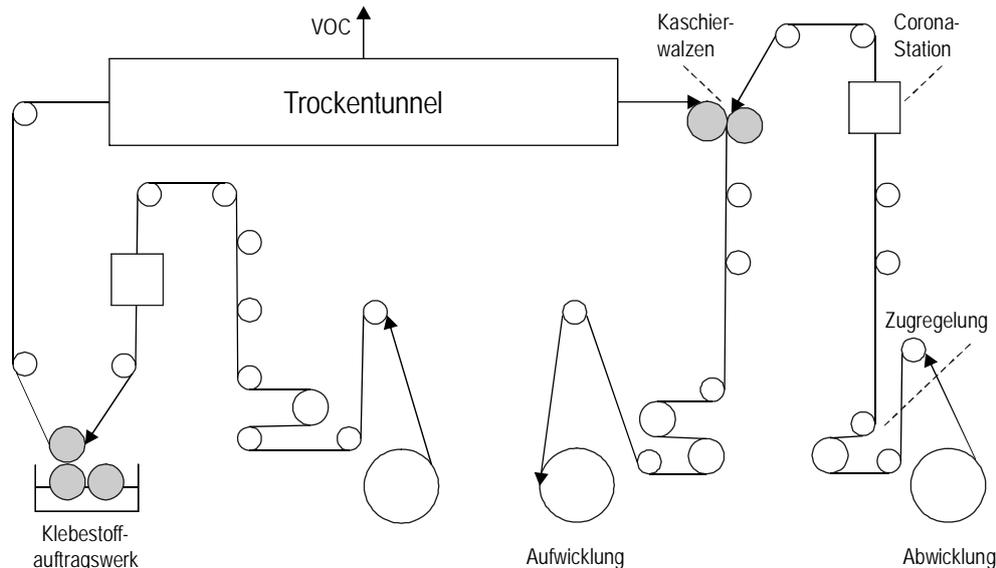
- ✓ Weitgehend geschlossene Kaschierwerke, Übergabestellen mit Absaughaben versehen
 - ✓ Emissionserfassung: weitgehend geschlossene, gekapselte Bahntrockner
 - ✓ Sonstiges: geschlossene Vorlagebehälter
-

5.2 Prozessbeschreibung und Stand der Technik

Lösungsmittelhaltige Klebstoffe werden heute nur teilweise in der sogenannten Nass- und Trockenkaschierung eingesetzt. Im Folgenden wird daher nur auf diese Verfahren eingegangen.

5.2.1 Trockenkaschierverfahren

Abb. 12 > Trockenkaschierverfahren mit lösungsmittelhaltigen Klebstoffen



Quelle: DFIU, 2002

Beim Trockenkaschierverfahren wird der Klebstoff vor dem Fügen der Materialien getrocknet. Bei der Nasskaschierung werden die Materialien direkt nach Klebstoffapplikation gefügt. Bei beiden Varianten werden zunehmend lösungsmittelfreie Klebstoffe verarbeitet. Das Verbinden der beiden Bahnen erfolgt zwischen Kaschierwalzen, Kaschiertrommeln oder Pressen unter erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck. Die bahnförmigen Materialien werden von Rollen zugeführt.²³

Trockenkaschierverfahren

Bei der Trockenkaschierung wird der Klebstoff auf eine Trägerbahn aufgetragen und anschliessend getrocknet. Die Auftragswalzen sind als Glatt- oder Rasterwalzen ausgeführt. Der Trocknerkanal besteht in der Regel aus mehreren Segmenten, deren Temperaturen getrennt geregelt werden kann. Bei der Verwendung von lösungsmittelhaltigen Klebstoffen, z. B. bei Kaschierung von Papier und metallisierter Folie, werden üblicherweise Auftragsmengen von 2,5 bis 4,5 g/m² appliziert. Nach der Trocknung wird die mit Klebstoff beschichtete Trägerbahn mit dem zweiten Substrat im Kaschierspalt zusammengeführt. Die Kaschierwalzen sind im Allgemeinen beheizbar ausgeführt. Der so hergestellte Verbund wird anschliessend aufgewickelt.

Lösungsmittelfreie Klebstoffe können bei der Trockenkaschierung für alle gängigen Filme und Aluminiumfolien eingesetzt werden. Die Grenzen der lösungsmittelfreien Klebstoffe liegen in den geringeren, applizierbaren Auftragsgewichten. Diese Klebstoffsysteme lassen sich daher nicht für mehrschichtige Verbunde zur Herstellung von

²³ DFIU, 2002

Verpackungen einsetzen, die mit aggressiven Medien befüllt werden sollen oder extremen Sterilisationsbedingungen standhalten müssen. Die Einstellung der Viskosität des Klebstofffilmes kann bei warmapplizierbaren Klebstoffen über eine Temperierung der Auftragswalzen erfolgen.

5.2.2 Nasskaschierverfahren

Bei der Nasskaschierung werden wässrige Dispersionsklebstoffe auf der Basis von Dextrin, Kasein oder lösungsmittelbasierten Klebstoffen appliziert. Kaschiert werden Aluminiumfolien und Papierträger. Beim Kaschiervorgang wird die Papierträgerbahn mit dem Klebstoff beschichtet. Das Wasser wird aufgrund der Porosität des Trägermaterials aufgenommen. Auf die klebstoffbeschichtete Bahn wird die Aluminiumfolie aufgetragen. Nach der Nasskaschiermethode werden Zigaretten-, Tee-, Kaugummi- und Seifen-Umverpackungen gefertigt.²⁴

Nasskaschierverfahren

Die zu verbindenden Materialien (Folien, Papiere, Kartonagen) werden häufig vor oder nach dem Kaschieren nach dem Flexo-Offset- und Tiefdruckverfahren bedruckt. Der Druck erfolgt vereinzelt oftmals innerhalb kombinierter Kaschieranlagen (Inline). VOC-Emissionen lassen sich bei gleichzeitiger Verwendung von lösungsmittelhaltigen Klebstoffen und lösungsmittelhaltigen Druckfarben zum Teil nicht eindeutig dem Kaschieren oder Drucken zuordnen. In neuen Anlagen sind die Druck- und Kaschieranlagen zunehmend getrennt ausgeführt, da die Anlagen mit unterschiedlichen Bahngeschwindigkeiten arbeiten und die Störanfälligkeit der einzelnen Anlagen reduziert wird. Zum Reinigen der Kaschierwalzen und der Druckwerke werden Lösungsmittel (Ethanol, Acetate) verwendet. Eine Aufteilung der verarbeiteten Mengen an Reinigungslösungsmitteln für Druckwerke und Kaschieranlagen ist im Allgemeinen aber nicht möglich.

Beim Einsatz von lösungsmittelhaltigen Klebstoffen kommt es beim Laminieren und Kaschieren zu VOC-Emissionen in folgenden Bereichen:

- > Restlösungsmittel im fertigen Produkt
- > Auftrag
- > Trocknung
- > Mischung der Inhaltstoffe zur gebrauchsfertigen Klebmasse
- > Maschinenreinigung (Auftragswerke)
- > Abwasser bei Adsorptionsverfahren
- > Klebstoffabfälle

²⁴ DFIU, 2002

5.2.3 Klebstoffzufuhr und -aufbereitung

5.2.3.1 Mischung der Inhaltsstoffe

- a) Durch Verdünnerzugabe nach Rezeptur im Rahmen einer automatischen Anlage
- b) In den Vorratsbehältern an der Maschine durch manuelles Zudosieren der Verdünner
- c) Direkt in den Vorlagebehältern der Kaschierblöcke durch Dosiereinrichtungen, die automatisch Verdünner zudosieren

Insbesondere bei der Variante b), aber aufgrund der freien Oberflächen in den Vorlagebehältern auch bei Variante c), treten diffuse Emissionen in die Hallenluft.

5.2.3.2 Einsatz von Mischanlagen

Mittels einer rezepturgesteuerten Mischanlage werden die zu mischenden Stoffe aus festverrohrten Tanks bzw. Fässern zusammengeführt und angemischt. Es entfällt das manuelle Anmischen mit den entsprechenden VOC-Verlusten in die Raumluft.

- > Einsatz von automatisierten Mischanlagen
- > Zufuhr von Verdünnern/Verzögerern durch automatische Lösungsmittelzufuhr über ein verrohrtes System

5.2.4 Kaschier-/Laminierprozess

Beim Kaschier-/Laminiervorgang selbst lassen sich VOC-Emissionen bei heutigen Anlagen nicht vermeiden. Die eingesetzten Lösungsmittel verdunsten rasch, und die Auftragswerke können aus technischen Gründen (Zugänglichkeit) nicht voll gekapselt werden.

Der Einsatz lösungsmittelfreier Klebstoffe ist bei der Herstellung von Massenverbunden, an die keine erhöhten Anforderungen bestehen, bereits etablierte Technik.

Bei der Verwendung von lösungsmittelhaltigen Klebstoffen werden sowohl Auftragswerke wie auch die Trockenzone weitestgehend gekapselt. Übergabestellen, die nicht gekapselt werden können, werden mit einer Absaughaube versehen.

Abb. 13 > Beispiele für Flachbett-Kaschiermaschinen



Quelle: Schott & Meissner Maschinen- und Anlagenbau GmbH, D-74572 Blaustetten



Quelle: Hymmen GmbH, D-33613 Bielefeld

Klebstoffzufuhr und -aufbereitung

Kaschier-/Laminierprozess

5.2.5 Beste verfügbare Techniken (BVT)²⁵

- > Durch die hohe Vielfalt der eingesetzten Materialien und des ähnlichen Aufbaus der Applikationsgeräte orientiert sich die Auswahl der besten verfügbaren Techniken an dem verwendeten Klebstoffsystem.
- > Bei Massenverbunden, an die keine erhöhten Anforderungen bestehen, ist die Verwendung von lösungsmittelfreien Klebstoffen bereits etablierte BVT.
- > Einsatz von lösungsmittelbasierten 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 derselben Kaschieranlage. Nachgeschaltete Abluftreinigungsverfahren, wie z. B. die Absorption, ermöglichen dabei einen hohen Anteil an Wiederverwertung der Lösungsmittel durch Destillation. Bei nicht wieder verwertbaren Lösungsmitteln (z. B. in Folge stark wechselnder Lösungsmittelgemische) kann die thermische Abluftreinigung eingesetzt werden. Die Prozesswärme wird dann im Allgemeinen für den Betrieb der Trockneranlagen genutzt. Reingaswerte von $< 20 \text{ mg C/m}^3$ werden erreicht.

Reduktion diffuser Emissionen durch Destillation von lösungsmittelhaltigen Klebstoffresten und Reinigungslösungsmitteln mit anschließender Verwertung der Lösungsmittel.

Beste verfügbare Techniken (BVT)

²⁵ DFU, 2002

6 > Imprägnierung von Papieren

6.1 Zusammenfassung

Der aktuelle Stand der Technik erfordert die Einhaltung folgender Merkmale je Verfahrensschritt:

Harzdosierung und -mischung

- ✓ *Einsatz von automatisierten Misch- und Dosieranlagen*
- ✓ *Geschlossene Systeme*

Imprägnierung

- ✓ *Weitgehend geschlossene Imprägnierwerke*
- ✓ *Abstreifer*

Trocknung

- ✓ *Geschlossene Bahntrockner*
 - ✓ *Luftzirkulation*
 - ✓ *Isolierung*
-

6.2 Prozessbeschreibung und Stand der Technik

Mit dem steigenden Bedarf an abrieb- und schlagfesten Oberflächen für Möbel und Laminatfußböden kommt auch dem Overlaypapier eine grosse Bedeutung zu. Solche Flächen bestehen aus der Trägerplatte, dem Dekorschichtstoff und der Deckschicht. Die hohe Abriebfestigkeit wird durch Tränken des Overlaypapiers mit abrieb- und schlagfestem Harz erreicht.

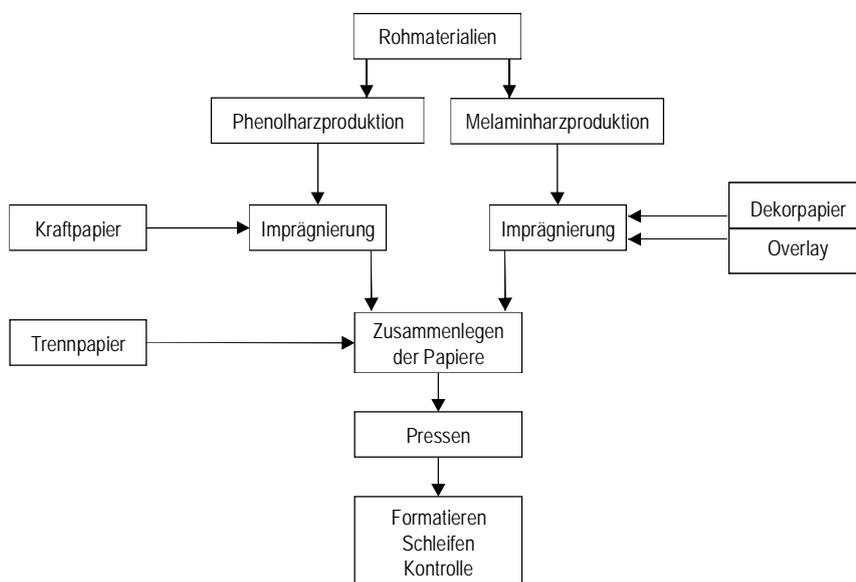
Das Kraftpapier dient als Hauptträgermaterial des Schichtstoffs, während das Dekorpapier das Design der späteren Platte festlegt. Im Endlosverfahren wird das Papier durch ein Harzbad in den Trockenkanal geleitet und anschliessend in einzelne Bögen geschnitten.

Je nach gewünschter Stärke des Schichtstoffs legt man nun die dafür erforderliche Anzahl von Kraftpapierbögen zurecht. Auf das Dekorpapier kommt ein transparenter und imprägnierter Papierbogen (Overlay). Ein Strukturblech bestimmt schliesslich die Beschaffenheit und das Aussehen der Oberfläche.

Anschliessend werden die vorbereiteten Kraft- und Dekorimprägnate zusammen in die Presse gefahren. Dort entsteht durch die Einwirkung von Druck und Temperatur eine Schichtstoffplatte.

Der Herstellungsprozess lässt sich am Beispiel von Schichtstoffplatten wie folgt darstellen:

Abb. 14 > Imprägnierungsprozess



Quelle: Fachgruppe Dekorative Schichtstoffplatten, 2007

Bei der Imprägnierung von Papieren wie z. B. Dekorpapieren gibt es drei emissionsrelevante Verfahrensschritte:

- > Harzdosierung und -mischung
- > Durchtränkung mit Harzen
- > Trocknung in Bogen- oder Rollenware

6.2.1 Harzdosierung und -mischung

Mischung der Inhaltsstoffe

Die Mischung und Dosierung der Harze erfolgt meist in automatischen Harzaufbereitungssystemen, die durch folgende Merkmale gekennzeichnet sind:

Harzdosierung und -mischung

- > Computergesteuert mit Prozessüberwachung
- > Kleine Ansatzmengen
- > Genaue Dosierung der Komponenten

- > Gleichzeitiges Einwiegen und Mischen
- > Geschlossenes System
- > Selbstreinigung im Prozess

Abb. 15 > Misch- und Dosieranlage



Bild: Vits Systems GmbH, D-40764 Langenfeld

6.2.2 Imprägnierung

Kraftpapier und Dekorpapier werden in grossen Rollen von circa 0,5 bis 1,5 t angeliefert. In kontinuierlich und horizontal arbeitenden Imprägnieranlagen wird das Papier abgewickelt, ins Harzbad eingetaucht und auf diese Weise mit Harz gesättigt. Entsprechende Rollen oder Abstreifer drücken den Harzüberschuss ab.²⁶

Imprägnierung

Abb. 16 > Imprägnierwerk



Foto: Vits Systems GmbH, D-40764 Langenfeld

²⁶ Fachgruppe Dekorative Schichtstoffplatten, 2007

6.2.3 Trocknung

Das nasse Papier wird im Heizkanal (circa 15 bis 25 m lang) durch einen Heissluftstrom (circa 130 bis 200 °C) schwebend getrocknet.

Trocknung

Melaminharz-Imprägniermaschinen laufen mit etwa 15 bis 50 m/min, solche für die Phenolharzimpregnierung dagegen mit 50 bis 250 m/min.²⁷

Der Luftstrom wird meist durch Nachverbrennung gereinigt. Die Wärmeenergie der Heissluft wird zurückgewonnen. Das getrocknete Imprägnat, mit immer noch reaktivem Harz bestrichen, wird in erforderliche Formatlängen aufgetrennt oder wieder aufgerollt und für den späteren Abruf in konditionierten Räumen gelagert.

Abb. 17 > Bahntrockner



Foto: Vits Systems GmbH, D-40764 Langenfeld

²⁷ Fachgruppe Dekorative Schichtstoffplatten, 2007

7 > Mischen und Manipulieren

Der aktuelle Stand der Technik erfordert die Einhaltung folgender Merkmale:

Farbaufbereitung

Die Farbmischung und Viskositätseinstellung erfolgt an automatisierten Mischmaschinen.

- ✓ *Geschlossener und abgesaugter Mischbehälter*
 - ✓ *Farb- und Lösungsmittelzufuhr über verrohrtes bzw. Schlauchsystem:
Farbbehälter geschlossen, ausser Schlauch- bzw. Rohrdurchführung*
 - ✓ *Bei kleineren Anlagen Farbzufuhr über Trichter in Deckelöffnung des Mischbehälters*
 - ✓ *Keine offenen Fässer oder Mischbehälter*
 - ✓ *Raumabsaugung*
-

8 > Waschen von Gebinden und Behältern

Der aktuelle Stand der Technik erfordert die Einhaltung folgender Merkmale je Verfahrensschritt:

Zwischenreinigung

Zwischenreinigungen an den Anlagen werden überwiegend mit Putzlappen vorgenommen. Während dieser Arbeiten bleiben die Absauganlagen meist in Betrieb, so dass die Verdunstungsverluste den Adsorptionsanlagen zugeführt werden.

- ✓ *Bei Reinigungsarbeiten mit lösungsmittelhaltigen Putzlappen an Anlagen bleibt die Absauganlage in Betrieb.*
- ✓ *Putzlappen, die mit VOC-haltigen Lösungsmitteln getränkt sind, werden in geschlossenen Behältern gelagert.*

Grund- und Teilereinigung

Die Reinigung von Behältern und Gebinden sowie von z. B. Druckzylindern erfolgt in speziellen Waschanlagen, deren Abluft abgesaugt und der Abluftreinigung zugeführt wird.

- ✓ *Geschlossene Waschanlagen mit Absaugung*
 - ✓ *Abschottung des Lösungsmittelvorrats zur Waschkammer*
 - ✓ *Bei grösseren Anlagen: Kreislaufführung des Lösungsmittels inkl. Destillationsanlage*
-

9 > Ergänzende Kriterien zur Beurteilung von Abluftefassungs- und Abluftreinigungsanlagen

Die folgenden Fragen helfen bei der Beurteilung, ob Abluftefassungs- und Abluftreinigungsanlagen gemäss «Best Practice» unterhalten werden:

Tab. 3 > Beurteilung von Abluftefassungs- und Abluftreinigungsanlagen

	ja	nein	Bemerkungen
Gibt es im Unternehmen einen zentralen Ansprechpartner für die Abluftefassungseinrichtungen/die Abluftreinigungsanlage?			
Verfügt das Unternehmen über eine Dokumentation der Abluftreinigungsanlage (Betriebsanleitung, Betriebshandbuch)?			
Verfügt das Unternehmen über eine Dokumentation der Abluftefassungseinrichtungen (Rohrleitungsplan, Angaben zu Leistungen der Ventilatoren u.Ä.)?			
Verfügt das Unternehmen über Wartungspläne für die Abluftefassungseinrichtungen?			
Verfügt das Unternehmen über Wartungspläne für die Abluftreinigungsanlage?			
Verfügt das Unternehmen über Kontroll- und Inspektionspläne für die Abluftefassungseinrichtungen?			
Verfügt das Unternehmen über Kontroll- und Inspektionspläne für die Abluftreinigungsanlage?			
Erfolgt eine regelmässige Überprüfung der Wirksamkeit der Abluftreinigungsanlage durch das Unternehmen?			

> Verzeichnisse

Abkürzungen

BAT: Best available technology

BVT: Beste verfügbare Techniken

Literatur

BGIA – Institut für Arbeitsschutz 2007: BGI 790-017: BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung, Tätigkeiten mit Toluol im Illustrationstiefdruck.

BGI 740 2006: BGI 740 – Lackerräume und -einrichtungen für flüssige Beschichtungsmittel, Holz-Berufsgenossenschaft. München.

Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU) 2002: Bericht über Beste Verfügbare Techniken (BVT) im Bereich der Lack- und Klebstoffverarbeitung in Deutschland. Karlsruhe: Rentz/Peters/Nunge/Geldermann.

Fachgruppe Dekorative Schichtstoffplatten im Fachverband Bau-, Möbel- und Industrielackhersteller aus Kunststoff im Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie e.V. 2007. Technisches Merkblatt: Herstellung von Dekorativen Schichtstoffplatten. Frankfurt am Main.

Mahrwald 2001: Verwertungsmöglichkeiten von Lackschlämmen. Niedersächsisches Umweltministerium: Mahrwald.

Umweltbundesamt 2003: Integrierter Umweltschutz bei bestimmten industriellen Tätigkeiten: Anlagen zur Oberflächenbehandlung durch Appretieren, Imprägnieren, Bedrucken, Tränken, Beschichten; Teilband II: Bedrucken, Endbericht. Berlin: Jepsen/Teibert.

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2007: Betrieblicher Umweltschutz in Baden-Württemberg, Druckindustrie und Papierverarbeitung. Stuttgart: Teibert/Schmid-Bauer.